

A photograph of a cow standing in a field at sunset. The sun is low on the horizon, creating a warm, golden glow. The sky is filled with soft, white clouds. In the background, there are rolling hills and a body of water. The cow is the central focus, standing in the middle ground. The overall mood is peaceful and natural.

Lantbruket och klimatet.

Ett helhetsgrepp

Lantbruket och klimatet.

Ett helhetsgrepp.

2020

Förord.

DISKUSSIONEN OM lantbrukets klimatpåverkan fokuserar oftast på en sak i taget. Vissa talar mest om kornas metanutsläpp, andra om fossilfria bränslen. Ekologiska Lantbrukarna vill med den här rapporten istället försöka ta ett helhetsgrepp på lantbrukets roll för den globala uppvärmningen och klargöra var de stora växthusgasflödena uppstår och hur de kan påverkas. Alla ansträngningar för att minska klimatpåverkan är viktiga, men ska vi göra ordentlig skillnad måste vi se den större bilden. Vi behöver acceptera målkonflikter och samtidigt diskutera vägen framåt i termer av möjligheter.

En stor del av lantbrukets klimatavtryck som sällan uppmärksammas är lustgasen, som är direkt kopplad till kvävetillförseln i våra odlingssystem. Mängden tillfört kväve i lantbruket har ökat mångfalt det senaste seklet och väsentligt bidragit till mer lustgas i atmosfären. Ekolantbrukets utveckling av odlingssystem med låga kväveinsatser blir därför till stor nytta i framtiden.

Djurens roll kan inte heller rundas. Alla som håller på med ekologiskt lantbruk är

”Alla som håller på med ekologiskt lantbruk är väl medvetna om idisslarnas centrala roll i ett hållbart odlingssystem.”

väl medvetna om idisslarnas centrala roll i ett hållbart odlingssystem. De behövs av många olika skäl. Men det går inte att blunda för att idisslarnas matsmältning påverkar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären. Det är avgörande att kor, får och getter hålls så att de fyller sin funktion i en hållbar livsmedelsproduktion. Med det sagt kan ekologiska lantbrukare tryggt ta en diskussion om djurens klimatavtryck.

RAPPORTEN ÄR starkt fokuserad på *lantbrukets klimatpåverkan* och möjligheterna att minska den. Det är ett val som gjorts för att vinna tydlighet, men betyder naturligtvis inte att annat är oviktigt, bara att det får behandlas i andra sammanhang. Övriga aspekter av ett hållbart framtida lantbruk berörs till exempel bara marginellt trots att de har stor betydelse och ofta hänger nära samman med klimatpåverkan: att värna biologisk mångfald, förhindra spridning av gifter i naturen, motverka övergödning, främja djurvälstånd och garantera lantbrukare en rimlig lönsamhet.

Rapporten går inte heller in på hur minskningen av lantbrukets klimatpåverkan ska finansieras. Det är självklart inte enbart böndernas ansvar, utan måste involvera många andra aktörer. Klimatpåverkan från resten av livsmedelskedjan – efter att produkterna lämnar lantbruket – tas inte heller upp.

KLIMATFÖRÄNDRINGEN är ett globalt problem eftersom de tre stora växthusgaserna

snabbt sprider sig och utjämnas i atmosfären, oavsett var i världen de släpps ut. Allt i rapporten som handlar om utsläppens effekter gäller därför den globala bilden. Men de möjliga åtgärderna är däremot alltid lokala. Beräkningar av lantbruksproduktionens klimatavtryck och tänkbara förändringar har därför nästan helt ett svenskt/europeiskt perspektiv, eftersom rapporten riktar sig till en svensk publik.

Ekologiskt lantbruk har haft stor betydelse för utvecklingen av ett mera hållbart lantbruk. Vi tror att det också kan visa vägen mot en mindre klimatpåverkande livsmedelsproduktion. Mycket återstår att göra, men i många avseenden är vi i full gång. Sverige ligger i världstoppen vad gäller ekologisk produktion och konsumtion. Det beror bland annat på att vi har en märkning (KRAV) med ett koncept där även klimambitioner ingår, vilket är unikt jämfört med många andra länders ekomärkningar.

Rapporten har finansierats av Jordbruksverket som ett led i regeringens Åtgärdsplan för ekologisk produktion och konsumtion. Inom projektet tas även en studievägledning fram för rådgivare och ekolantbrukare, i syfte att fördjupa kunskaper och diskussioner om hur konkreta klimatförbättringar kan göras på gårdsnivå. Välkommen till en djupare förståelse av lantbrukets inverkan på klimatet och vad vi kan göra för att minska den.

Anders Lunneryd
ordförande i Ekologiska Lantbrukarna

Innehåll.

Hur stor är lantbrukets klimatpåverkan?	8
Lustgas från kvävekretsloppet	18
Metan från idisslare	26
Koldioxid från mark och nyodling	36
Mindre växthusgaskällor	42
Hur mycket behöver växthusgaserna minska?	44
Minska lustgas från kvävekretsloppet	50
Minska metanet från idisslare	52
Minska koldioxiden från mark och nyodling	54
Minska övriga växthusgaskällor	60
Ekolantbruket och klimatet	62
Tre framtidsscenarier	72
Källor	84

Sammanfattning.

OMKRING EN FEMTEDEL av de växthusgaser som människan orsakar kommer från lantbruket. Att bedriva lantbruk helt utan växthusgasutsläpp är inte möjligt, men precis som i resten av samhället behöver mängderna minska kraftigt om de globala klimatmålen ska kunna nås.

Växthuseffekten beror framförallt på koldioxid från användningen av fossila bränslen. I de flesta delar av samhället är det den överlägset största utsläppskällan. Men i lantbruket är den fossila koldioxiden bara några få procent.

VÄXTHUSGASERNA i lantbruket kommer framförallt från tre biologiska källor som är nära förknippade med själva odlingen och djurhållningen.

- *Lustgas* som uppstår när kväve cirkulerar i och kring jordbruksmarken.

- *Metan* som bildas i matsmältningen hos kor och andra idisslare.

- *Koldioxid* som frigörs både när man först gör jordbruksmark av naturmark och när marken sedan odlas.

Eftersom de här gaserna kommer från själva de biologiska produktionsprocesserna är det svårt att minska dem radikalt utan att förändra vad som odlas, vilka djur som hålls och hur djurhållningen bedrivs. Vissa minskningar kan göras genom till exempel effektivare kvävehushållning eller odlingsät-

gårder som ger kolinlagring i marken, men inte så det räcker för att klara de utmaningar vi står inför.

LUSTGASEN kan vi bara minska markant om vi minskar tillförseln av kväve till odlingssystemen. Det kommer att få effekter på skördarna per hektar och därmed tillgången till jordbruksråvaror i världen. Djuren behövs även i ett framtida mer klimatanpassat lantbruk, men de behöver vara av rätt sort och äta ett foder som stödjer odlingen av livsmedelsgrödor och bidrar till inlagring av kol i marken.

SAMMANTAGET BETYDER det här att vi måste hitta ett sätt att försörja allt fler människor med mindre volymer jordbruksråvaror. Vägen dit går via en växling av produkter från djurriket till växtbaserade livsmedel. Djuren är centrala för ett hållbart lantbruk men odlingen av fodergrödor måste minska till förmån för grödor som konsumeras direkt av människor.

I rapporten refereras tre olika studier där scenarier i den här riktningen har analyserats och där allt jordbruk bedrivs ekologiskt. Av dessa framgår att maten kommer att räcka, men att det alltså behövs en förändring i vad vi konsumerar. De här scenarierna jämförs med andra framtidsbilder där vägen till hållbarhet sägs gå via en intensifiering av lantbruket, till exempel avsevärt högre

skördar per hektar. De flesta av dessa scenarier bygger på orealistiska föreställningar om möjliga skördeökningar och har många negativa effekter på andra miljöområden än klimatet.

HELA LANTBRUKET, oavsett driftsinriktning och oavsett om man är ekologisk eller konventionell står inför stora utmaningar i att göra tillräckligt för att minska klimatpåverkan. Men mycket talar för att det ekologiska lantbrukets starka restriktioner vad gäller tillförsel av nytt kväve till odlingssystemen jämte integrationen av idisslare i odlingen är en riktning som hela lantbruket behöver röra sig i för att ge ett tillräckligt bidrag till de förändringar som framtiden kräver.

Några tips för att underlätta läsningen

● **SNABBSPÅR.** För den som vill ha en kortare version går det utmärkt att bara läsa den löpande huvudtexten. Faktarutor och fördjupningsavsnitt ger mer kött på benen, men innehåller inget som är nödvändigt för att följa resonemanget.

● **ORDFÖRKLARINGAR.** Rapporten kräver inga särskilda förkunskaper och använder så lite fackspråk som möjligt. Därför har vi inte sett behov av någon lista med ordförklaringar. Det som kan förekomma - eftersom texten främst riktar sig till en lantbrukskunig läsekrets - är lantbrukstermer som är okända för den som saknar lantbruksbakgrund. Men dem ska en internetsökning kunna förklara.

● **REFERENSER.** Det finns utförliga referenser till alla faktauppgifter. De hänvisar direkt till förstahandskällorna, till största delen engelskspråkiga artiklar i vetenskapliga tidskrifter. I den digitala versionen av rapporten finns klickbara länkar till alla referenser. En sammanfattning (abstract) finns alltid fritt tillgänglig. Ibland kan även de kompletta artiklarna laddas ned fritt, men ofta krävs betalning eller tillgång till ett universitetsbibliotek.

Hur stor är lantbrukets klimatpåverkan?

Lantbruket beräknas stå för cirka en femtedel av människans påverkan på klimatet. De tre stora källorna är lustgas från kvävet kretslopp, metan från idisslare och koldioxid från nyodling och mark. Djurhållningen står för minst hälften av de samlade utsläppen, men har också viktiga funktioner att fylla i odlingssystemen.

VÄXTHUSGASERNA från lantbruket beräknas orsaka 15-25 procent av människans totala klimatpåverkan – alltså grovt räknat en femtedel [2-3]. Den andelen gäller själva odlingen och djurhållningen, inräknat produktionen av alla insatsmedel, men oräknat resten av livsmedelskedjan.

Räknar man även in livsmedelsindustri, transporter och detaljhandel blir siffran högre, men det finns bara grova uppskattningar av hur mycket [2,4-7].

Leden efter lantbruket står för en större andel av matens klimatavtryck i rika länder som Sverige, med mycket transporter, avancerade förpackningar, många och stora livsmedelsbutiker, mycket färdigmat och avancerade kyl- och fryskedjor. Men även i

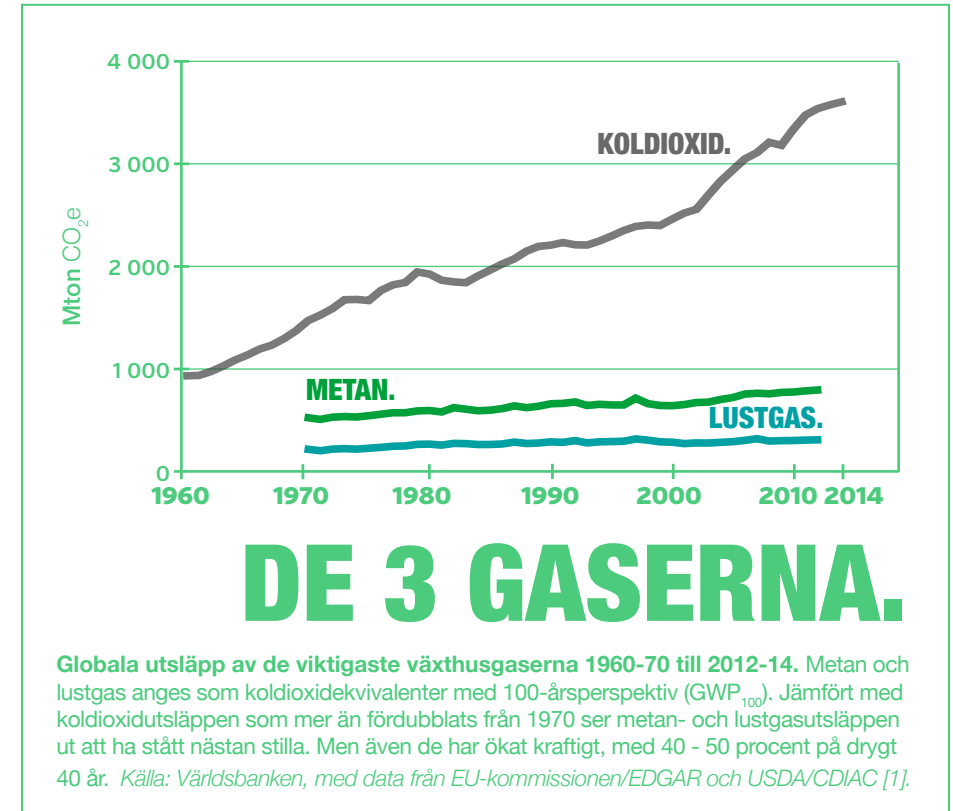
den fattiga världen ökar livsmedelskedjans klimatavtryck snabbt i takt med urbaniseringen [8].

Lantbrukets klimatpåverkan särskilt svårberäknad.

Alla beräkningar av klimatpåverkan har rätt stora osäkerheter, och det gäller särskilt lantbrukets växthusgasutsläpp, som till största delen kommer från biologiska källor.

I de flesta andra samhällssektorer är koldioxid från fossila bränslen den största utsläppskällan. Mängden koldioxid är lätt att beräkna utifrån mängden använd fossilenergi. Osäkerheterna gäller mest hur koldioxiden sedan påverkar olika processer i atmosfären. Men i lantbruket är det också svårt att uppskatta själva utsläppens storlek.

”Alla beräkningar av klimatpåverkan har rätt stora osäkerheter, och det gäller särskilt lantbrukets växthusgasutsläpp, som till största delen kommer från biologiska källor.”



I alla seriösa vetenskapliga sammanhang redovisas osäkerheterna, och man anger oftast intervall hellre än exakta siffror. I den här rapporten följer vi den modellen för att inte ge sken av en exakthet som det inte finns belägg för.

Vi undviker också att ange klimatpåverkan som procentandelar, eftersom det ofta blir otidligt vilken totalsumma andelarna beräknas på. Vi anger i stället beräknade mängder av koldioxidekvivalenter eller enskilda växthusgaser. Se även faktarutan på sidan 13 för mer detaljer om de mycket varierande siffror som cirkulerar om lantbrukets klimatpåverkan.

De stora dragen inte osäkra.

Även om det finns stora osäkerheter i många beräkningar finns ingen grundläggande osäkerhet om de stora dragen. Det finns bred vetenskaplig enighet om att de globala temperaturerna har stigit, att det beror på ökade mängder växthusgaser i atmosfären, att ökningen till största delen orsakats av mänskliga aktiviteter och att lantbruket står för en betydande andel.

En vanlig missuppfattning om vetenskaplig forskning är att den kan och ska leverera exakta data – ”fakta” – och att oenighet mellan forskare är ett varningstecken och

FAKTA. Lustgas, metan och koldioxid

MÄNNISKANS klimatpåverkan beror framförallt på utsläppen av koldioxid, metan och lustgas. Men de tre gaserna bidrar olika mycket och olika länge. Här är några snabba basfakta.

Koldioxid (CO₂) är utan konkurrens den viktigaste växthusgasen. Koldioxid från fossilenergianvändning beräknas utgöra omkring 65 procent av de totala växthusgasutsläppen. Därtill kommer biologiska källor, framförallt mark och avskogning, med ytterligare cirka 10 procent. Sammantaget kommer alltså 3/4 av människans klimatpåverkan från koldioxid.

Koldioxiden är också den mest långlivade av de tre stora växthusgaserna. Det tar omkring 50 år innan hälften av ett utsläpp försvunnit ur atmosfären, och 1000 år eller mer innan allt är borta.

Koldioxiden bryts inte ned i atmosfären utan försvinner bara i den takt den kan tas upp av växtlighet,

havsvatten och olika geologiska processer. Det finns en ganska stor osäkerhet både om hur stora de här upptagen är, och hur länge de kan fortsätta.

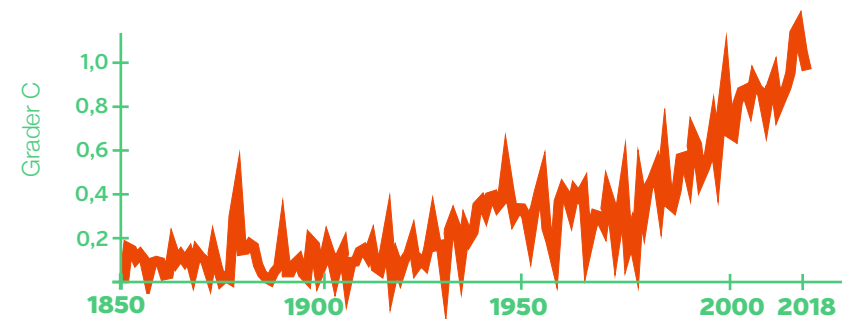
Metan (CH₄) uppskattas stå för 15-18 procent av människans klimatpåverkan. De två största källorna är fossilenergiindustrin och lantbruket, som orsakar grovt räknat 1/3 vardera av metanet.

Metan ger en mycket starkare uppvärmningseffekt än koldioxid räknat per kg. När man räknar om till koldioxidekvivalenter (CO₂e) ligger de vanligaste omräkningstalen (GWP, Global Warming Potential) mellan 25 och 34. Metanets växthuseffekt har gradvis uppvärderats, så det är de högsta talen som bygger på den senaste vetenskapen.

Metanets livstid i atmosfären är kort. Hälften av ett utsläpp är borta efter cirka 10 år, och hela mängden efter 60 år.

Metanet bryts ned i atmosfären genom att reagera med hydroxylradikaler (OH). Vid reaktionen bildas koldioxid av metanets kolatomer. Den bidrar till växthuseffekten på samma sätt som all annan koldioxid, men den utgör bara några få procent av metanets totala klimatpåverkan.

Lustgas eller dikväveoxid (N₂O) beräknas orsaka 5-7 procent av växthuseffekten. Lantbruket är den helt dominerande källan, med 80-90 procent av utsläppen. Per kg är lustgasens uppvärmningseffekt ungefär 10 gånger så stor som metanets. Vanliga GWP-tal är 265 och 298. Lustgasen är liksom koldioxiden långlivad. Det tar mer än 100 år för hälften av ett utsläpp att försvinna, och omkring 500 år för hela mängden. Lustgasen bryts ned i stratosfären med hjälp av solljuset (fotolytiska reaktioner). Läs mer om GWP-tal och koldioxidekvivalenter på sidorna 31-34.



TEMPERATUR.

Förändring av världens medeltemperatur. Kurvan visar den beräknade temperaturökningen år för år inklusive osäkerhetsmarginalen i beräkningarna - det är därför den är tecknad med tjocka streck. Taggheten visar variationerna mellan enskilda år.
Källa: UK Met Office Hadley Centre [9].

ett skäl att misstro hela forskningsområden. I själva verket är det nästan tvärtom. Att det kommer delvis motsägande resultat från olika forskargrupper är en förutsättning för att med tiden komma närmare konsensus. Det är först när det finns ett antal olika studier av samma sak, helst med varierande metoder, som man kan börja se ett mönster och dra säkrare slutsatser. Vetenskaplig oenighet är med andra ord ofta produktiv, och klimatforskningen har avancerat snabbt via många konflikter till en brett förankrad helhetsbild. Vilket inte hindrar att det hela tiden uppstår ny oenighet på en mer avancerad nivå.

Tre biologiska processer största utsläppskällorna.

Växthusgaserna i lantbruket kommer framförallt från tre stora källor, som alla är biologiska processer.

- **Lustgas** uppstår när kväve cirkulerar i och kring jordbruksmarken.
- **Metan** bildas i matsmältningen hos kor och andra idisslare.
- **Koldioxid** frigörs både när man först gör jordbruksmark av naturmark och när marken sedan odlas.

Mindre bidrag kommer från några andra biologiska källor. I Sverige framförallt från stallgödsel (metan), globalt från risodling

(metan) och betesbränning (koldioxid och lustgas).

De icke-biologiska källorna är också en liten andel. Globalt är den direkta fossilenergianvändningen på gårdsnivå den största posten, men för det svenska lantbruket är det konstgödseltillverkningen som ger mest fossilenergibaserade utsläpp.

Liknande fördelning i Sverige och världen.

Den ungefärliga storleksfördelningen mellan de olika källorna framgår av diagrammen på nästa uppslag. Fördelningen är i stora drag densamma i Sverige som globalt, och den totala mängden växthusgaser från svenskt lantbruk motsvarar ungefär Sveriges andel av världsbefolkningen.

Men allt mer av det vi äter i Sverige importeras. Av många basvaror är det bara 60-70 procent av konsumtionen som produceras här [31-32]. Tar man hänsyn till den låga självförsörjningsgraden släpper svenskt lantbruk ut mer än världsgenomsnittet i

förhållande till mängden människor det försörjer. Förklaringen är att Sverige liksom många andra länder i den rika världen har en hög andel animalieproduktion, som orsakar mycket mer växthusgaser än produktion av vegetabiliska livsmedel. Mer än 70 procent av den svenska åkerarealen används till odling av djurfoder [33-34]. Genomsnittet för hela världen är omkring 40 procent [35].

Mycket växthusgas från djuren.

Globalt beräknas animalieproduktionen stå för minst hälften av lantbrukets totala klimatpåverkan, och troligen mer [21, 36-37]. Det beror framförallt på två saker.

● **Foderomvandlingen.** Mellan 60 och 95 procent av näringen i djurfodret går förlorad vid omvandlingen till mjölk, ägg eller kött. Det behöver därför odlas mellan 2,5 och 20 gånger så mycket växtmaterial för att producera en jämförbar mängd näring i animaliska livsmedel som direkt i växter.

”Tar man hänsyn till den låga självförsörjningsgraden släpper svenskt lantbruk ut betydligt mer än världsgenomsnittet i förhållande till hur många människor det försörjer ”

FAKTA. Hur beräknas lantbrukets andel?

HUR KOMMER DET SIG att man ser så olika siffror för lantbrukets andel av växthusgaserna? Ibland anges så lite som 10-12 procent, andra gånger 25 procent eller mer.

Förklaringen är oftast att siffrorna hämtas från medlemsländernas rapportering till FNs klimatkonvention, där lantbrukets utsläpp är fördelade på flera olika poster. Beroende på hur många av posterna man väljer att räkna med, kan siffrorna skilja så mycket. Många tittar bara på posten Lantbruk (Agriculture). Den är cirka 10 procent av de globala utsläppen och 13 procent av Sveriges. Men det som ingår är bara lustgas och metan från odling, djur och gödsel.

Den tredje stora växt-husgaskällan i lantbruket, koldioxidutsläppen från mark och avskogning, bokförs på en annan post,

Markanvändning. Läger man till de lantbruksrelaterade delarna därifrån ökar andelen till omkring 16 procent globalt och 20 procent i Sverige.

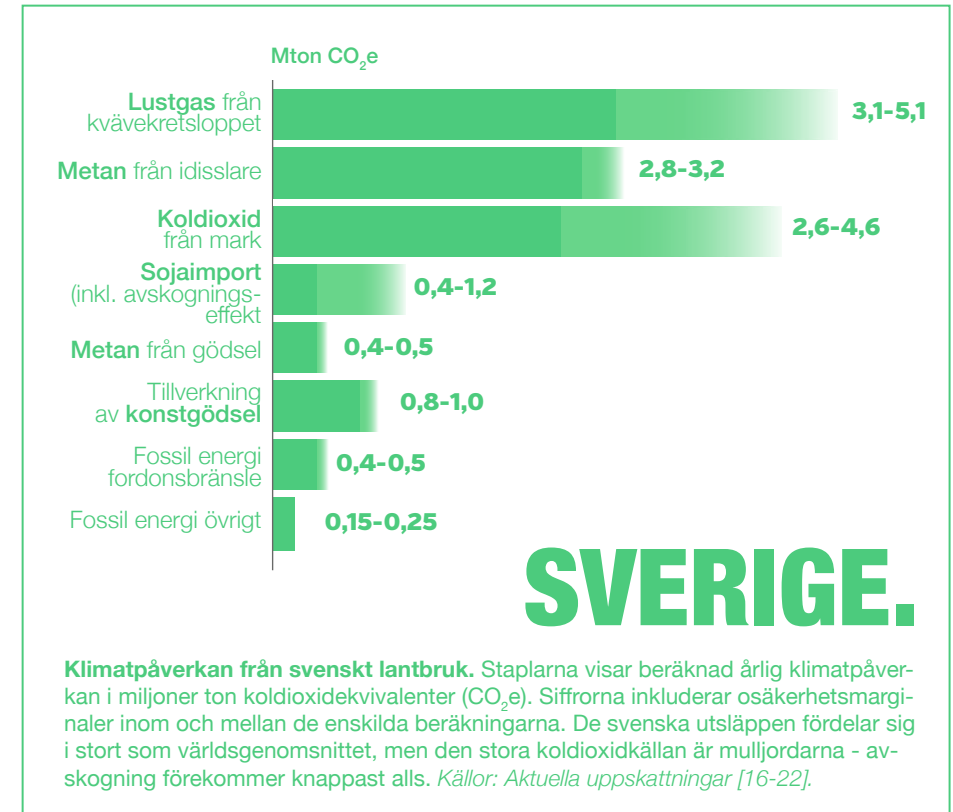
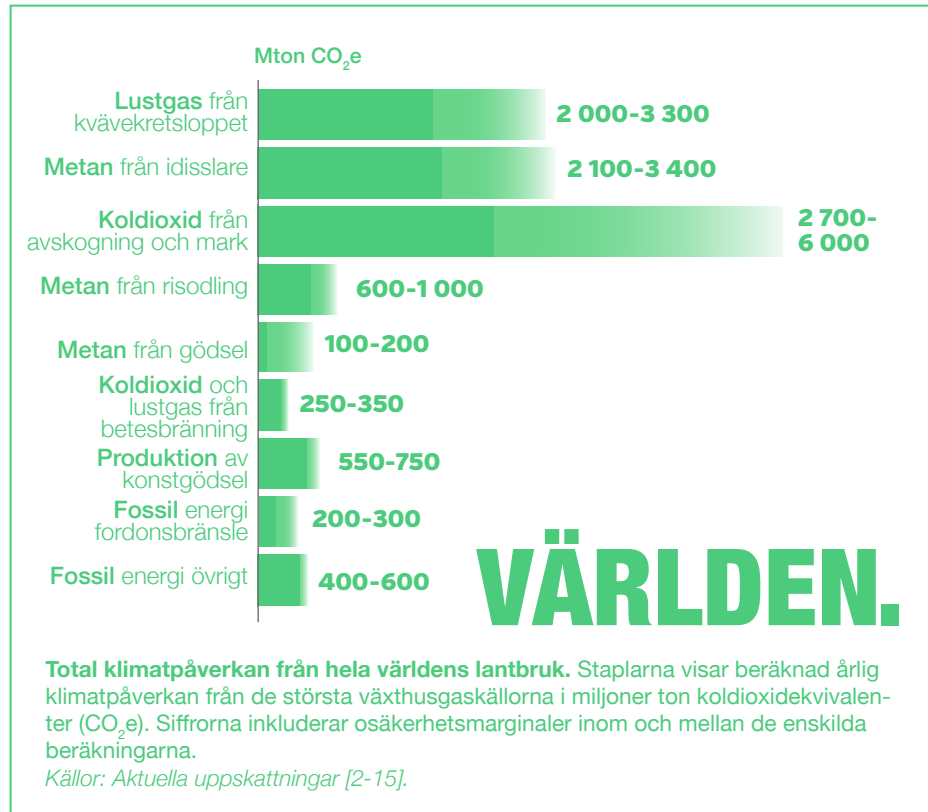
Utsläppen från energianvändning och från tillverkning av konstgödsel och andra insatsvaror bokförs också på andra poster. I genomsnitt för hela världen höjer de lantbrukets andel till cirka 18 procent. Den svenska siffran påverkas mindre, eftersom all konstgödsel och de flesta andra insatsvaror är importerade. Deras klimatpåverkan bokförs på tillverkningsländerna, inte på Sverige. Samma sak gäller foderimporten.

Att ange lantbrukets utsläpp som en procentandel är därför bara rimligt när det handlar om globala siffror. För enskilda länder blir det alltid missvisande, eftersom import- och exportströmmar förvränger bilden.

Procentsiffran påverkas dessutom av hur mycket växthusgas ett land släpper ut i andra sektorer. Att lantbrukets procentandel är något högre för Sverige än världsgenomsnittet beror inte på att det svenska lantbrukets utsläpp är höga, utan på att de totala svenska utsläppen är låga.

Ytterligare en faktor bakom de varierande siffrorna är att det finns stora osäkerheter i dataunderlaget. Lantbrukets mestadels biologiskt orsakade växt-husgaser är svåra att mäta, och ibland är det också en bedömningsfråga hur mycket av ett utsläpp som bör räknas till lantbruket.

Det här är särskilt tydligt när det gäller avskogningen i länder som Brasilien och Indonesien. Dels är den verkliga omfattningen osäker. Därtill är lantbruket bara en av flera drivkrafter bakom avskogningen.



Mängden växthusgaser från odlingsystemen ökar i motsvarande grad.

● **Idisslarnas matsmältning.** När man föder upp idisslande djur (kor, bufflar, får och getter) blir det utöver omvandlingsförlusterna också stora metangasutsläpp, i stort sett proportionellt mot hur mycket foder idisslarna äter. Dessutom är förlusterna i foderomvandlingen mycket större för idisslare än för andra djur.

Idisslarna har alltså en olycklig särställning med både störst foderbehov och därtill metanutsläppen från matsmältningen. Men mjölk och mjölkprodukter har trots det en måttlig klimatpåverkan, av liknande

”Idisslande djur kan alltså producera livsmedel av växtmaterial som saknar värde både för människan och för enkelmagade djur som gris och fågel.”

storlek som ägg, kyckling och griskött. Förklaringen är en ko ger stora mängder mjölk under lång tid, och dessutom kött när hon till slut slaktas. Renodlad köttproduktion med idisslare ger däremot utan jämförelse mest växthusgasutsläpp bland animalieprodukterna.

Växtbaserad mat eller kött? Inte så enkelt.

Men valet mellan växt- och djurbaserad matproduktion är ändå inte fullt så enkelt. Idisslarnas matsmältning ger dem även en positiv särställning – den unika förmågan att livnära sig på cellulosisrika

växter som gräs och löv med hjälp av mikroorganismerna i våmmen, den första ”magen” som fungerar som en fermenteringskammare. Idisslande djur kan alltså producera livsmedel av växtmaterial som saknar värde både för människan och för enkelmagade djur som gris och fågel. Det möjliggör två stycken viktiga ekosystemfunktioner.

Dels kan idisslarna utnyttja naturliga gräsmarker som annars inte alls skulle bidra till någon matproduktion. Dels kan ensidiga växtfödjer på åkermarken kompletteras med foderväxter som gräs och klöver, som bidrar både med ogräsreglering, kolinlag-

	Kg CO ₂ e /kg produkt			ANTAL LCA
	MIN	MEDEL	MAX	
Nötkött	10,74	28,73	109,50	56
Lammkött	10,05	27,91	56,70	165
Griskött	3,20	5,85	11,86	130
Kyckling	1,06	4,12	9,98	95
Mjök	0,54	1,39	7,50	262
Ost	5,33	8,86	16,35	38
Ägg	1,30	3,39	6,00	38
Bönor, ärter, linser	0,15	0,66	2,46	51
Spannmål	0,11	0,53	1,38	90
Ris	0,66	2,66	5,69	27
Potatis	0,08	0,20	0,36	25
Morot	0,04	0,22	0,50	13
Lök	0,06	0,18	0,37	9
Broccoli	0,37	0,70	1,73	17

VÄXTHUSGAS PER KG PRODUKT.

LCA-beräknad klimatpåverkan för några vanliga livsmedel. Värdena kommer från en sammanställning av samtliga publicerade livscykelanalyser av livsmedel 2000 - 2015. Den stora variationen mellan min- och maxvärden beror delvis på skillnader mellan produktionssystem, men även på metodskillnader mellan LCA-beräkningar.
Källa: Clune et al [38]

”Det finns också stora skillnader mellan produktionssystem och regioner som kraftigt påverkar växthusgasutsläppen från djurhållningen.”

	Kg CO ₂ e / kg protein			ANTAL LCA
	MIN	MEDEL	MAX	
Nötkött	48,33	129,30	429,80	56
Lammkött	50,40	139,97	284,35	165
Griskött	16,68	30,48	61,80	130
Kyckling	5,89	22,89	55,44	95
Mjök	15,25	39,27	211,86	262
Ost	18,26	30,35	56,01	38
Ägg	10,61	27,67	48,98	38
Bönor, ärter, linser	0,71	3,14	11,71	51
Spannmål	1,10	5,30	13,80	90
Ris	9,43	38,00	81,29	27
Potatis	4,44	11,11	20,00	25
Morot	5,80	31,88	72,46	13
Lök	5,04	15,13	31,09	9
Broccoli	8,58	16,24	40,14	17

VÄXTHUSGAS PER KG PROTEIN.

LCA-beräknad klimatpåverkan för några vanliga livsmedel. Tabellen bygger på samma data som den till vänster, men med klimatbelastningen omräknad per kg protein. Det ger mindre skillnader mellan växt- och djurbaserade matvaror. Men även som proteinkällor ger vegetabiliska livsmedel lägre klimatavtryck. Källor: Clune et al 2017, Livsmedelsverket [38-39].

ring och biologisk kvävefixering.

Det finns också stora skillnader mellan produktionssystem och regioner som kraftigt påverkar växthusgasutsläppen från djurhållningen. Mer om det längre fram. Men på de följande sidorna först lite mer basfakta om de olika växthusgaskällorna i lantbruket.

Lustgas från kvävekretsloppet.

ANDELEN LUSTGAS i atmosfären har ökat mycket snabbt sedan mitten av 1900-talet, och större delen av ökningen beror på den ökade tillförseln av kväve i lantbruket, framförallt i form av konstgödsel [40].

Lustgasen bildas som en biprodukt vid två naturliga biokemiska processer. Dels när ammoniumkväve från till exempel gödningsmedel eller växtrester omvandlas till nitratkväve (nitrifikation). Dels när överblivet nitratkväve bryts ned till kvävgas och återgår till atmosfären (denitrifikation).

Lustgas bildas på samma sätt även i naturen, men mängderna blir mycket större i lantbruket, där det finns många gånger mera kväve.

Många miljöer för lustgasbildning.

Både nitrifikation och denitrifikation

”Den årliga nytillförseln av reaktivt kväve med konstgödsel till världens odlingssystem har ökat från 10 miljoner ton 1950 till cirka 110 miljoner ton nu. Lustgasmängderna har följt samma mönster.”

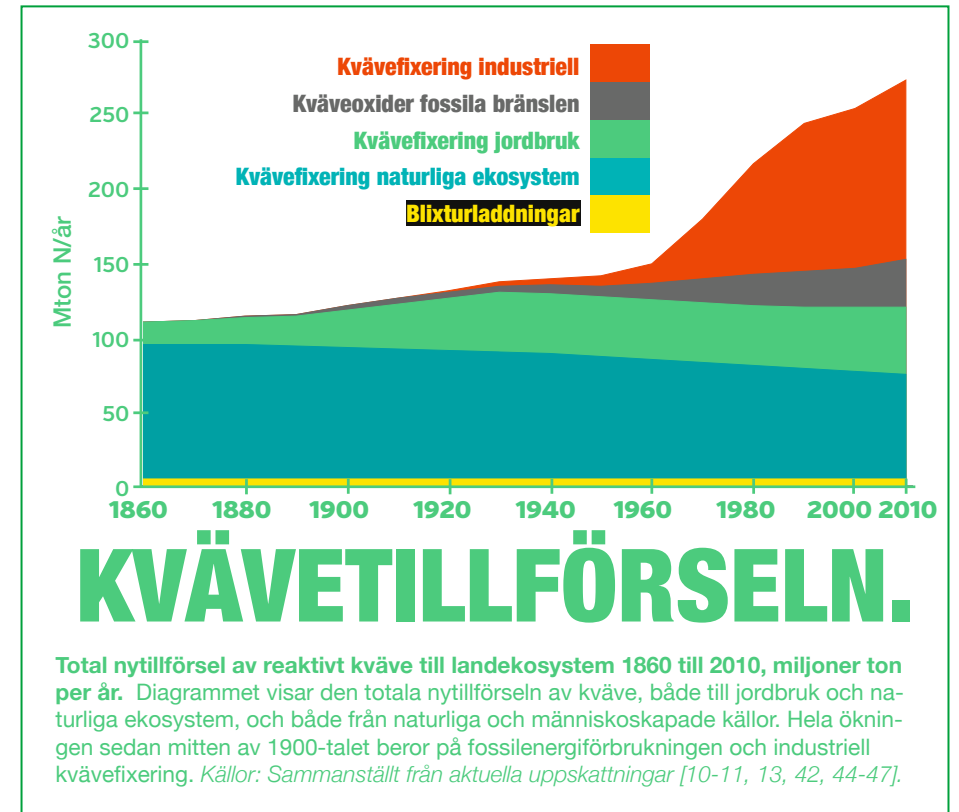
försiggår i många olika miljöer i lantbrukets kvävekretslopp, men framförallt där det förekommer höga koncentrationer av kväve. Till exempel:

- när åkermark kvävegödslas, oavsett om det sker med konstgödsel, stallgödsel eller andra organiska gödselmedel.
- i gödsel som betande djur släpper på betesmark.
- i stallgödsel under lagringen.
- när överskottskväve som läckt från åkermark gödslar omgivande naturmark.
- i skörderester som bryts ned på åkern efter skörd.
- när kväve frigörs från lagrat organiskt material (mull) i åkerjorden.
- när kväve som avgått till luften från stall eller konstgödsel blir till gödande nedfall i närliggande mark.

Från kvävebrist till obegränsad tillgång.

Tillgången på kväve är den faktor som oftast avgör hur mycket växterna kan växa. Men trots att kväve är ett av de vanligaste grundämnena och utgör nästan 4/5 av atmosfären råder det kvävebrist i de flesta naturliga ekosystem.

Det beror på att växterna inte kan ta upp kvävgasen från luften, utan är beroende av kväveföreningar (reaktivt kväve) från marken. I naturen tillförs reaktivt kväve nästan uteslutande genom biologisk kvävefixering i mikroorganismer, mestadels sådana som lever i rötterna på klöver, ärtor och andra baljväxter.



Mycket av lantbrukets verksamhet kretsar därför kring olika sätt att öka tillgången på kväve för de odlade växterna. Ända in på 1900-talet var även lantbruket helt beroende av biologisk kvävefixering, först i naturlig växtlighet på ängsmarker och trädor, från 1700-talet även genom odling av baljväxter.

Men efter andra världskriget förändrades kväveförsörjningen helt, när industriell kvävefixering med Haber-Boschmetoden började användas i stor skala för produktion av konstgödsel från kol och olja eller fossilgas. Råvaran var så billig och metoden så effektiv att tillgången på

kväve i jordbruket blev praktiskt taget obegränsad.

Den årliga nytillförseln av reaktivt kväve till världens odlingssystem med konstgödsel har ökat från under 10 miljoner ton kring 1950 till cirka 110 nu. Tillsammans med den biologiska kvävefixeringen i jordbruksgrödor innebär det att jordbruksmarken varje år tillförs mer än dubbelt så mycket nytt kväve som alla naturliga landecosystem tillsammans [10-13, 42].

Lustgasmängderna har följt samma mönster. En stadig men långsam ökning fram till mitten av 1900-talet, sedan en mycket snabb acceleration som ännu inte avtagit.

Mätningar av fördelningen mellan olika kväveisotoper har nu också gett direkta bevis för att tillskotten av lustgas i atmosfären bildats huvudsakligen av industriellt fixerat kväve [43].

Nyttillfört och recirkulerat kväve

Idag är detta väl belagda och allmänt accepterade samband. Men länge betraktades konstgödseln som en mindre del av problemet, eftersom det inte är så mycket av lustgasen som uppkommer direkt i samband med konstgödselanvändningen. Kväveforskningen fokuserade istället på hanteringen av stallgödsel och andra organiska kväveformer, där det mesta både av lustgasutsläppen och av övergödande kväveförluster inträffar.

Det man missade var den avgörande skillnaden mellan nyttillfört och recirkulerat kväve. Det kväve som tillförs med konstgödseln är ett nyttillskott från luften, som inte tidigare varit i cirkulation i lantbruket. De enda andra nyttillskotten av någon betydelse kommer från biologisk kvävefixering och från atmosfäriskt nedfall (kväveoxider från fossilenergiförbränning). Konstgödseln är den helt dominerande av de tre med omkring 3/4 av den totala nyttillförseln.

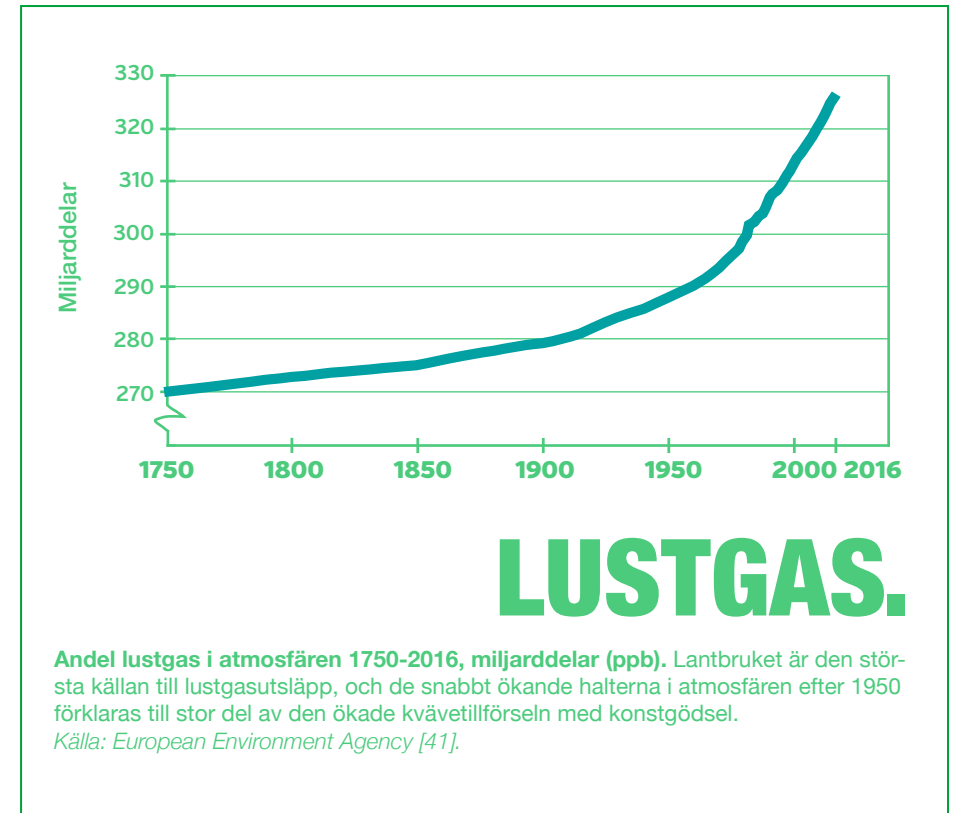
Allt annat kväve i lantbruket – i grödor och växtrester, i djur och deras gödsel, i

”Konstgödselns påverkan på lustgasbildningen beror därför inte i första hand på hur mycket lustgas som bildas vid själva gödslingen, utan hur mycket nytt kväve den matar in i systemet.”

mark, luft och vatten – är recirkulerat och härstammar från de ursprungliga nyttillskotten.

När det avgår lustgas från stallgödsel eller växtrester bildas den bokstavligen av samma kväveatomer som först kom in i lantbruket via konstgödsel, biologisk fixering eller nedfall från luften.

Konstgödselns påverkan på lustgasbildningen beror därför inte i första hand på hur mycket lustgas som bildas vid själva gödslingen, utan på hur mycket nytt kväve den matar in i systemet. Nyttillförseln bestämmer den totala kvävetillgången i lantbruket och därmed hur mycket recirkulerat kväve som finns tillgängligt för lustgasbildning i till exempel stallgödsel och skörderester.



De senaste 20 åren har forskningen i mycket större utsträckning studerat kvävet i lantbruket i ett sådant systemperspektiv, som inte fokuserar på enskilda miljöproblem som nitratläckage, ammoniakförluster eller lustgasbildning var för sig, utan mer på hur de är kopplade till varandra i ett nätverk av olika kväveflöden.

En kaskad av kväve.

Det som den systeminriktade forskningen framförallt har kunnat visa är hur de ständigt växande nyttillskotten av kväve snabbt sprids på många olika vägar till alla delar

av lantbruket, med förgreningar även ut i naturen, och via konsumenterna till resten av samhället. En av de första forskargrupperna som beskrev de här sambanden myntade begreppet *kvävekaskaden* för att understryka de svåröverskådliga och ofta oförutsägbara effekterna av den allt större kvävetillförseln [13].

Oavsett i vilken form kväveatomerna kommer in i lantbruket – som ammonium eller nitrat i konstgödsel, som organiskt kväve från biologisk fixering, eller som kväveoxider från luftnedfall – kan de lätt ta sig vidare i systemet och förflytta sig mellan en rad olika kväveföreningar.

Säg att konstgödsel sprids på en åker. Kvävet från konstgödseln byggs in i växternas organiska molekyler och växterna blir djurfoder. En del av kvävet hamnar i kött eller mjölk som lämnar gården, men det mesta i gödseln, som läggs på åkern där kvävet byggs in i nya växter och påbörjar ett nytt varv genom systemet. På vägen har det bildats lustgas vid konstgödslingen, från skörderesterna på åkern och från överblivet nitrat som följt med dräneringsvattnet. Både vid lagring och användning av stallgödseln har ammoniakgas avgått till luften och sedan fallit ned igen, ibland på en åker, ibland i naturen. I båda fallen har ammoniaken omvandlats till nitrat, med en del lustgas som biprodukt. Och så vidare, med många andra möjliga avstickare.

Kvävets slutstationer delvis okända.

En och samma kväveatom får därför många tillfällen att bidra både till lustgasbildning och annan miljöpåverkan. Hur många går inte att säga, och det finns inte heller mycket kunskap om vart kväveatomerna tar vägen när de till slut lämnar odlingsystemet. En del kväve denitrifieras och

återgår till atmosfären, en del byggs in i organiskt material i markförrådet, en del följer med vattendrag och ansamlas i sediment, en del landar via livsmedelskedjan i sophantering och avloppsanläggningar. Men hur mycket som denitrifieras och hur mycket som lagras upp i ekosystemen är okänt [48].

Hur mycket av kvävet blir lustgas?

Idag kan man ganska säkert säga att omkring 4 procent av allt nytillfört kväve i lantbruket till slut hamnar i atmosfären som lustgas – eller 3-5 procent angett med osäkerhetsmarginaler [40, 49].

Procentandelen kan räknas fram utifrån den ökande lustgashalten i atmosfären – en så kallad top down-beräkning. Lantbruket är den största lustgaskällan och genom att räkna bort mängderna från andra större källor, som är rätt väl kända, får man en restpost som motsvarar lantbrukets andel.

De beräkningar som görs av lustgasmängderna från olika delkällor inom lantbruket (bottom-up) har var för sig större osäkerheter, men ger sammanräknade ungefär samma totalsumma som

top-down-beräkningen. Det gäller både om man räknar på dagens utsläppsnivåer och historiskt tillbaka till 1850 [40, 50].

Men det är bara de globala summorna som är säkra. Man kan i viss mån beräkna lustgasutsläppen på nivån världsdelar, men att säga något säkert om utsläppen på en gård eller ett fält, eller ens från ett helt land, är omöjligt. Det beror framförallt på att lustgasutsläppen varierar så mycket både mellan olika år och olika platser, och ofta sker koncentrerat under några enskilda

dagar. Riskfaktorerna är kända – höga kvävekoncentrationer, lämplig fuktighet och lämplig temperatur för de lustgasbildande mikroorganismerna – men när de sammanfaller är omöjligt att förutse.

Det man däremot säkert vet från olika fältförsök är att en större andel av kvävet blir lustgas vid höga kvävegivor. Det gäller särskilt om man överskrider de kvävemängder som grödan kan ta upp, men även vid gödslingsnivåer en bit under de ekonomiskt optimala [51-54].

FAKTA. Kvävekaskaden i Sverige – en grafik

GRAFIKEN på nästa sida ger en bild av kvävekaskaden i det svenska lantbruket. Den bygger på data från SCB:s nationella växtnäringsbalanser och några kompletterande källor [55-59]. Nytt reaktivt kväve kommer bara in i lantbruket på tre vägar: med konstgödsel, biologisk kvävefixering och kväveoxider från fossilbränslen. Men nytillförseln driver en kaskad av olika kväveflöden genom hela lantbruket och vidare ut i samhället och naturen.

Allt kväve som cirkulerar i växtodlingen och djurhållningen, byggs in i lantbrukets produkter eller hamnar i luft och vatten kommer ursprungligen från de tre nytillförselkällorna. Kvävets vägar genom lantbrukets ekosystem är i många detaljer fortfarande okända, och det beror bland annat på att kvävet ständigt omvandlas mellan olika former, framförallt av många olika organismer i marken, men även i atmosfären, i gödsellager och på andra ställen.

Kväve kan också långtidslagras tillsammans med kol i delvis nedbrutet organiskt material (mull) i marken. Ökad lustgasavgång till atmosfären (röda pilar i grafiken) är en av många miljöeffekter av kvävetillförseln. Den uppstår framförallt där ammoniumkväve omvandlas till nitrat eller nitrat till kvävgas. Bredden på pilarna visar den ungefärliga storleken av olika kväveflöden, med undantag för de minsta flödena som har en fast storlek.

”I dag kan man ganska säkert säga att omkring 4 % av allt nytillfört kväve i lantbruket till slut hamnar i atmosfären som lustgas – eller 3-5 % angett med säkerhetsmarginaler.”

KVÄVE- KASKADEN

KVÄVEOXIDER

MER KVÄVE – MER LUSTGAS. Ständig tillförsel av nytt reaktivt kväve skapar en kaskad av kväveflöden genom hela lantbruket och vidare ut i samhället och naturen. Ökad lustgasavgång till atmosfären (röda pilar) är en av många effekter. Data från SCBs växtnäringsbalanser och några kompletterande källor [55-59].

KONSTGÖDSEL

LUSTGAS
KVÄVGAS
AMMONIAK
AMMONIUM
NITRAT
KVÄVEOXIDER
ORGANISKT KVÄVE

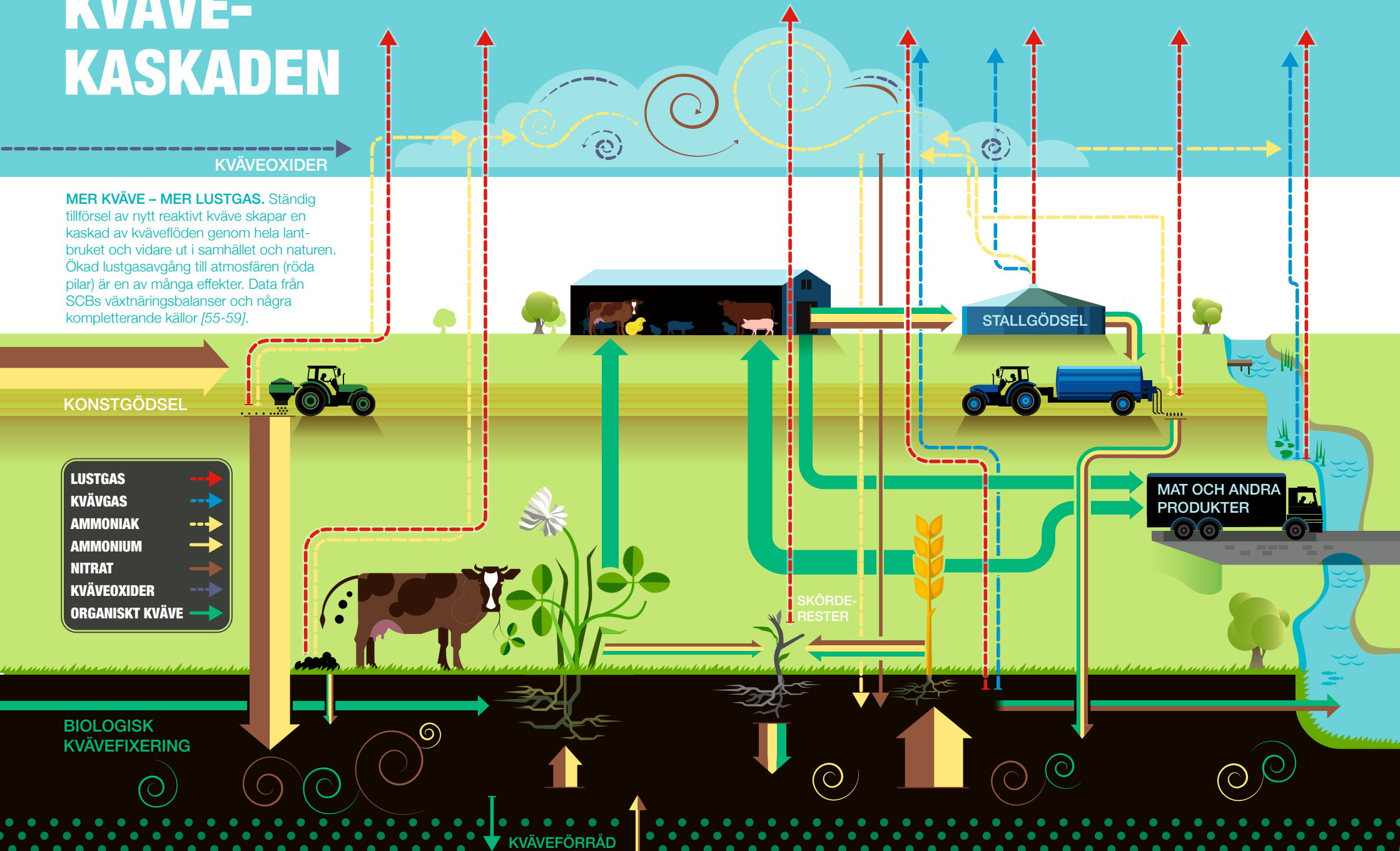
BIOLOGISK
KVÄVEFIXERING

KVÄVEFÖRRÅD

STALLGÖDSEL

MAT OCH ANDRA
PRODUKTER

SKÖRDE-
RESTER



Metan från idisslare.

METANGAS FRÅN IDISSLARNAS mat-smältning är 25-30 procent av de totala metanutsläppen. Det gör idisslarna till den klart största biologiska källan [16-18]. Men den allra största källan är icke-biologisk – metanläckagen från fossilindustrins kolgruvor, oljefält, pipelines och raffinaderier. Andra metankällor av betydelse är soptippar och risodlingen [16].

Metanhalterna i atmosfären har ökat ända sedan 1800-talet, först rätt långsamt, sedan allt snabbare under 1900-talet. Utvecklingen förklaras till stor del av de två största källorna: både fossilenergiutvinningen och antalet idisslare i världen har ökat kraftigt under 1900-talet. Men det finns också en osäkerhet om hur mycket våtmarker och andra naturliga källor har bidragit [17].

Djurantal och metanproduktion.

För att uppskatta hur mycket metan som kommer från idisslarna räcker det inte med att räkna antalet djur. Det finns stora regionala skillnader både i raser, produktionsmetoder och avkastning – alla faktorer som påverkar metanavgången.

I Sverige och den rika världen generellt har antalet mjölkkor länge minskat, men inte mjölkproduktionen, eftersom varje ko ger mycket mera mjölk – och mera metan. Ökningen av djurantalet har tvärtom skett i den fattiga världen där avkastningen är mycket lägre [17].

En beräkning som tagit hänsyn till alla

sådana faktorer, så långt tillgängliga data tillåter, tyder på att metanproduktionen från idisslarna ökat något snabbare än djurantalet, och att världens idisslare i dag släpper ut omkring fem gånger så mycket metan som kring sekelskiftet 1900 [17].

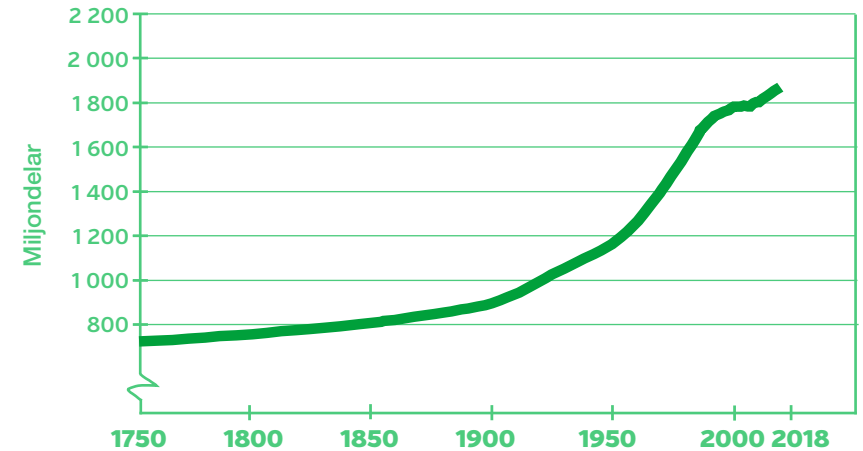
Hur många vilda idisslare?

Men fanns det inte stora mängder vilda idisslare före 1900-talet som kan ha släppt ut liknande mängder metan?

Hur många vilda idisslare det kan ha funnits globalt verkar inga forskare ens ha försökt beräkna. Men det finns uppskattningar för två regioner som haft bland de största koncentrationerna vilda betesdjur i historisk tid: den nordamerikanska prärien och Afrika söder om Sahara.

Bisonoxarna dominerade de stora gräsmarkerna på prärien ända fram till att arten nästintill utrotades under 1800-talet. Det har gjorts flera beräkningar av hur mycket bete deras utbredningsområde maximalt

”För att uppskatta hur mycket metan som kommer från idisslarna räcker det inte med att räkna antalet djur. Det finns stora regionala skillnader.”



METAN I ATMOSFÄREN.

Andel metan i atmosfären 1750 till 2018, miljondelar.

De två största metankällorna är fossilenergiindustrin och de idisslande djuren i lantbruket. Hacket i kurvan kring millenieskiftet 2000 berodde troligen på flera samverkande orsaker, bland annat kraftigt minskad oljeproduktion i Ryssland efter Sovjetunionens fall [65]. Källor: EEA och NOAA [60].

kan ha producerat, och de pekar alla på att bisonpopulationen som mest kan ha varit omkring 30 miljoner djur.

Det är jämförbart med dagens nötkreaturspopulation i samma område och bör ha orsakat ungefär motsvarande metanutsläpp [61].

Men det är ändå bara en dryg tredjedel av dagens totala antal nötkreatur i USA, så totalt är metanutsläppen från tama idisslare i dag nära tre gånger så stora.

Även i Afrika söder om Sahara har tama idisslare – både nötkreatur, får och getter – ersatt mycket av de tidigare vilda gräsätarna.

Men en modellstudie av de historiska populationerna har kommit fram till att det aldrig varit idisslande arter som stått för den största delen av gräsbetningen, utan elefanter. Skiftet från vilda till tama gräsätare beräknas därför ha inneburit att metanproduktionen i regionen mer än fördubblats [62].

Eftersom populationerna av vilda idisslare i de flesta andra delar av världen bör ha varit betydligt mindre än i Nordamerika och Afrika, är det osannolikt att det totala antalet skulle ha motsvarat mer än kanske 10-20 procent av dagens tamboskap.

Mer metan om kon äter gräs?

Idisslarnas metanproduktion orsakas av de cellulosaätande mikroorganismer i våmmen som gör det möjligt för dem att ta upp näring från gräs och annat grovfoder. Därför har många forskare misstänkt att en mindre andel gräs i fodret också skulle minska metanproduktionen. En hel del resultat har också pekat i den riktningen.

Men flera stora forskningsgenomgångar har nu dragit slutsatsen att det i huvudsak var en synvilla. Det går att minska metanavgången genom att dra ner på grovfodret, men det kräver extremt låga andelar, under 30 procent. Det förekommer nästan bara i nordamerikanska feedlot-system där 90 procent eller mer av näringsintaget är fodersäd [63].

I mer normala produktionssystem har det liten betydelse om kolhydraterna kommer från gräs eller spannmål. Det viktiga är att fodret är näringsrikt och inte för grovt. Det som påverkar metanproduktionen mest är nämligen hur mycket kon äter (foderintaget mätt som torrsubstans, DMI). Och därefter kommer andelen fiber. Mer foder och mer fiber ger mer metan [64].

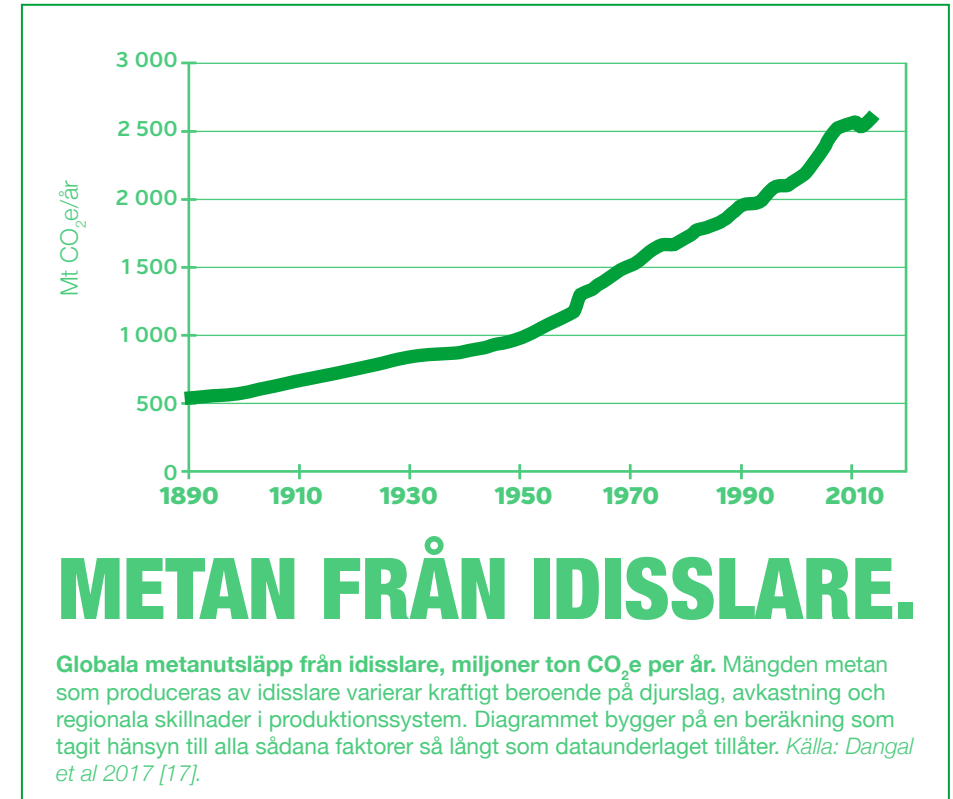
Låg avkastning - mer metan per kg produkt

Idisslare som hålls på magra beten eller äter en stor andel löv och annat grövre växtmaterial ger därför mer metan i förhållande till sin tillväxt eller mjölkproduktion. Det

betyder att traditionell betesproduktion i varma klimat är en förhållandevis stor metankälla [35, 18]. Hos ett lågproducerande djur går också en större andel av foderintaget åt till att upprätthålla grundläggande överlevnadsfunktioner (underhållsfoder). Det är ytterligare en faktor som bidrar till höga metanutsläpp för mycket av idisslarproduktionen i tropiska regioner, framförallt i Afrika [66].

Men metansiffrorna måste sättas i relation till den traditionella produktionens fördelar. Den bygger nästan helt på resurser – naturbeten och skörderester – som annars inte skulle bidra till matproduktionen alls. Eftersom den knappast använder någon åkermark ger den ingen klimatpåverkan från foderodling. Och i småbrukarsystemen är oxar, bufflar och även kor minst lika viktiga som dragdjur [35] – som det var

”Med den snabba ökningen av djurantalet står den fattiga världen nu för omkring 3/4 av de totala metanutsläppen från idisslare. Men vi i den rika delen av världen orsakar fortfarande mer metan per invånare.”



också i Sverige ända in på 1900-talet.

Med den snabba ökningen av djurantalet står den fattiga världen nu för omkring 3/4 av de totala metanutsläppen från idisslare. Men vi i den rika världen orsakar fortfarande mer metan per invånare [17].

Men högre avkastning inte alltid bättre.

Foderkvaliteten har stor betydelse för idisslarnas metanutsläpp även i Sverige och andra rika länder. Det gör skillnad att producera ett energirikt grovfoder eller att släppa tidigt på bete när näringsnivån är hög och fiberhalten låg.

Däremot är det inte givet att högre avkastning alltid ger mindre klimatpåverkan än lägre. För mjölkkor har behovet av underhållsfoder mycket stor påverkan på metanutsläppen per kg produkt vid riktigt låga avkastningar, 1-2 ton. Men det är en nivå som mest förekommer i extensiva småbrukarsystem i tropiska länder. Redan vid mjölkavkastningar på 4-5 ton är underhållsfodrets klimatpåverkan i stort sett borta. Så även vid avkastningsnivåer som i Europa betraktas som extremt låga är det andra faktorer i produktionssystemet som avgör, till exempel klimatpåverkan från foderodling [63].

FÖRDJUPNING. Svenska och utländska kor

DET FINNS stora skillnader i mjölkproduktionens klimatpåverkan mellan olika delar av världen, men skiljelinjerna går framförallt mellan lågavkastande och högavkastande produktionssystem. Skillnaderna mellan Sverige och andra länder med jämförbar produktionsmodell är små.

Räknat per ko är klimatpåverkan alltid mycket större från högavkastande kor i intensiv produktion. En aktuell uppskattning av metanavgången per mjölkko beräknade medelvärde per ko och år till 131 kg i Västeuropa, 159 kg i Nordamerika och 120 kg i Australien/Nya Zeeland [18]. Sveriges senaste rapport till FNs klimatkonventionen räknade med 141 kg per svensk mjölkko för 2017 [27].

I Afrika och Sydasien, de två regioner som har lägst mjölkavkastning, är genomsnittsvärdena ungefär hälften så stora, 62-77 kg. Men eftersom skillnaderna i avkastning är ännu större än skillnaderna i metanut-

släpp blir resultatet det motsatta om man räknar i förhållande till mängden mjölk. De lågavkastande systemen ger mindre metan per ko men betydligt mera per kg mjölk.

Metanet från kons mat-smältning är den största delen av mjölkens klimatavtryck, men foderodlingen och resten av produktionskedjan står i genomsnitt för mer än 40 procent. Räknar man ihop samtliga växthusgaser per kg mjölk så ligger regionerna med högavkastande mjölkkor klart lägst och även nära varandra.

I en beräkning med data från 2015 hade Europa, Nordamerika, Australien/ Nya Zeeland och Ryssland alla genomsnittsvärden på 1,3-1,4 kg CO₂e per kg mjölk [67]. I resten av världen varierade värdena från 2,4 i Ostasien och ända upp till 6,7 i Afrika söder om Sahara, där mjölkavkastningen beräknas ligga under 500 kg per ko och år. Genomsnittligt klimatavtryck för hela världen var i samma beräkning

2,5 kg CO₂e per kg mjölk. Mjölken från en europeisk genomsnittsko låg alltså 45 procent lägre än världsgenomsnittet och hela 80 procent lägre än mjölken från den afrikanska kon.

Men jämför man inom gruppen av högavkastande länder är det svårt att belägga några säkra skillnader.

Två separata studier har rangordnat samtliga EU-länders mjölkproduktion efter klimatpåverkan, även de med måttet kg CO₂e per kg mjölk [68-69]. Båda beräknar ett EU-genomsnitt på ungefär 1,3. I den ena studien ligger svensk mjölk tillsammans med den danska lägst av samtliga EU-länder, strax över 1,0. I den andra ligger Sverige i mitten, nästan exakt på EU-genomsnittet 1,3 – och Danmark ligger en bra bit över genomsnittet. Även många andra länder hamnar i helt olika delar av skalan i de två beräkningarna. ■

FÖRDJUPNING. Att jämföra metan och koldioxid

ÖVERSKATTAS INTE metanets klimatpåverkan när man räknar om den till koldioxidkvivalenter? Tar beräkningen verkligen hänsyn till att metanet försvinner så mycket snabbare ur atmosfären? Det är en vanlig fråga som kräver ett lite komplicerat svar.

I grunden påverkar metan och koldioxid klimatet på samma sätt. De hindrar värme från att stråla ut från jorden. Men det finns två viktiga skillnader som komplicerar jämförelsen. Den ena är att metan blockerar mycket

mera värme per kg än koldioxid, den andra att effekten fördelas helt olika över tiden – kort men intensiv för metan, mindre men mycket långvarig för koldioxid.

Den vanligaste jämförelsemetoden är att man beräknar den totala värmemängd som 1 kg metan blockerar under ett visst antal år jämfört med 1 kg koldioxid. Det ger ett jämförelsetal som kallas Global Warming Potential (GWP). Vanligast är att räkna på en

100-årsperiod (GWP₁₀₀), men GWP-tal för 20, 50 och 500 år förekommer också.

Enligt de nyaste beräkningarna från IPCC är GWP₁₀₀ för metan 28 eller 34, beroende på om man räknar med så kallade feedback-effekter eller ej [112]. I rapporteringen till FNs klimatkonvention används fortfarande ett äldre GWP-tal, 25 [113].

Eftersom GWP-talen är relativa innebär de att uppvärmningseffekten av 1 kg metan under en 100-år-

FAKTA. Fossilt och biologiskt metan

ÄR DET NÅGON skillnad mellan klimatpåverkan av metan från fossila och biologiska källor? Ja, men den är liten.

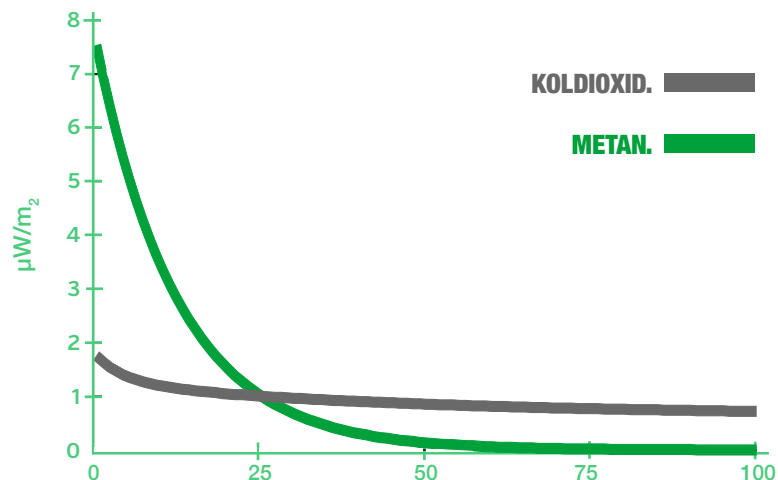
När metan bryts ned i atmosfären bildas en koldioxidmolekyl (CO₂) av kolatomen i metanmolekylen (CH₄). Den koldioxiden har samma uppvärmningseffekt

som all annan koldioxid.

Men om metanet är av biologiskt ursprung betraktas koldioxiden från nedbrytningen som en del av det biologiska kolkretsloppet och anses inte ge något nettobidrag till växthuseffekten – på samma sätt som koldioxid som avges direkt från biologiska

system eller vid förbränning av bioenergi.

Koldioxidmolekylens bidrag är dock bara en liten del av metanets totala växthuseffekt. Fossilt metan har enligt IPCCs aktuella rekommendationer ett GWP-värde på 30, jämfört med 28 för metan av biologiskt ursprung.



SNABBT ELLER LÅNGSAMT.

Uppvärmningspotentialen av 1 miljon ton koldioxid och motsvarande mängd metan (1 miljon ton CO₂e). Diagrammet visar uppvärmningseffekten av 1 Mton koldioxid jämfört med 1/28 Mton metan över en 100-årsperiod. Den totala uppvärmningspotentialen är exakt densamma, men fördelningen över tiden helt olika. Källa: Persson et al 2015 [117].

speriod är 25, 28 eller 34 gånger större än av 1 kg koldioxid. Räknar man på kortare tidsperioder blir skillnaden ännu större, beroende på att det mesta av metanets effekt redan uppstått under de första 20 åren, men bara en liten del av koldioxidens.

Begreppet koldioxidekvivalent (CO₂e) är ett annat sätt att uttrycka samma sak. Ett kg CO₂e är den mängd av en annan växthusgas som har samma uppvärmningspotential som ett kg koldioxid – alltså för metan 1/28 kg om

man räknar med ett GWP-tal på 28.

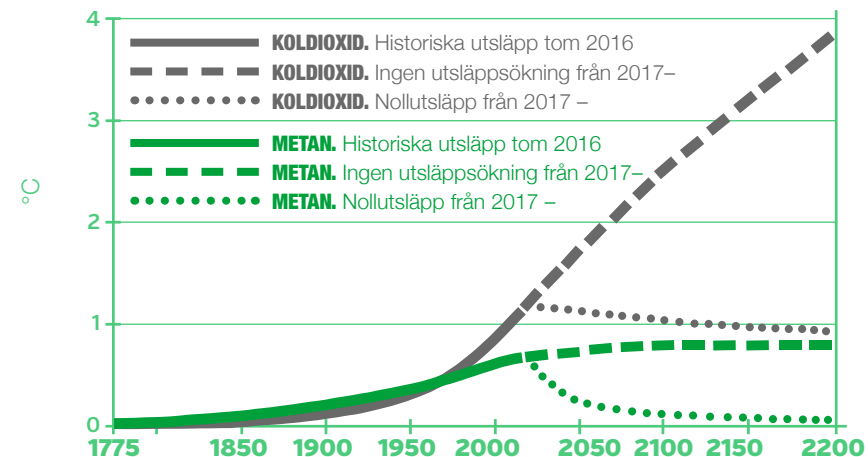
Diagrammet här ovanför visar hur klimatpåverkan fördelar sig över 100 år efter ett engångsutsläpp av en miljon ton koldioxid jämfört med en mängd metan som har samma uppvärmningspotential – en miljon ton koldioxidekvivalenter. Beräkningen baseras på GWP-talet 28 och metanmängden blir därför 1/28 Mton.

Den totala uppvärmningspotentialen under 100-årspe-

rioden är exakt densamma – ytan under metankurvan är precis lika stor som ytan under koldioxidkurvan. Både GWP-talet och CO₂e-talet ger alltså en helt korrekt bild av hur stor värmemängd som metanet blockerar jämfört med koldioxiden.

Däremot ger varken GWP eller CO₂e någon information om när under perioden effekten kommer. Tidsfaktorn ingår i beräkningen, men den syns inte i själva jämförelsetalen.

Metanet ger i början mer



MINSKA ELLER FORTSÄTTA.

Temperaturpåverkan från koldioxid och metan 1775–2200. Historiskt och två utvecklingsvägar. Diagrammet visar beräknad temperaturökning som orsakats av koldioxid respektive metan från 1775 till 2016, och hur temperaturpåverkan skulle utvecklats om alla utsläpp upphört från 2017 (prickade linjer) eller fortsatt på 2016 års nivå. Källa: Daniel Johansson, Chalmers efter modell från Sterner & Johansson 2017 [118-119].

än fyra gånger så stor uppvärmning. Först efter 25 år är koldioxiden ifatt. Men sedan fortsätter koldioxiden att värma. Fortfarande vid 100-årsperiodens slut har koldioxiden mer än 40 % av den värmeeffekt den hade från början, och det beräknas ta 1000 år eller mer innan den upphör helt.

GWP- och CO₂e-tal är alltså trubbiga instrument som är bra för översiktliga jämförelser – som i den här rapporten – men inte för noggrannare analyser. När forskningen studerar tänkbara

effekter av fortsatt ökade utsläpp eller minskningar av olika gaser används mer detaljerade modeller som beräknar varje gas för sig år för år.

Diagrammet på den här sidan bygger på en sådan modellberäkning. Här baseras jämförelsen på hur mycket metan respektive koldioxid påverkar den faktiska temperaturökningen.

De heldragna linjerna visar temperaturökningen av de historiska utsläppen fram till 2016 – grått är koldioxid,

grönt är metan. Ända fram till 1960-talet beräknas de båda gaserna ha bidragit ungefär lika mycket till temperaturökningen.

Men därefter tar koldioxidutsläppen snabbt överhanden. Det beror dels på att mängderna koldioxid nu växer mycket snabbare än mängderna metan, men också på att så lite av koldioxiden försvinner ur atmosfären varje år. Sammantaget ger koldioxiden därför en temperatureffekt som ökar mycket snabbare än utsläppen. Metanets klimatpåverkan

håller däremot ungefär samma tempo som utsläppen, eftersom effekten av de nya metantillskotten balanseras av att metanet från tidigare års tillförsel försvinner ur atmosfären i nästan samma takt.

Från 2017 och framåt visar diagrammet den beräknade effekten av två tänkta utvecklingsvägar. De streckade linjerna visar effekten på temperaturen om utsläppen skulle slutat att öka efter 2016, men fortsatt på 2016 års nivå varje år fram till 2200. De prickade linjerna visar istället temperatureffekten om alla utsläpp av koldioxid och metan helt hade upphört efter 2016.

Båda alternativen är tankeexperiment som inte kommer att bli verklighet, men de illustrerar vilka möjligheter som finns att reducera temperaturpåverkan av de två gaserna. Alla möjliga minskningar av koldioxid- respektive metanutsläppen ligger i utrymmet mellan de streckade och prickade linjerna. Med fortsatt ökade utsläpp hamnar tempera-

turpåverkan istället över de streckade linjerna – och det är där vi nu ligger i verkligheten.

Det som blir tydligt är att varje minskning av metanutsläppen skulle göra stor skillnad i temperaturpåverkan redan efter några decennier, medan minskningar av koldioxidutsläppen bara har effekt på mycket lång sikt. Även vid omedelbar övergång till nollutsläpp skulle påverkan bara minska marginellt på hundra år. En halvering av koldioxidutsläppen ger fortfarande kraftigt ökad påverkan – en linje mellan den streckade och den prickade.

Att metanets påverkan fortsätter att öka något även vid konstanta utsläpp (den streckade gröna linjen) förklaras av att beräkningsmodellen inkluderar de feedback-effekter som gör en temperaturhöjning självförstärkande genom att högre temperaturer i sig leder till ökade koldioxidhalter i atmosfären. Denna feedback räknas alltid in i koldioxidens

uppvärmingspotential, men oftast inte när man räknar på metan eller lustgas – vilket alltså underskattar metanets växthuseffekt [112]. ■

Koldioxid från mark och nyodling.

ALL JORDBRUKSMARK har från början varit naturmark, oftast skog eller naturlig gräsmark. När man gör jordbruksmark av naturmark frigörs nästan alltid stora mängder koldioxid. Det sker på två sätt.

Först snabbt när den naturliga växtligheten tas bort. Om träd och buskar bränns blir deras kolinnehåll koldioxid omedelbart. Lämnas de att förmultna tar det några år. Används träet till någon produkt eller som byggmaterial kan en del av effekten fördröjas längre.

Om marken sedan plöjs upp och används som åkermark startar också en mycket långsammare nedbrytning av det kol som finns lagrat i jorden som organiskt material – mull. Det är en process som kan pågå i 100 år eller mer och förbruka mellan 1/4 och hälften av kolet i marken [70-72].

Om den nya jordbruksmarken däremot används som permanent gräsmark och inte plöjs regelbundet, påverkas kolinnehållet i marken bara marginellt och kan ibland öka

”Ända fram till mitten av 1900-talet var kolförlusterna från avskogning och nyodling den största enskilda källan till koldioxidökning i atmosfären.”

[70, 73]. Även i existerande åkermark kan kolförlusterna stoppas och vändas till kolinlagring genom att odla gräs, antingen permanent eller i återkommande fleråriga perioder [74].

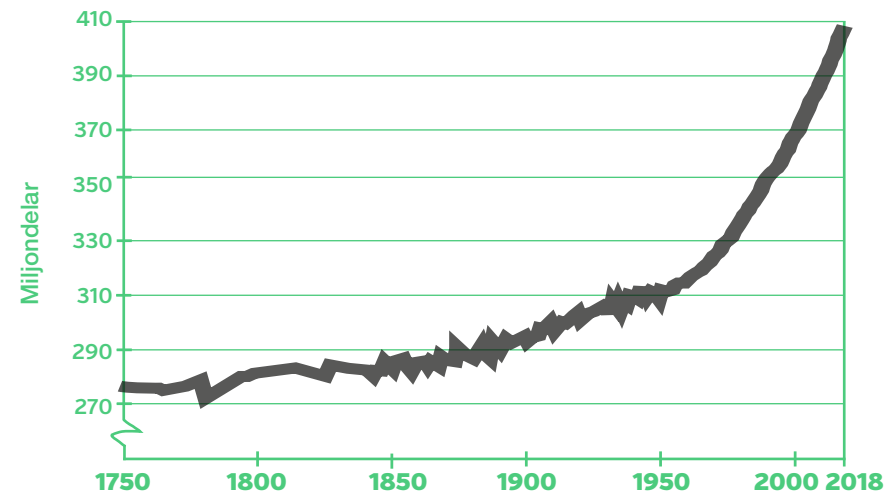
Länge mest koldioxid från jordbruket.

Historiskt har de här processerna flyttat mycket stora mängder kol från mark och växtlighet till atmosfären. Ända fram till mitten av 1900-talet var kolförlusterna från avskogning och nyodling den största enskilda källan till koldioxidökning i atmosfären. Först därefter tog den fossila koldioxiden överhanden. Än i dag beräknas omkring 1/3 av det samlade koldioxidöverskottet i atmosfären ha kommit från avskogning [70].

Jordbruket har varit den helt dominerande drivkraften bakom avskogningen, och den allra största delen av kolförlusterna har kommit från nyodling av åkermark. Sedan mitten av 1800-talet uppskattas avskogning för ny åkermark ha orsakat kolförluster på omkring 100 miljarder ton, varav kanske 25 från markkol och återstoden från borttagen växtlighet. Avskogning för ny betesmark har orsakat ytterligare 20-25 miljarder ton [70, 72, 75].

Kolskuld kvar i atmosfären.

Avskogning för ny jordbruksmark förekommer i dag nästan bara i ett litet antal tropiska låg- och medelinkomstländer.



KOLDIOXID.

Koldioxidhalt i atmosfären 1750 till 2018, miljondelar. I början av 1900-talet passerade koldioxidhalten i atmosfären 300 miljondelar. Det var första gången på minst 800 000 år. Fram till mitten av 1900-talet var koldioxid från avskogning den största enskilda källan. Ökningen sedan dess beror framförallt på fossilenergianvändningen. Källa: NOAA [76].

Brasilien och Indonesien står ensamma för cirka 40 procent [22]. I Europa och andra höginkomstländer har jordbruksmarken i stället minskat ända sedan mitten av 1900-talet, och i dag gäller det även många medelinkomstländer, bland annat Kina [77].

Men eftersom det tar över 1000 år innan koldioxid helt försvunnit ur atmosfären finns stora delar av kolskulden kvar, även för avskogning som skedde för flera hundra år sedan, som i Sverige. Att enbart skuldbelägga de länder som påbörjade avskogningen senare är inte rimligt.

En stor del av den nuvarande nyodlingen i tropikerna drivs dessutom inte av inhemsk konsumtion utan av internationell. Nötkött, soja, spannmål och palmolja är de produkter som orsakar mest avskogning, och samtliga säljs i varierande grad på export [22].

Det europeiska lantbruket är en av de största importörerna av brasiliansk fodersoja och importerar därmed också ett delansvar för avskogningen där. Storleken på det ansvaret kan uttryckas i ton koldioxid, som vi gjort för den svenska andelen i diagrammet på sidan 15.

Förlusterna av markkol fortsätter.

Den pågående avskogningen i tropiska länder får stora omedelbara konsekvenser eftersom regnskog har extremt stora mängder kol bundet i växtligheten, men förhållandevis lite i marken [75].

I svalare klimat som det europeiska är det tvärtom – marken innehåller 2-3 gånger så mycket kol som den naturliga växtligheten. Därför får de långsiktiga förlusterna av markkol större betydelse i vår del av världen.

Men förändringarna går så långsamt att de är svåra att mäta. De årliga mängderna räknas i kg per hektar, medan det totala kolförrådet på ett hektar kan vara 100-200 ton. Bara ytterst noggranna jämförelser som pågår i decennier eller mera kan ge säkra resultat.

Forskningsdata om markkolförändringar finns därför bara från ett litet antal långtidsförsök, mest i Europa och USA, och i några länder även från statistikinsamlade myndigheter.

Ensidiga växtföljder ger kolförluster.

Men de begränsade resultat som finns är ganska entydiga. Åkermark som kontinuerligt odlas med ettåriga grödor och näringsförsörjs enbart med konstgödsel förlorar i de flesta fall kol varje år, även efter flera decennier.

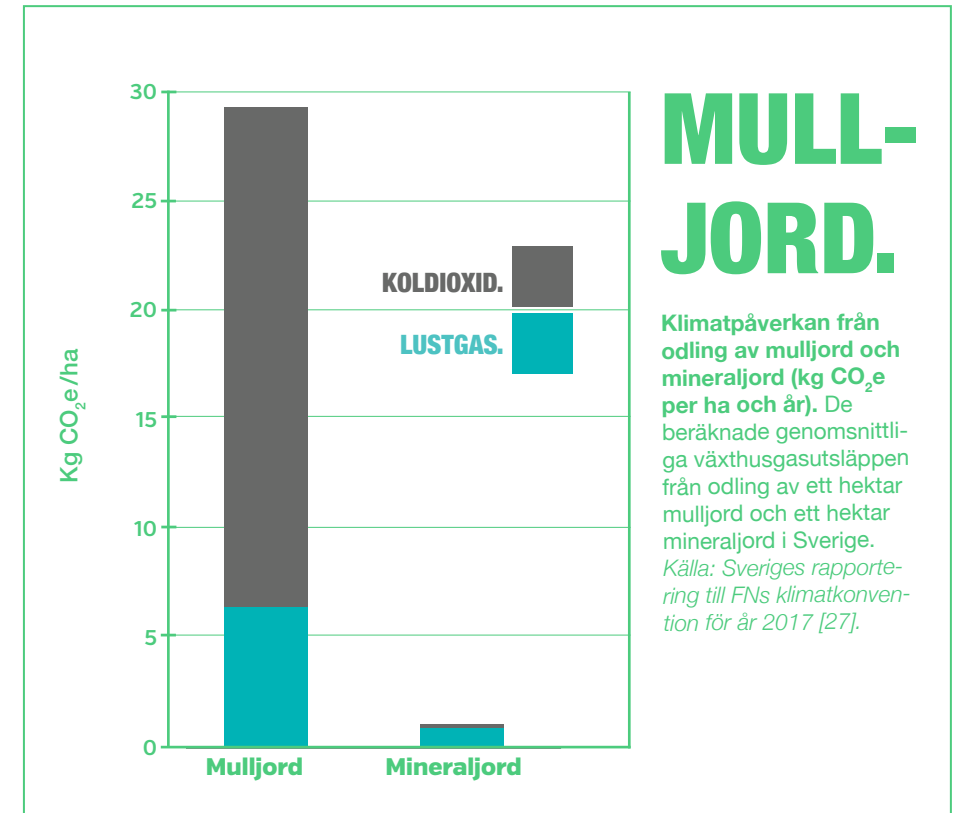
Bilden är snarlik i försök från Nordame-

rika och en rad europeiska länder, inklusive Sverige [78-89]. Mängden kol som förloras varierar mycket, bland annat beroende på jordart, men det är sällan mycket, oftast några få hundra kg per hektar och år. Mark där det odlas vall, det vill säga gräs eller blandningar av gräs och klöver - visar tvärtom stabila eller ökande kolhalter i långtidsförsök. Det gäller både för permanenta gräsmarker och när vall ingår i en växtföljd omväxlande med ettåriga grödor [74, 78, 84, 87, 89, 90].

Eftersom det mesta av världens åkermark nu odlas med bara konstgödsel som växtnäringsskälla [91] är det troligt att kolförlusterna globalt är större än kolinlagringen, men säkra slutsatser går inte att dra enbart från ett litet antal försöksodlingar.

Några europeiska länder har också nationella övervakningsprogram med återkommande mätningar av kolhalterna i jordbruksmarken i större skala. Resultaten visar oftast men inte alltid en sjunkande trend [78].

”Åkermark som kontinuerligt odlas med ettåriga grödor och näringsförsörjs enbart med konstgödsel förlorar i de flesta fall kol varje år, även efter flera decennier.”



MULLJORD.

Klimatpåverkan från odling av mulljord och mineraljord (kg CO₂e per ha och år). De beräknade genomsnittliga växthusgasutsläppen från odling av ett hektar mulljord och ett hektar mineraljord i Sverige. Källa: Sveriges rapportering till FN:s klimatkonvention för år 2017 [27].

I Sverige är ett övervakningsprogram ganska nystartat och säkra trender går ännu inte att utläsa. Däremot visar mätningarna mycket tydliga skillnader i kolförråd mellan lantbruk med och utan vall i växtföljden. Gårdarna utan vall har mellan 10 och 25 procent lägre kolhalter, en skillnad som motsvarar 10-20 ton kol per hektar [92].

Mycket stora utsläpp från mulljordar.

Mulljordar är en liten del av världens totala åkermark, mindre än två procent. De har inte skapats från skog eller gräsmark, utan genom utdikning av våtmarker.

En vanlig åkerjord består mest av mineralpartiklar, och innehållet av organiskt material är bara några få procent. I en mulljord är det organiska materialet en stor andel, ofta 30 procent eller mer. Det har stora konsekvenser för klimatpåverkan. När en våtmark dräneras och börjar användas som åkermark utsätts jorden som legat under vatten för syre. Syret orsakar en snabb nedbrytning av organiskt material som frigör både kol och kväve. Det leder till mycket stora utsläpp av både koldioxid och lustgas, som fortsätter tills mullen är förbrukad.

En dränerad mulljord kan släppa ut 10-80 ton koldioxid per hektar och år, motsva-

rande ungefär 3-20 ton kol. Det är 15-100 gånger så mycket som en mineraljord.

Därtill kommer lustgasutsläpp på 3-8 ton räknat som koldioxidekvivalenter, ungefär 5-10 gånger så mycket som en kvävegödslad mineraljord [27, 25].

Mulljordarna finns framförallt i två regioner: tropikerna och det nordliga skogsbältet.

Stor andel mulljord i Sverige.

Både utsläppen per hektar och de totala mängderna är störst i tropikerna, där stora arealer ny åkermark har dränerats de senaste åren, framförallt i Indonesien och några angränsande länder, till stor del för palmolja-plantager [93]. I Europa är Sverige ett av de länder med störst andel mulljordar, en knapp tiondel av åkermarken. Det innebär

”I en mulljord utgör det organiska materialet en stor andel. Det har stora konsekvenser för klimatpåverkan.”

att mulljordarna står för en mycket stor del av det svenska lantbrukets samlade utsläpp: mer än 3 miljoner ton koldioxid, plus lustgas motsvarande ytterligare nästan en miljon ton CO₂e. Sammanlagt cirka 30 procent av lantbrukets hela klimatpåverkan. Utsläppen från de svenska mulljordarna är med andra ord ensamma i samma storleksordning som allt metan från svenska idisslare eller lustgasutsläppen från all annan jordbruksmark i Sverige.

FÖRDJUPNING. Svenska undersökningar av markkol

DE SVENSKA data som finns om markkolförändringar kommer mest från långliggande odlingsförsök, men inom den statliga miljöövervakningen finns nu ett provtagningsprogram som på sikt ska ge kunskap även om utvecklingen i det praktiska lantbruket över hela landet.

Det som är bäst belagt är kolförlusterna från odlings-system med kontinuerlig odling av spannmål och andra ettåriga grödor med enbart konstgödsel som växtnäringstillförsel. I en resultatmanställning från 9 svenska långtidsförsök under perioden 1988-2009 [83] hade samtliga platser genom-

snittliga förluster på 50-350 kg C ha/år vid normala gödselgivor och nedbrukning av all halm och andra skörde-rester. Provtagningen gjordes som i de flesta försök bara ned till 20 cm djup.

Det finns mindre data om växtföljder med vall, men i en studie från två andra svenska långtidsförsök [84] görs en direkt jämförelse mellan kolförrådets utveckling under 35 år i kontinuerlig spannmålsodling och i en växtföljd med tre år vall och ett år spannmål. Den rena spannmålsväxtföljden hade kolförluster på 150-190 kg C/ha/år, nära genomsnittet för de andra långtidsförsöken.

Även här med normala gödselgivor och nedbrukning av all halm.

Vallväxtföljden odlades både med kvävegödsling alla fyra åren och helt utan. I båda fallen var vallen en gräs/klöver-blandning. Alla varianter gav en kolinlagring, men den varierade mellan de två försöksplatserna som hade helt olika jordarter. I genomsnitt ökade kolförråden med 170-350 kg C/ha/år för de kvävegödslade leden och 70-280 kg utan kvävetillförsel, räknat över hela växtföljden. Med spannmåls-året borträknat motsvarar det en inlagring för varje år med vallodling på 280-530 kg C/ha kvävegödslat och 140-440

kg C/ha utan kvävetillförsel.

I det här försöket mättes kolhalterna även ned till 50 cm djup och de värdena visade att kolbalansen i flera fall påverkades markant även på det större djupet, särskilt i den ogödslade vallväxtföljden där kolinlagringen var omkring 60 procent större mätt ned till 50 cm. På den lättare jorden ökade även kolförlusterna i den kontinuerliga spannmålsodlingen kraftigt.

År 2001 inleddes en systematisk provtagning av åkerjord på 2000 mätpunkter utlagda i ett rutnät jämnt fördelat över landets åkerareal. Den ingår i Naturvårdsverkets miljööver-

vakning och ska upprepas vart tionde år. Än finns bara publicerade resultat från den första mätomgången. Därför kan inget sägas om förändringar av markkolett [92].

Däremot kunde man redan efter de första mätningarna jämföra kolhalterna på gårdar med olika driftsinriktning. Det visade en stor skillnad mellan gårdar med och utan nötkreatur, som huvudsakligen kunde tillskrivas vallodlingen. Stallgödsling kan också ha bidragit, men eftersom grisgårdar trots stora stallgödselmängder inte hade högre kolhalter än djurlösa gårdar, antogs stallgödsling vara en liten faktor. Skillnaderna

varierade från strax under 10 till över 30 procent. Grovt omräknat med ledning av andra uppgifter i rapporten innebär det skillnader i kolförråd på 10-20 ton per hektar ned till 60 cm djup. Eftersom specialiserade växtodlingsgårdar utan djur inte förekom innan konstgödseln slog igenom i stor skala efter andra världskriget, måste man anta att skillnaderna uppstått under 50-70 år. Det motsvarar årliga kolförluster på 140-400 kg C per hektar, vilket stämmer väl med uppmätta förluster från långtidsförsöken. ■

Mindre växthusgaskällor.

ALLA ANDRA källor till växthusgaser i lantbruket är jämförelsevis små (se sidan 16 och 17). De tre stora källorna står för grovt räknat fyra femtedelar av lantbrukets klimatpåverkan. Här kort om de sex största av de mindre växthusgaskällorna – ytterligare tre biologiska och tre icke-biologiska.

Metan från risodling.

Ris odlas till största delen i system där marken står under vatten en stor del av säsongen. Precis som i naturliga våtmarker lever metanbildande mikroorganismer i den syrefria miljön. Den totala metanavgången från hela världens risodling är omkring 1/4 av mängden från alla världens idisslare. Det gör att ris är det sädeslag som har klart högst klimatpåverkan [21, 38].

Metan från gödselhantering.

Stallgödsel som hanteras i flytande form skapar också en syrefattig miljö som gynnar metanbildning. I Sverige och de flesta jämförbara länder är flytgödsel i dag den vanligaste hanteringsformen. Globalt är metan från flytgödsel bara någon enstaka procent av lantbrukets totala växthusgaser. I Sverige är andelen 2-3 gånger högre, men som jämförelse inte mer än kring 1/10 av metanavgången från idisslarnas matsmältning [16-17, 27].

Metan och lustgas från betesbränning.

En biologisk källa som är betydelsefull globalt är bränning av betesmarker. Merparten av världens nötkreatur föds upp på naturliga betesmarker i torra klimat (savann) som ofta bränns som en del av betesskötseln. Koldioxiden tas upp igen av växtligheten,

men det bildas också metan och lustgas som blir kvar i atmosfären. Total klimatpåverkan är ungefär hälften av risodlingens [21].

Tillverkning av konstgödselkväve.

I Sverige och den rika världen i övrigt är tillverkningen av konstgödselkväve den största icke-biologiska växthusgaskällan i lantbruket. I världen som helhet är andelen mindre, men skillnaden minskar snabbt eftersom konstgödselanvändningen framförallt växer i låg- och medelinkomstländer.

Industriell kvävefixering är en energiintensiv process som drivs med fossilenergi och orsakar utsläpp av både koldioxid och lustgas. Men utsläppen från tillverkningen är ändå mycket mindre än de som uppstår när gödseln används. Ett kg kväve i konstgödsel ger 3-11 kg CO₂e från produktionen, men kan orsaka 15-20 kg CO₂e i form av lustgas på sin väg genom kvävekretsloppet. [40, 94].

Fossilenergi i fordonsbränslen.

Bränslet till traktorer och andra jordbruksmaskiner är en betydligt mindre källa till växthusgaser än konstgödseltillverkningen, i Sverige mindre än hälften. Både globalt och i Sverige beräknas dieseln stå för 2-3 procent av lantbrukets klimatpåverkan [21, 26].

Fossilenergi övrigt.

I det svenska lantbruket är övrig fossilenergi-användning ännu mindre än användningen som fordonsbränsle. Globalt är den tvärtom en betydligt större post. Skillnaden beror framförallt på två saker. Dels att bevattning kräver mycket energi i stora delar av världen. Dels att även elenergin i de flesta länder kommer från fossila källor, medan den svenska är nästan fossilfri [21, 26].

”I Sverige och den rika världen i övrigt är tillverkningen av konstgödselkväve den största icke-biologiska växthusgaskällan i lantbruket.”

Hur mycket behöver växthusgaserna minska?

Utsläppen av växthusgaser behöver minska kraftigt i alla delar av samhället. Det är svårt att klara i lantbruket utan att det leder till mindre skördar. Men med en större andel växtbaserade livsmedel kan en odling som ger mindre mängd mätta lika många människor.

DET RÅDER ABSOLUT inget tvivel om att de totala utsläppen av växthusgaser från mänsklig verksamhet måste minska kraftigt – och att det gäller alla gaser, alla källor och alla samhällssektorer. Den som idag fortfarande säger att någon annan kan ta ansvaret och att just den egna verksamheten kan undantas har inte insett hur allvarlig klimatkrisen är.

Vart är klimatet på väg?

Om nuvarande trender fortsätter är världen inte på väg mot 1,5-2 graders temperaturökning, utan mot 4-5. Det gäller även om man räknar in den förväntade effekten av alla klimatåtgärder som redan har startats eller beslutats.

Om man dessutom antar att alla världens regeringar genomför 100 procent av de frivilliga åtaganden man gjort inom FNs klimatkonvention, hamnar temperaturökningen ändå på 3-4 grader.

Det här är inga alarmistiska gissningar. Det är resultatet av torra matematiska sannolikhetsberäkningar baserade på dagens samlade vetenskap om växthusgasernas effekter och om pågående och föreslagna motåtgärder [95]. Och även den allra senaste statistiken visar att utsläppen fortsätter öka. Ingen vändpunkt är ännu i sikte vare sig för koldioxid, lustgas eller metan [21, 96-97].

Hur mycket behöver förändras?

Vad betyder det här för lantbruket? Hur mycket behöver förändras?

Det korta svaret är detsamma som för alla

”Det är lätt att argumentera för att matproduktionen skulle kunna tillåtas lite mindre tuffa klimatkrav. Men den flexibiliteten finns inte längre.”

andra delar av samhället: *Så mycket som möjligt.*

Matproduktionen är en av de viktigaste funktionerna i samhället. Det är lätt att argumentera för att den skulle kunna tillåtas mindre tuffa klimatkrav. Men den flexibiliteten finns inte längre om temperaturökningen ska kunna hållas så lågt som 1,5-2 grader.

Om seriösa klimatåtgärder hade påbörjats för ett par decennier sedan kunde det ha funnits ett utrymme för att acceptera lite större utsläpp inom vissa samhällssektorer i utbyte mot snabbare minskningar i andra, och ändå klara ett klimatmål på två grader eller lägre. Men det utrymmet har nu ätits upp av fortsatt ökande utsläpp [95].

Klimatbudgeten nästan uppäten.

Det här är i grunden ganska enkel matematik – även om själva beräkningarna förstås är komplicerade och innehåller samma osäkerheter som alla andra siffror i klimatvetenskapen.

Varje ton växthusgas ger en viss mängd värme. En viss mängd värme ger en viss temperaturökning. Sätter man en målnivå för temperaturen till ett visst årtal kan man räkna baklänges och få fram hur många ton av olika växthusgaser som kan släppas ut fram till dess utan att överskrida målnivån – en klimatbudget.

Om minskningen av växthusgaser påbörjas i god tid kan den göras i lugn takt och med en viss flexibilitet. Men ju längre man dröjer desto mer av budgeten äts upp i början av perioden, och desto snabbare måste minskningen ske mot slutet – särskilt om utsläppen först tillåts öka.

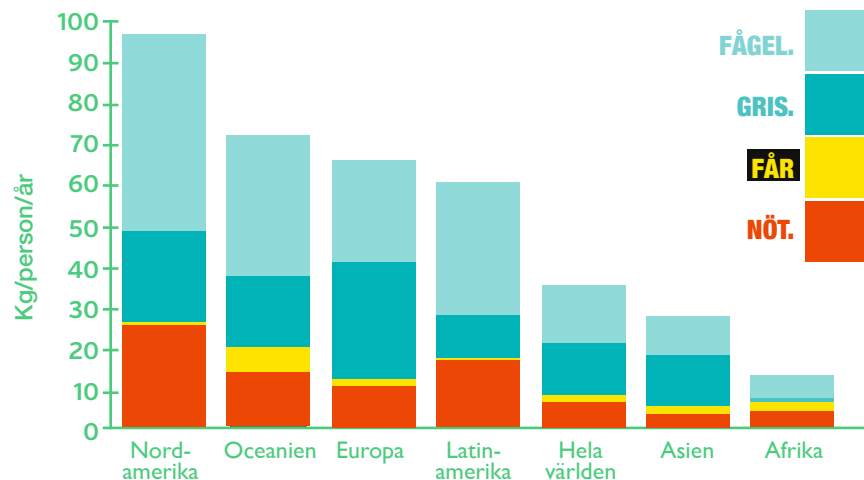
Till slut finns ingen flexibilitet kvar, utan allt som är möjligt måste göras samtidigt. Det är där vi befinner oss i dag om en målnivå kring 2 grader ska vara möjlig att nå.

Hur mycket är möjligt i lantbruket?

Så mycket som möjligt måste alltså vara huvudprincipen även för lantbruket. Men det är svårare att säga vad det betyder i lantbruket jämfört med resten av samhället.

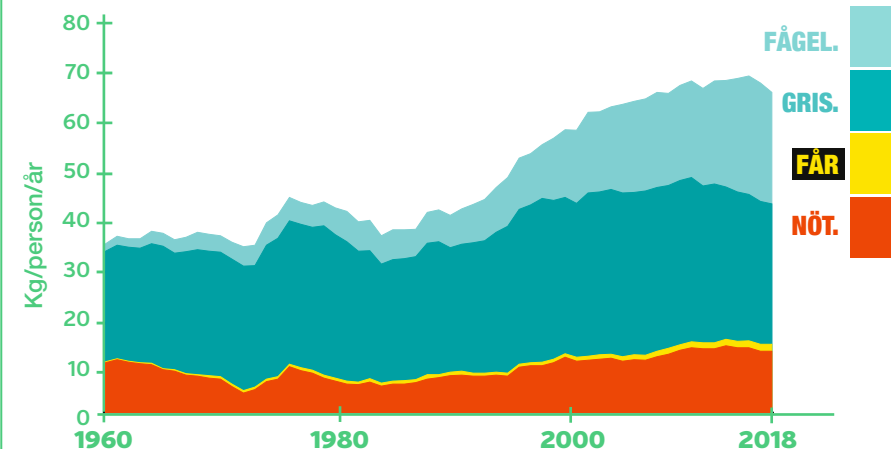
När det gäller koldioxiden finns ingen skillnad. Den är så långlivad i atmosfären att även små fortsatta nettoutsläpp ökar temperaturen i flera hundra år. De totala koldioxidutsläppen måste därför ner till noll eller helst minus. Om ett nettoutsläpp kommer från biologiska eller fossila källor spelar ingen roll. Blir det ett överskott kvar i atmosfären är effekten precis densamma.

Men i lantbruket kommer omkring hälften av klimatpåverkan från lustgas och metan, och de utsläppen är omöjliga att reducera till noll utan att upphöra med matproduktionen. Odling och djurhåll-



KÖTTKONSUMTION VÄRLDEN.

Köttkonsumtion i olika världsdelar, kg/person och år. Diagrammet visar konsumtion av ätferdig kött, som det köps i butiken. Siffrorna är ett genomsnitt för 2016-2018 och är jämförbara med den svenska konsumtionskurvan till höger på uppslaget. Att äta mycket kött är en klassmarkör över hela världen, inte minst i många utvecklingsländer. *Källa: OECD och FAO [99]*



KÖTTKONSUMTION SVERIGE.

Köttkonsumtion i Sverige 1960 till 2018, kg/person och år. Diagrammet visar konsumtionen av ätferdiga köttprodukter fördelat på fyra köttslag. Genomsnittssvensken äter i dag 60 procent mer kött än 1990. Men sedan 2017 har konsumtionsökningen avstannat. *Källa: Jordbruksverket [100]*

ning bygger på att koncentrera flöden av kol, växtnäring och andra resurser till jordbruksmarken och tamdjuren, och det är ofrånkomligt att utsläppen ökar jämfört med opåverkade ekosystem. Lantbruket orsakade därför växthusgaser även i förindustriell tid, kanske till och med mer per producerad enhet. Skillnaden är att den totala produktionen var så mycket mindre. Ända in på 1900-talet var världsbefolkningen under 2 miljarder – en fjärdedel av dagens – och bara ett litet fåtal konsumerade resurskrävande animalieprodukter i de mängder många gör i dag.

Mängderna är problemet.

Dagens problem är alltså framförallt kvantitativt – det är mängderna som är problemet. Lantbruket har vuxit sig större än vad jordens biologiska och kemiska system klarar av att hantera – mängden jordbruksmark, mängden djur, mängden kväve, mängden växthusgas, och ytterst mängden människor. Maten till de två miljarderna i början av 1900-talet kunde produceras utan stora effekter på klimatet. Den omfattningen vet vi är säker, men den räcker inte på långt när att försörja dagens eller framtidens världsbefolkning.

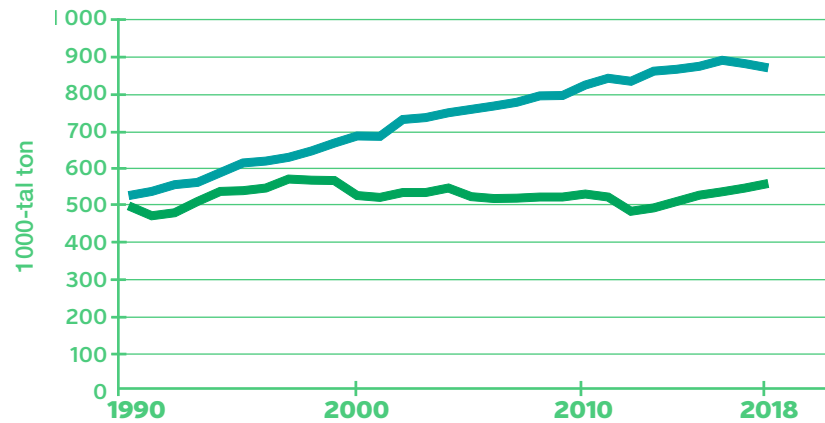
Så mycket som möjligt är därför ett rörligt mål. Dagens klimatpåverkan måste minska kraftigt, men vi vet inte hur stor minskning som är långsiktigt möjlig med tillräcklig matproduktion och utan ytterligare urholkning av biologisk mångfald och ekosystemtjänster.

Mindre växthusgas – mindre produktion.

Det som däremot är helt klart är att det krävs betydligt mer än bara justeringar av nuvarande produktionsmodeller.

Enligt en ofta citerad studie skulle det bara gå att minska lantbrukets lustgas- och

”En allt större del av klimatforskningen drar därför slutsatsen att en tillräckligt stor minskning av mängderna växthusgaser inte är möjlig utan att det också påverkar hur mycket lantbruket kan producera.”



SVENSK KÖTTPRODUKTION.

Produktion och konsumtion av kött i Sverige 1990-2018, slaktad vikt, tusentals ton. Den ökade köttkonsumtionen i Sverige har helt baserats på ökad import och har skett efter inträdet i EU. Den svenska produktionen har däremot stått stilla sedan 1990. Diagrammet visar total produktion och konsumtion som slaktad vikt. Källa: Jordbruksverket [100].

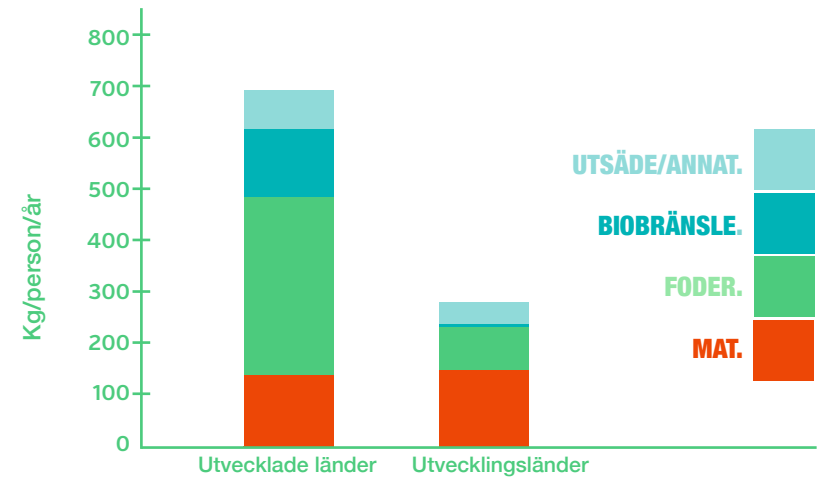
metanutsläpp med 4-7 procent med i dag tillgängliga tekniska åtgärder, utan att samtidigt förändra dagens produktions- och konsumtionsmönster. Det var ändå en mycket optimistisk beräkning som förutsatte att 100 procent av lantbrukarna bytte till bästa möjliga teknik [98].

En allt större del av klimatforskningen drar därför slutsatsen att en tillräckligt stor minskning av mängderna växthusgaser inte är möjlig utan att det också påverkar hur mycket lantbruket kan producera. Och helt centralt för att klara matförsörjningen med en mindre produktion är att växla över lantbruket till att producera en större andel

växtbaserade livsmedel [101-103].

Med den utgångspunkten öppnas många fler möjligheter till meningsfulla minskningar av växthusgaserna från lantbruket utan att riskera att maten inte räcker. I flera fall med åtgärder som redan utnyttjas i ekologiskt lantbruk, där den lägre miljöpåverkan alltid hänger ihop med mindre insatsmedel, lägre djurtätheter och lägre hektarskördar.

I nästa avsnitt ges ett antal exempel på möjliga åtgärder för att minska de olika utsläppskällorna, både försiktiga och mer radikala, men alla möjliga att påbörja omgående.



SÅ ANVÄNDS SPANNMÅLEN.

Spannmålsanvändningen per person i rika och fattiga länder. Genomsnitt 2016-2018. Rika eller "utvecklade" länder här enligt FAOs definition: i huvudsak USA, Kanada, Europa, och fd Sovjet, Japan, Australien och Nya Zeeland. Mängden spannmål som blir livsmedel skiljer marginellt mellan rika och fattiga länder, men mängden som blir djurfoder är fyra gånger större i den rika världen. Källa: OECD och FAO [99].

FAKTA. Mängden kött - vad åt vi förr?

DISKUSSIONEN om mindre kött i kosten väcker reaktioner både bland konsumenter och producenter. Men hur stor omställning vore det om köttkonsumtionen i Sverige minskade till världsgenomsnittet – ungefär hälften av vad medelvensken äter idag?

Näringsmässigt finns inget problem. Halverat intag skul-

le fortfarande täcka behovet av de näringsämnen som kan vara svåra att få från vegetabilier – vissa aminosyror och vitamin B12 [189]. Sveriges nuvarande höga köttkonsumtion på nästan 70 kg per person och år är också en ny företeelse. I början av 1990-talet låg siffran omkring 40 kg.

En återgång till 1990-

talets nivå bör inte vara någon stor utmaning för svenskarna. I andra länder som haft en hög köttkonsumtion under längre tid kan omställningen säkert vara svårare. Men det är mer av kulturella än av praktiska skäl. Det handlar delvis om matkultur, men också om att köttätande har blivit en symbol för välstånd.

Minska lustgasen från kvävekretsloppet.

LUSTGASBILDNINGEN STYRS framförallt av tre faktorer: temperatur, fuktighet och tillgången på kväve.

Den enda av de tre faktorerna som lantbrukaren har egentlig kontroll över är kvävetillgången. I grunden handlar det om att begränsa insatserna av nytt kväve i form av konstgödsel och/eller biologisk kvävefixering, men även om att välja tidpunkter för gödsling och jordbearbetning som minimerar risken för stora kvävekoncentrationer i marken. Åtgärder för bättre kvävehushållning och minskade förluster framställs ibland som ett alternativ till minskad nytillförsel. I själva verket kompletterar de varandra, eftersom alla effektiviseringsåtgärder möjliggör minskade kväveinsatser utan att avkastningen påverkas.

- I hanteringen av stallgödsel finns många förlustrisker, som kan minskas med bättre teknik för lagring och spridning. I Sverige har mycket redan åtgärdats, men internationellt är mera ogjort [104].

- Stallgödseln kan utnyttjas bättre genom spridning av mindre givor över större areal. Många djurgårdar har stora kväveöverskott på grund av höga djurtätheter och stora foderinköp [105-106].

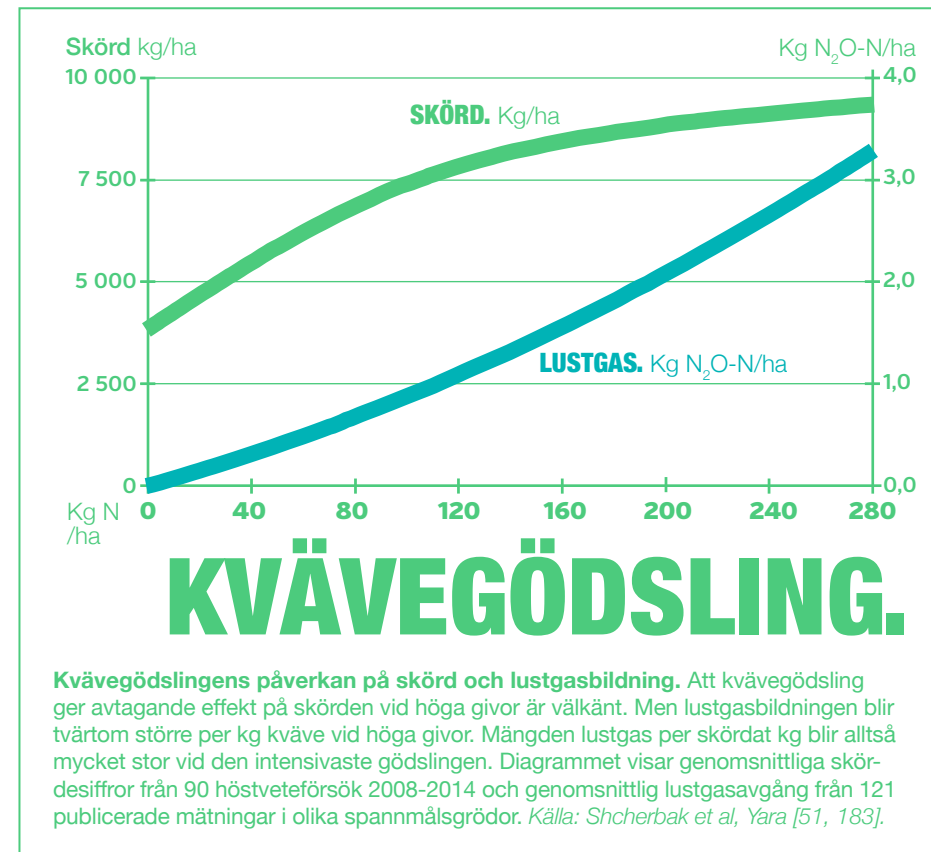
- All överanvändning av kväve, både konstgödsel och stallgödsel, innebär snabbt ökande risker för lustgasbildning från det outnyttjade kvävet, både på fältet och från

nitrat som följer med markvattnet och kan ge stor lustgasbildning utanför jordbruksmarken.

- Även kvävegivor strax under beräknat ekonomiskt optimum är en riskfaktor, eftersom kväveupptaget aldrig kan beräknas exakt och "optimal" gödsling därför i hälften av fallen leder till överskott. En reduktion till 10-20 procent under optimum påverkar avkastningen marginellt men lustgasavgången mycket mera [51-52].

- Minskad kvävetillförsel påverkar ofta lustgasavgången mer än avkastningen. Ekologiska gårdar i Sverige har enligt Greppa Näringsens databas en kvävetillförsel på 50-60 procent av konventionella gårdar med samma driftsinriktning, en betydligt större skillnad än skillnaden i hektaravkastning [107-108].

- Eftersom lustgasbildningen oftast är störst vid syrefattiga förhållanden (hög vattenhalt) kan risken också minskas genom åtgärder för en god jordstruktur, till exempel att undvika markpackning och underhålla dräneringar [190].



”All överanvändning av kväve, både konstgödsel och stallgödsel, innebär snabbt ökande risker för lustgasbildning från det outnyttjade kvävet, både på fältet och från nitrat som följer med markvattnet.”

Minska metanet från idisslarna.

EFTERSOM IDISSLARNAS metanproduktion är i stort sett proportionell mot deras tillväxt eller mjölkproduktion, finns små möjligheter att minska metanet utan att också minska produktionen. Undantaget är de allra mest lågproducerande djuren i småbrukarsystem i tropikerna, där ökad produktion kan gå hand i hand med mindre metan.

- Foderkvaliteten är det mest avgörande för mängden metan, eftersom metanavgången ökar ju större mängd foder som djuret äter. Men potentialen att minska idisslarnas metanproduktion med ändrad utfodring är begränsad i Sverige och jämförbara länder där de flesta djur redan får ett näringstätt foder med måttligt fiberinnehåll.

- I småbrukarsystem i Afrika och en del andra regioner finns däremot stora möjlig-

”Eftersom idisslarnas metanproduktion är i stort sett proportionell mot deras tillväxt eller mjölkproduktion, finns små möjligheter att minska metanet utan att också minska produktionen.”

heter till ökad avkastning genom förbättrad utfodring, som möjliggör oförändrad eller ökad produktion med minskat antal djur, vilket förbättrar ekonomin samtidigt som mängderna metan minskar [67].

- Det experimenteras med en rad olika fodertillsatser för att påverka metanavgången, men minskningspotentialen bedöms bara vara några få procent [109].

- Hos mjölkkor finns däremot stora genetiska skillnader i metanavgång vid samma produktionsnivå, kopplad till skillnader i artsammansättningen hos mikroorganismerna i våmmen. Det kan därför finnas möjligheter att påverka metanproduktionen via genetiska förändringar, alternativt genom att ”ympa” korna med mikroorganismer som producerar mindre metan. [110-111].

- Idisslarna har också viktiga systemfunktioner i lantbruket och en alltför kraftig minskning av antalet idisslare kan därför skapa andra problem i stället för metanet. Idisslande djur möjliggör matproduktion både från naturbetesmarker och kvävefixerande klövergräsvallar, som inte ger några växtprodukter som kan ätas direkt av människor. Samtidigt kan växtnäring flyttas från vallar till andra grödor med idisslarnas gödsel. Det som i första hand ska minskas (eller förändras) är därför högintensiv produktion som förädlar mindre gräs och kräver stora insatser av foder från ettåriga grödor.

Minska koldioxiden från mark och nyodling.

KOLDIOXIDKÄLLORNA I LANTBRUKET

måste liksom alla andra koldioxidkällor reduceras till noll, eller allra helst till minusvärden genom olika former av kolinlagring. Avskogningen i tropikerna är globalt sett den stora biologiska koldioxidkällan, men i Sverige är koldioxiden från mulljordarna ett problem av samma storleksordning.

- Återstående tropiska urskogar måste skyddas, och lantbruket i Sverige och många andra länder har ett delansvar för det genom att avskogningen till ganska stor del drivs av sojaimporten [22]. Att ersätta sojan med egen proteinfoderproduktion måste ha högsta prioritet för hela det europeiska lantbruket. Det finns inga tekniska hinder, bara en viss merkostnad [120].

- Odlingen av mulljordar har snarlika effekter som avskogningen, globalt i mindre skala, men i Sverige av fullt jämförbar storlek. Det finns ingen annan metod att åtgärda mulljordsutsläppen än att återskapa en syrefattig miljö, det vill säga upphöra

med odling och lägga markerna under vatten igen. Tidigare antaganden om att utsläppen kan minskas genom permanent vallodling har visat sig felaktiga [121].

- Det finns troligen stor potential för kolinlagring i de flesta åkerjordar som odlats länge med bara ettåriga grödor. Den säkraste metoden är att lägga till flerårig vall i växtföljden. Svenska data visar att koldioxidhalten skiljer 10-20 ton mellan jämförbara jordar med och utan vallodling, och större delen av den mängden kan ofta återställas på några decennier [84, 92].

- Långliggande gräsmarker kan också ge stor kolinlagring, men bara om de sköts på liknande sätt som en vall, med god kvävetillgång och periodisk omsådd eller insådd. Typiska svenska naturbetesmarker som inte gödslas ger mycket liten kolinlagring i marken. Ett ökat antal träd i betesmarken kan däremot vara ett bra sätt att binda kol [124].

”Det finns troligen stor potential för kolinlagring i de flesta åkerjordar som odlats länge med bara ettåriga grödor. Den säkraste metoden är att lägga till flerårig vall i växtföljden.”

FÖRDJUPNING. Lika mycket koldioxid från mulljordar – oavsett gröda

KOLDIOXIDAVGÅNGEN

från mulljordar har länge beräknats huvudsakligen genom att mäta hur snabbt marknivån sänks, eftersom marknivåns sänkning är kopplad till nedbrytningen av det organiska materialet. Man har sett att marknivån sänks långsammare på åkrar som odlas med flerårig eller permanent vall och har därför antagit att det avgår mindre koldioxid under gräs än vid odling av ettåriga grödor på öppen jord.

Men det antagandet har inte kunnat bekräftas när man gjort direkta mätningar av koldioxidavgången. Troligen beror den långsammare marknivånsänkning snarare på att grässvålen skyddar mot vinderosion, som kan vara omfattande på oskyddad mulljord under torrperioder, och kanske även på andra faktorer som markpackning.

En flerårig svensk studie som utformats särskilt för att hitta skillnader i koldioxidavgång mellan olika grödor i parvisa jämförelser genomfördes på 11 platser 2009-

2011. Skillnader hittades i flera fall, men de gick i olika riktningar och gav inget stöd för att vallodling skulle ge lägre utsläpp [121]. Ett antal liknande studier har gjorts i andra nordiska länder, men inte heller de kan belägga någon generell fördel för vallen [122].

Den enda egentliga möjligheten att minska mulljordarnas utsläpp är därför att återställa dem till våtmark. Det innebär visserligen att man även återställer våtmarkens metanutsläpp, men även om de är förhållandevis stora ger de bara omkring 1/3 så stor klimatpåverkan som koldioxid- och lustgasutsläppen när marken odlas [123].

Fortsätter man odla

mulljordarna är det även ur klimatsynpunkt bättre att utnyttja deras produktionspotential så mycket som möjligt, eftersom de sannolikt ger ungefär samma mängd växthusgas även vid mer extensiv drift och lägre produktion [123]. ■

FÖRDJUPNING. Så kan kolinlagringen ökas

DET FINNS I HUVUDSAK

två sätt för en lantbrukare att öka kolinlagringen i sin mark.

Det ena är att öka andelen grödor med stort rotsystem som lämnar mer kol efter sig. I praktiken innebär det att odla mera gräs eller gräs/baljväxtblandningar. Fleråriga vallar är bäst, men även kortvariga gräsinslag har effekt.

Det andra är att öka tillförseln av stallgödsel eller annat recirkulerande organiskt material, antingen från den egna gården eller från övriga samhället. Men kolinlagringseffekten varierar mycket mellan olika slags organiska material, även om de innehåller liknande mängder kol.

Odling av flerårigt gräs är den åtgärd som ger störst och säkrast kolinlagring och det är väl dokumenterat. De flesta studier har gjorts i permanenta slåtter- eller betesvallar med liggetider på 5-10 år eller mera – det vanligaste sättet att odla gräsvall i de flesta europeiska länder. Men även vall som odlas i en växtföljd med andra grödor – det vanliga i Sverige – kan lagra in liknande

mängder kol per hektar och år [74, 78, 84, 87, 89, 90].

En förutsättning för kolinlagringen är att gräset har tillräckligt med kväve för att producera ett överskott av organiskt material – mull – att lämna kvar i marken. Eftersom mullförrådet i marken innehåller ungefär 10 delar kol för varje del kväve behövs ungefär 1 kg kväve för att lagra in 10 kg kol. En ren gräsvall behöver tillföras kväve med konstgödsel eller stallgödsel. I en blandvall med klöver eller andra baljväxter kan gräset utnyttja det kväve som kommer från biologisk fixering. Båda metoderna ger jämförbar kolinlagring så länge kvävet räcker.

En ögödsblad naturbetesmark har däremot liten potential för kolinlagring i marken. Tillväxten begränsas av kvävetillgången och det produceras inget nämnvärt överskott av organiskt material att lagra in [124].

Kortare perioder med gräs eller gräsblandningar, till exempel fånggrödor eller ettåriga gröngödslingvallar,

kan också ge en ökad kolinlagring. Men det finns bara ett fåtal studier av kortliggande gräsgrödor och resultaten varierar kraftigt. En del försök visar ingen eller till och med negativ effekt, andra nästan lika stor kolinlagring som fleråriga vallar [134-135].

Ett rimligt antagande är att kortvariga gräsinslag ger kolinlagring i proportion till hur stort rotsystem gräset hinner utveckla, eftersom det är den viktigaste faktorn för kolinlagringens storlek [125]. En övervintrande fånggröda skulle då ge en liknande kolinlagring som en flerårig vall under etableringsåret – ungefär halva mängden mot en flerårig vall i full produktion [136].

Att kombinera fånggrödor med reducerad jordbearbetning och direktsådd har i en del studier gett ytterligare något ökad kolinlagring, men effekten verkar störst i torra och varma klimat. I svenska försök har olika jordbearbetningssystem haft liten inverkan [137-139].

Recirkulation av organiskt material är i första hand

Sannolik kolinlagring under svenska förhållanden.

ODLINGSÅTGÄRD	Kg C/ha/år
Flerårig vall	300-600
Fånggröda, vall i etableringsåret	100-300
Stallgödsel (fast), kompost	200-500
Stallgödsel (flyt), rötrester	0-100
Nedbrukning halm	0-100
Minskad jordbearbetning, direktsådd	0-100
Ögödsblad naturbetesmark	0-50

KOLINLAGRING.

Sannolik kolinlagring under svenska förhållanden. En försiktig uppskattning baserad på försöksdata från Sverige och jämförbara klimat. Alla siffror gäller inlagring till 20 cm djup. Kol lagras in även på större djup, men mängderna är osäkra eftersom mycket få försök har mätt inlagringen djupare än 20 cm. *Källor: Egna uppskattningar baserade på litteraturuppgifter [74, 78, 84, 87, 89-90, 92, 124, 134-152, 182].*

ett sätt att ersätta de växtnäringssämnen som förs bort från marken med skörden – kväve, fosfor, kalium med flera. Men vissa former av organiskt material kan också bidra till kolinlagring.

Det största flödet av recirkulerande organiskt material i lantbruket är stallgödseln från djuren. Den innehåller en stor del av både växtnäringen och kolet från djurfodret. Stallgödsel som hanterats i fast form – blandad med halm eller spån från stallen och lagrad med syretillgång

– har stor positiv effekt på kolinlagringen, nästan i nivå med gräsvallarna. Detsamma gäller olika slags kompost [141-144].

Stallgödsel som hanteras i flytande form och lagras syrefritt ger däremot liten eller ingen kolinlagring. Det verkar även gälla rötrest från biogasanläggningar, men det är mer osäkert eftersom tekniken är ny och det finns begränsat med försöksresultat [142-144].

Att bruka ned skörderester i jorden istället för att ta tillva-

ra dem har en viss men inte särskilt stor effekt. Nedbrukning av halmen uppväger en del av kolförlusterna från marken vid spannmålsodling, men är inte tillräckligt för att ge en nettoinlagring [83-84, 145-146].

Tillförsel av biokol är en recirkulationsmetod som helt förbigår de markbiologiska processerna. Råvaran som kan vara många olika organiska material förkolnas industriellt genom pyrolys och kolet tillförs marken i

redan nedbruten form. Eftersom metoden är oberoende av inlagring via mikroorganismer kan biokol tillföras i valfri mängd [147-148].

Gemensamt för alla studier av kolinlagring är att de visar mycket stor variation beroende på jordart, klimat och inte minst odlingshistoria. Antalet studier är också begränsat, bland annat därför att markkolförändringar är långsamma och säkra resultat därför kräver försök som löper över flera decennier. Alla uppskattningar av hur mycket kol som kan lagras in med olika metoder är därför mycket ungefärliga. Det finns tillräckligt underlag för att grovt rangordna olika åtgärder efter effektivitet, men inte för att sätta exakta siffror.

Tabellen på föregående uppslag ger en sådan rangordning med sannolika intervall för några olika odlingsåtgärder under svenska förhållanden. Den baseras på vanliga uppskattningar från forskning och rådgivning, i första hand från Sverige eller jämförbara odlingsförhållanden. Det förekommer ibland betydligt högre siffror, men de gäller då internationella

genomsnittsvärden.

Notera att alla värden avser inlagringen i matjordslagret till 20 cm djup. Kol lagras in även betydligt längre ned i markprofilen, så totalt är inlagringen troligen betydligt större. Men nästan all forskning görs på matjordslagret, så det finns ytterst lite data om inlagringen i djupare skikt, och därför är den inte med i uppskattningarna.

En ytterligare osäkerhetsfaktor är hur länge markens kolförråd kan fortsätta öka. Inom forskningen finns en konsensus om att varje odlingsystem troligen har ett jämviktssläge där kolbalansen slutar förändras, och att takten i ökningen sannolikt avtar efterhand. Men åtminstone för en åkermark som förlorat kol under många år och har ett underskott på 10-20 ton per hektar kan inlagringen fortsätta många decennier innan jämviktssläget nås [84, 87, 90, 149]. ■

FAKTA. Rötterna viktigast för kolinlagring

I LANTBRUKET precis som i naturliga ekosystem är det nedbrytningen av dött växtmaterial som bidrar mest till att upprätthålla eller öka halten organiskt material i marken – mullhalten – och därmed också kolhalten, eftersom det är i mullen som kolet finns bundet. Drygt hälften av det organiska materialet är kol.

Inom jordbruksforskningen har man länge haft en förenklad och mekanisk syn på den här processen. Man har utgått från att det bara är mängden tillgängligt kol som styr hur stor kolinlagringen blir – det vill säga att en hög avkastning med stor mängd skörderester även automatiskt ger stor kolinlagring. Och som en konsekvens att ökade kvävegivor också ger ökad kolinlagring eftersom de ger större skörd. De här antagandena har visat sig vara fel på två avgörande sätt.

För det första har nyare forskning visat att det är stor skillnad på hur mycket

olika sorters skörderester bidrar till kolinlagringen. Tydligast är skillnaden mellan ovanjordiska och underjordiska skörderester: rotmassan bidrar 2-3 gånger mer till kolinlagringen än samma mängd ovanjordiska skörderester [125-127].

För det andra har höga kvävegivor helt olika effekt på rotsystemets och de ovanjordiska växtdelarnas tillväxt. I tidiga tillväxtfaser tar rotsystemet hand om en stor del av det tillgängliga kvävet (och andra växtnäringsämnen). Men när det nått en viss utvecklingsnivå avstannar rottillväxten, även om det finns gott om kväve kvar, och växten satsar i stället på att växa ovan jord. Det här är egentligen gammal kunskap som funnits i decennier, men verkar ha fallit i glömska [128-131].

Det betyder att en helt avgörande faktor för kolinlagringen är om man odlar växter med större eller mindre rotsystem. Det betyder

också att höga kvävegivor inte gör särskilt stor skillnad eftersom de mest ökar den ovanjordiska tillväxten och de ovanjordiska skörderester som har begränsad effekt för kolinlagringen.

Det är också en trovärdig teoretisk förklaring till de många försöksresultat som visar att flerårig vall – med stort rotsystem – kan ge bra kolinlagring även utan kvävetillförsel. Och att kraftigt kvävegödslade spannmålsgrödor – med litet rotsystem – ger kolförluster även om alla ovanjordiska skörderester lämnas kvar och brukas ned [83-84].

Nu är en omprövning på gång inom jordbruksforskningen, men fortfarande bygger de flesta modeller för kolinlagring på de gamla antagandena som ofta ger helt vilseledande resultat [132-133, 79]. Det gäller även den vanligaste svenska modellen, som bland annat används för Sveriges rapportering till FNs klimatkonvention.

Minska övriga växthusgaskällor.

Metan från risodling.

Metanavgången i risodlingen kan minskas betydligt genom kortare perioder under vatten. Ett skifte till sådana metoder är redan på gång i många områden [153-154].

Metan från gödselhantering.

- Metanförluster från stallgödselhanteringen kan reduceras med liknande metoder som lustgasförlusterna. I Sverige redan brett genomfört, men i många länder större potential [104].
- En minskning av animalieproduktionen ger motsvarande minskning av gödselmängden och därmed också metanavgången.

Metan och lustgas från betesbränning.

- Mängden växthusgaser från betesbränning i varma klimat kan minskas genom att bränna i början av torrperioden, när det fortfarande finns fukt kvar i marken som begränsar hur mycket biomassa som brinner upp, i stället för när det är som torrast i slutet av torrperioden [155].

Tillverkning av konstgödselkväve.

- Reningssteg i tillverkningsprocessen kan minska lustgasutsläppen kraftigt. Den europeiska industrin har i stor utsträckning infört sådan teknik, men den är ovanlig i resten av världen. I Sverige säljs även rysk konstgödsel som inte är tillverkad med rening.

- Det är går att producera konstgödselkväve med icke-fossila energislag, men kostnaden blir högre. Utgångspunkt för själva kvävefixeringsprocessen är vätgas, som kan produceras på flera olika sätt, bland annat genom elektrolys av vatten [156].

- Den effektivaste metoden att minska klimatpåverkan från konstgödseltillverkningen är att minska användningen eller avstå helt, som i ekologisk produktion. Alla åtgärder som minskar kväveförlusterna möjliggör också minskade konstgödselgivor. Mer effektiv recirkulation av stallgödseln, bättre spridningsteknik för både stall- och konstgödsel och delade kvävegivor som bättre matchar grödornas kväueupptagning är några exempel.

Potentialen är stor eftersom mycket av det kväve som tillförs odlingen går förlorat på vägen till färdig produkt, särskilt i djurproduktionen. Minskade förluster ger också klimatvinst på två sätt, eftersom även lustgasproduktionen från outnyttjat kväve elimineras.

Ekolantbrukare bidrar inte alls till konstgödselproduktionens utsläpp. En del av konstgödselkvävet ersätts med ökad biologisk kvävefixering, som inte ger några växthusgaser alls vare sig vid "tillverkning" eller "gödsling". Kvävefixeringen sker mest i klövergräsvallar, som samtidigt bidrar till att minska växthuseffekten eftersom de ger en kolinlagring i marken.

FAKTA. Växthusgaser från konstgödseltillverkning

TILLVERKNINGEN AV konstgödselkväve från fossila råvaror (naturgas eller kol) påverkar klimatet på två sätt. Själva kvävefixeringen, när metan reagerar med kvävgas från luften och bildar ammoniak, ger koldioxidutsläpp. En del av ammoniak oxideras till salpetersyra, och den processen ger lustgasutsläpp. Den vanligaste formen av konstgödselkväve, ammoniumnitrat, produceras sedan genom en reaktion mellan ammoniak och salpetersyra.

Ammoniak produceras oftast från fossil naturgas (metan), som både är råvara och energikälla. Processen avger 2,5-3 kg koldioxid per kg kväve. Framförallt i Kina produ-

ceras ammoniak även av förgasat kol, och då blir koldioxidutsläppen ungefär dubbelt så stora [94].

Lustgasbildningen från tillverkningen av salpetersyra är oftast större, 3-5 kg koldioxidekvivalenter per kg kväve. Men framförallt i Europa har industrin till stor del infört lustgasrening, som kan minska lustgasutsläppen med 80-90 procent [94].

De sammanlagda utsläppen från ett kg ammoniumnitrat kan därför variera från omkring 3 kg ända upp till 11 kg CO₂e per kg kväve, beroende på var och hur det tillverkats. Den lustgasrenade ammoniumnitrat som säljs i Sverige garanteras ha ett klimatavtryck på högst 3,65 kg

CO₂e per kg kväve [157]. Men här säljs även en hel del orenade produkter med klimatpåverkan på 7-8 kg CO₂e. I de delar av världen där konstgödselanvändningen ökar mest, framförallt i Asien, är klimatavtrycket 7-11 kg CO₂e [94].

En fossilfri produktionsprocess baserad på förnybar energi istället för fossila energikällor skulle kunna eliminera även större delen av koldioxidutsläppen. Världens största konstgödsel-företag uppger att man ska kunna erbjuda sådana produkter från 2023, med ett klimatavtryck på 0,75 kg CO₂e. Men det innebär en helt annan produktionsprocess för ammoniak med betydligt högre kostnader [158-159].

Fossil energianvändning.

- När det gäller att minska den direkta fossilenergianvändningen finns inga skillnader mellan lantbruket och övriga samhällssektorer. Det handlar om icke-fossila bränslen, elkraft från icke-fossila källor och energisparande teknik både på gårdsnivå och i in-

satsmedelsindustrin – samma förändringar som måste utvecklas och genomföras på bred front i hela samhället. Här är lantbruket bara en liten del men precis som i övriga samhället är det viktigt att det som kan göras blir gjort.

Ekolantbruket och klimatet.

Om hela lantbruket måste acceptera att minskade total-skördar är priset för tillräckligt stora utsläppsminskningar, är ekoproduktionens lägre avkastning inte längre en självklar nackdel. Ekolantbrukets erfarenheter av att producera med mindre kväve och färre djur blir värdefulla för alla lantbrukare som vill bidra till klimatomställningen.

MÅNGA INOM LANTBRUKET reagerar instinktivt mot tanken på att behöva begränsa produktionen för att klara en striktare klimatbudget. Det är inte konstigt. Ständigt ökad produktion till allt lägre priser har varit samhällets stående beställning till lantbruket i mer än två generationer. Lantbrukarna har arbetat allt hårdare för att leverera det som beställts, och yrkesstoltheten har blivit starkt kopplad till högsta möjliga avkastning.

Att reaktionerna blir särskilt starka när animalieproduktionens storlek ifrågasätts är inte heller svårt att förstå. Djurhållningen är helt dominerande i det svenska lantbruket. De allra flesta bönder är antingen djuruppfödare själva eller foderodlare till

djuruppfödningen.

Trots det har svenskt lantbruk inte fått någon del av den ökande animaliekonsumtionen. Köttätandet har ökat med 60 procent på 30 år, men den svenska produktionen är oförändrad. Svensk osttillverkning har rasat med mer än en tredjedel under samma period, trots stadigt växande ostkonsumtion [100].

Begränsningar självklara i ekolantbruket.

Det ekologiska lantbruket lever under samma villkor, men har ändå en helt annorlunda inställning till avkastning och produktivitet.

Frivilliga restriktioner för produktionen har alltid varit en självklar del av ekolantbrukets grundfilosofi. Att ”så långt som möjligt arbeta inom ett slutet system och utnyttja lokala resurser” var den första punkten i det moderna ekolantbrukets

”Det ekologiska lantbruket lever under samma villkor, men har ändå en helt annorlunda inställning till avkastning och produktivitet.”

första principförklaring 1981 [160].

Motivet var att lantbruksproduktionen inte skulle störa de naturliga ekosystemen mer än absolut nödvändigt. Två uppenbara konsekvenser var att både växtnäring-försörjning och växtskydd måste klaras utan hjälp av kemiska insatsmedel.

Att ekologiskt lantbruk grundas på sådana begränsningar är inget hinder för att eftersträva en hög och effektiv produktion. Men det betyder att effektivitet och produktivitet definieras som bästa möjliga resultat inom gränserna.

Och i stället för att försöka producera sig ur prispressen har ekolantbruket lyckats förklara både för marknaden och staten att miljönyttan av de självpåtaga begränsningarna motiverar en högre ersättning som täcker inkomstbortfallet från den lägre avkastningen.

Klimatanpassning inget radikalt nytt för ekobonden.

För en ekologisk lantbrukare innebär klimatanpassningen därför inget radikalt nytt. Den kommer att kräva förändringar som kan vara lättare eller svårare att hantera för det enskilda företaget beroende på produktionsinriktning och andra förutsättningar. Men själva grundtanken är okontroversiell i det ekologiska lantbruket. Produktionsmetoder kan begränsas på olika sätt för att nå

viktiga miljömål, även om det påverkar vad eller hur mycket som kan produceras.

Samtidigt har ekolantbruket även på det praktiska planet ett bättre utgångsläge för att klara klimatomställningen. En gård som drivs ekologiskt har betydligt mindre klimatpåverkan än om samma företag drivits konventionellt. Det är skillnader som redan i dag är så stora att de märkbart påverkat det svenska lantbrukets totala utsläpp av växthusgaser.

Mindre kväve och färre djur.

Skillnaderna beror framförallt på kvävehushållningen, som är helt annorlunda i ekologisk produktion – en konsekvens av principen om slutna kretslopp och lokala resurser.

Att det inte tillförs något kväve med konstgödsel innebär inte bara att utsläppen från den fossilenergidrivna tillverkningen elimineras. Det leder också till betydligt lägre totala kväveinsatser, och det minskar mängderna lustgas från kvävekretsloppet. Eftersom enda sättet att få in nytt luftkväve i produktionen är genom biologisk kvävefixering, ingår klövergräsvallar i växtföljden på alla ekogårdar, även de som inte har egna djur. Det ger en kolinlagring som balanserar kolförlusterna från odlingen av ettåriga grödor.

FÖRDJUPNING. Så mycket betyder det att ekolantbruket inte använder konstgödsel

MER ÄN 600 000 ton CO₂e växthusgas sparas in i Sverige varje år genom att ekologiska lantbrukare inte använder konstgödsel. Det motsvarar 4-5 procent av svenskt lantbruks totala växthusgasutsläpp. Så här är summan framräknad.

I Sverige odlades 19 procent av åkermarken ekologiskt 2018, alltså helt utan kväve från konstgödsel. Det var en ökning från mindre än 1 procent före 1990 [161]. Genomsnittsanvändningen av konstgödselkväve på den konventionella arealen har under samma period legat i stort sett stilla på strax över 80 kg/ha, förutom en viss ökning de allra senaste åren [162].

Om samma mängd hade använts på den ekologiska arealen som på den konventionella skulle utsläppen från konstgödseltillverkning ökat med drygt 200 000 ton CO₂e 2018.

Men den stora delen av kvävet klimatpåverkan

kommer inte från konstgödseltillverkningen utan från användningen. Därför har det ännu större betydelse att den totala nytillförseln av kväve på den ekologiska arealen är mindre. Även kväve från biologisk kvävefixering ger liknande mängder lustgas vid användningen, så om konstgödselkvävet ersattes med lika mycket biologiskt kväve skulle skillnaden bara ligga i tillverkningen.

Försiktigt räknat blir 3 procent av varje kg nytillfört reaktivt kväve i Sverige lustgas någonstans under sin väg genom kvävekretslöpet. Det är lägstavärdet i det beräknade globala genomsnittet 3-5 procent [40].

Mängden konstgödselkväve som skulle använts på den svenska ekoarealen 2018 om den gödslats som den konventionella var cirka 43 000 ton.

En del av detta ersattes med mer kvävefixerande grödor. Den ekologiska

arealen har i genomsnitt 30 kg större kvävefixering per hektar än den konventionella [107-108]. På hela ekoarealen blir det knappt 14 000 ton nytillfört biologiskt fixerat kväve.

Netto minskade alltså kvävetillförseln på ekoarealen med cirka 29 000 ton. Om 3 procent av det kvävet skulle blivit lustgas hade det ökat lantbrukets klimatpåverkan med över 400 000 ton CO₂e.

Lägg till de 200 000 ton som sparades in genom att inte tillverka kvävegödningsen så är den totala ekoeffekten över 600 000 ton CO₂e eller 4-5 procent av svenskt lantbruks totala växthusgasutsläpp. ■

En annan indirekt effekt av principen om lokala resurser är att djurantalet blir mindre i ekologisk produktion. Utan konstgödsel och med begränsade inköp av foder kan en gård inte försörja lika många djur som i konventionell drift, och alla växthusgasutsläpp som är kopplade till djuren minskar.

Stor effekt av slöpad konstgödsel.

I Sverige odlas nu nästan 1/5 av åkerarealen ekologiskt, det vill säga med mycket mindre nytillförsel av kväve och helt utan konstgödsel.

Det har lett till att växthusgaserna från det svenska lantbruket minskat med lågt räknat 600 000 ton CO₂e per år jämfört med om arealen skulle odlats konventionellt. Det är en minskning som motsvarar 4-5 procent av det svenska lantbrukets totala växthusgasutsläpp.

En del av skillnaden förklaras av att alla utsläpp från produktionen av konstgödselkväve elimineras. Men större delen beror på att den ekologiska produktionen är mycket kvävesnålare. Bara en mindre del av konstgödseln ersätts med annan nytillförsel av kväve.

Vall ger kolinlagring.

Skillnaden i kolinlagring mellan konventio-

nell och ekologisk produktion handlar framförallt om andelen vall i växtföljderna. Försiktigt räknat kan man anta att ett års vallodling ger ett genomsnittligt plus på 400 kg kol per hektar, även om variationen är stor beroende både på jordart och odlingshistoria. Omvänt ger ensidig odling av ettåriga grödor ett minus som lika försiktigt kan uppskattas till 150 kg kol per hektar och år, även det med stor variation.

På gårdar med idisslande djur odlas i stort sett alltid så mycket vall att kolbalansen i marken är positiv, både i ekologisk och konventionell produktion. Vallen ökar kolhalten mer än de ettåriga grödorna minskar den.

Vall i växtföljden även på växtodlingsgårdar.

Men i djurlös produktion är skillnaden stor mellan ekologiskt och konventionellt. Även i djurlös drift har den genomsnittliga

”Skillnaden i kolinlagring mellan konventionell och ekologisk produktion handlar framför allt om andelen vall i växtföljderna.”

FAKTA. Konstgödseln och djuren

LÄNKEN MELLAN konstgödseln och växthusgaserna från åkermarken är lätt att inse. Ökad kvävetillförsel ger mera lustgas och ensidig odling av ettåriga grödor minskar kolförrådet i marken som istället blir koldioxid i atmosfären.

Länken mellan konstgödseln och växthusgaserna från djurhållningen är lite mer indirekt. Men utan konstgödseln skulle den kraftiga ökningen av djuruppfödningen sedan andra världskriget inte varit möjlig.

Så länge som nytillförseln av kväve i odlingen nästan helt kom från kvävefixerande grödor satte kvävet en gräns för hur många djur en gård kunde försörja, och det var lättare att odla foder till idisslare som kunde äta de kvävefixerande vallgrödorna. Först med konstgödseln blev det möjligt att producera obegränsade

mängder av spannmål och andra icke kvävefixerande grödor.

Den köttproduktion som ökat under efterkrigstiden är framförallt gris och fjäderfä. Medelsvensken äter idag ungefär 50 kg gris- och fågelkött varje år, mer än en fördubbling sedan 1960. Konsumtionen av nöt- och lammkött är cirka 13 kg, en ökning med 3 kg sedan 1960 [100]. Utvecklingen har varit likartad i resten av Europa och den rika världen i övrigt, och de senaste decennierna har även medelinkomstländer som Kina följt samma mönster [185].

En mycket stor del av konstgödselkvävet har alltså inte gått till att producera basmat för att hålla jämna steg med den ökande världsbefolkningen, utan till ökad produk-

tion av kött åt de redan välhärda.

Motsvarande andel av de växthusgaser som är kopplade till djurhållningen – till exempel från stallgödselhanteringen och från ökade åkerarealer – är därför också ytterst orsakade av kvävekaskaden från konstgödseln.

ekologiska gården omkring 30 procent vall i sin växtföljd, till största delen flerårig slättervall [108]. Den konventionella har i allmänhet ingen vall alls. Det betyder att den konventionella växtodlingsgården hela tiden tappar kol från varje hektar. Men på den ekologiska gården kompenseras kolförlusterna i de ettåriga grödorna med kolinlagringen från vallen och kolbalansen i marken hamnar netto kring noll.

Hur stor den sammanlagda ekoeffekten är på växtodlingsgårdarna är svårt att uppskatta, eftersom det inte finns några säkra uppgifter om hur stor andel av den svenska ekoarealen som drivs helt utan djur. Men det är minst 10 procent, för så stor är den ekoareal där det inte används någon stallgödsel alls utan enbart pelletiserade specialgödselmedel [163]. Allra minst är arealen därför 45 000 hektar. Om de har noll kolförluster i stället för minus 150 kg per hektar betyder det 24 000 ton CO₂-utsläpp som har undvikits. Lättare att räkna ut är att den återstående potentialen är stor. Över en miljon hektar på växtodlingsgårdar odlas i dag utan vall i växtföljden. Minus 150 kg kol per hektar på hela den arealen innebär över 500 000 ton CO₂-utsläpp.

Mindre kväve lägre avkastning.

Baksidan av lägre kvävenivåer i ekolantbruket är att de även minskar avkastningen.

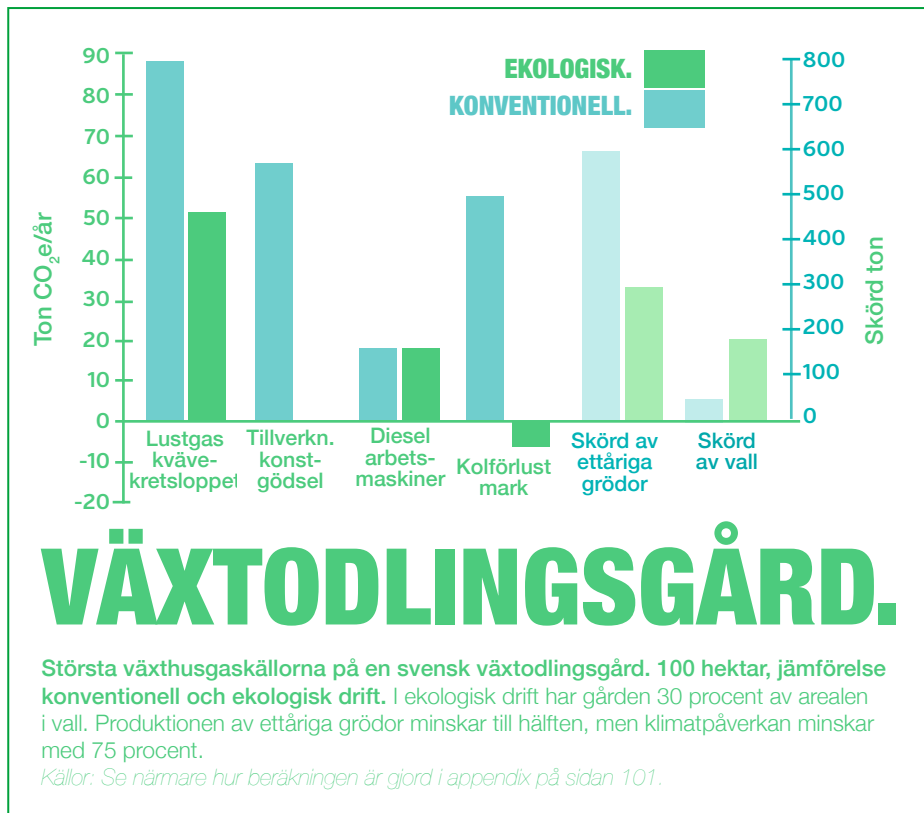
”På mjölkgårdarna är utsläppen per kg mjölk i stort sett jämnstora, precis som de brukar vara i livscykelanalyser. Men i absoluta tal för hela gården är de bara hälften så stora i ekologisk drift.”

Flera vetenskapliga studier har satt siffror på skillnaden. Som genomsnitt för alla grödor och länder har den uppskattats till mellan 8 och 25 procent [164].

Ekolantbruket i Nordeuropa ligger i övre kanten av det intervallet, mycket beroende på att skördenivåerna i konventionell produktion ligger högt.

Indirekt påverkas även animalieproduktionen. Lägre skördar betyder att färre djur kan försörjas på samma areal. Principen om att huvudsakligen arbeta med lokala resurser förstärker effekten. Ekologiska djurgårdar köper in betydligt mindre foder än konventionella.

Den lägre produktionen innebär att ekologiska lantbruk trots betydligt mindre växthusgasutsläpp per hektar eller gård ger ungefär samma klimatpåverkan per kg



produkt, den jämförelsenhet som normalt används i livscykelanalyser. Den rimliga slutsats många drar är att det inte spelar någon större roll för klimatet om lantbruket drivs ekologiskt eller konventionellt.

Nackdel eller fördel?

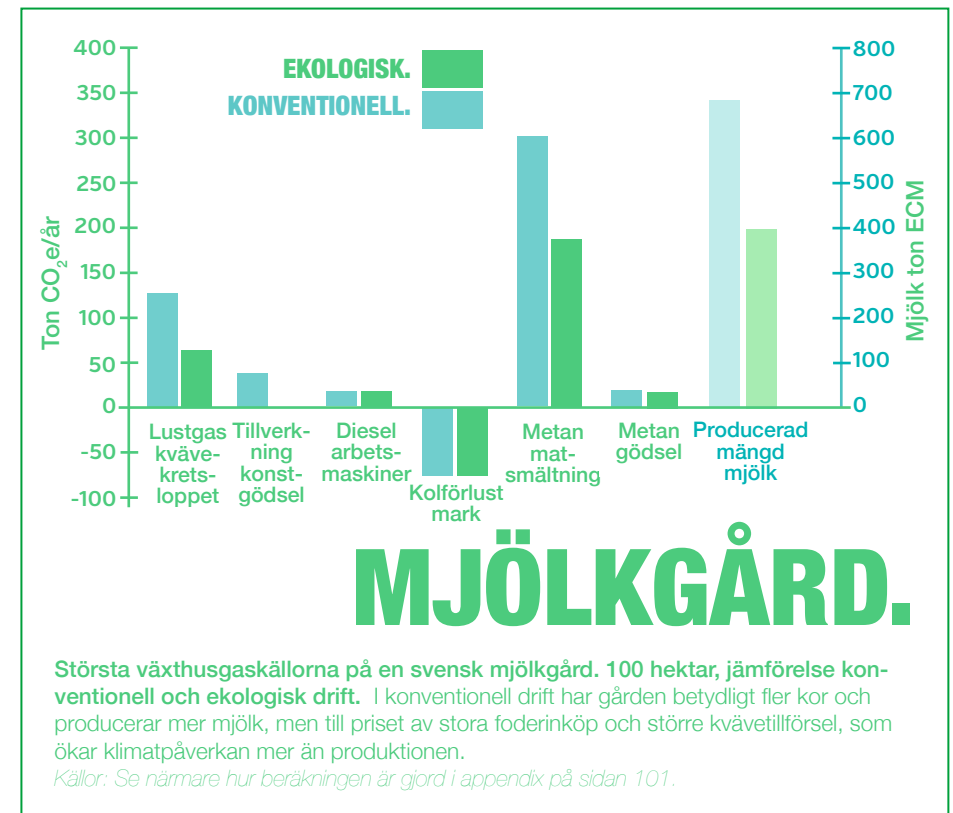
Men här leder livscykelanalyserna vilse. För om det som behöver minska är lantbrukets totala utsläpp av växthusgaser behövs absoluta mått, som till exempel klimatpåverkan per hektar. Då är det inte självklart att ekoproduktionens lägre avkastning ska ses som en nackdel. Valet står mellan att minska

både växthusgaser och produktion från varje hektar - eller fortsätta med högre utsläpp och högre avkastning, men minska arealen.

Diagrammen här ovanför illustrerar de största växthusgasströmmarna från två par 100-hektarsgårdar i ekologisk respektive konventionell drift. Beräkningarna är förenklade, men skillnaderna är så tydliga att det inte har så stor betydelse.

På mjölkgårdarna är utsläppen per kg mjölk i stort sett jämnstora, precis som de brukar vara i livscykelanalyser. Men i absoluta tal för hela gården är de bara hälften så stora i ekologisk drift.

I jämförelsen mellan växtodlingsgårdar-



na är skillnaden ännu större, och den ekologiska gården har även lägre utsläpp räknat per kg. Det beror mest på att jämförelsen även omfattar kolbalansen i marken, som sällan är med i livscykelanalyser.

De ekologiska gårdarna har med andra ord redan genomfört en produktionsminskning i samma storleksordning som kan behövas för att få ned klimatpåverkan från lantbruket till en hanterbar nivå.

Om hela det svenska lantbruket drevs ekologiskt skulle det alltså betyda ungefär en halvering av klimatpåverkan redan som produktionen ser ut i dag. Men skulle det även kunna ge tillräckligt med mat?

” [...] i djurlös produktion är skillnaden stor mellan ekologiskt och konventionellt. Även i djurlös drift har den ekologiska gården omkring 30 procent vall i sin växtföljd.”

FÖRDJUPNING. Men ska man inte räkna per kg?

DE TVÅ DIAGRAMMEN

på föregående sida jämför klimatavtrycken av ekologisk och konventionell produktion på ett sätt som kan kännas ovanligt. Livscykelanalyser har blivit det helt dominerande sättet att göra sådana jämförelser, och de redovisas nästan alltid bara per kg produkt, inte som här för en viss areal – ett lantbruk på 100 hektar.

Men faktum är att de här siffrorna är beräknade på i huvudsak samma sätt som man gör livscykelanalyser (men mindre detaljerat – se utförligare beskrivning av hur beräkningarna är gjorda på sidan 101). Räknar man om värdena per kg mjölk eller spannmål är de helt i linje med de publicerade livscykelanalyser som jämfört svensk ekologisk och konventionell produktion [184].

Det handlar alltså bara om en skillnad i perspektiv. Jämförelser per kg är praktiska i många sammanhang, särskilt för konsumenten som får ett enda siffrvärde att välja produkt utifrån. Men de blir lätt vilseledande när det som behövs är stora systemförändringar. Det blir lätt för konsumenten att välja falukorven med det lägre klimatavtrycket. Men om det som krävs är att samtliga konsumenter köper färre falukorvar?

Det här är ett välkänt problem bland de forskare som arbetar med livscykelanalyser av lantbruk. En del lösning som föreslagits är just att alla resultat borde redovisas både per kg produkt och per hektar [165]. Särskilt för att vägleda politiska beslut är det en nödvändighet. Eftersom det är den totala klimatpå-

verkan från hela världens lantbruk som måste minska, samtidigt som åkerarealen inte ökar, är klimatpåverkan per hektar ett centralt mått.

Jämförelsen i diagrammen bygger på data från ett stort antal konventionella och ekologiska gårdar anslutna till Greppa Näringen, den enda svenska databas som innehåller detaljerade uppgifter om bland annat grödfördelning och växtnäringens flöden, insamlade av rådgivare vid gårdsbesök. Eftersom datainsamlingen skett löpande sedan början av 2000-talet är siffrorna inte alltid representativa för dagens situation. Det gäller bland annat mjölkavkastningen, som ökat kraftigt samtidigt som skillnaden mellan ekologisk och konventionell avkastning minskat. ■

Mer om det gårdsnära

Naturligtvis finns det mycket att göra i det ekologiska lantbruket för att minska klimatbelastningen ännu mer. Det kan till exempel handla om mer närproducerat foder, bättre kväveutnyttjande och mer vall i växtföljden på växtodlingsgårdar. I studievägledningen som hör till denna rapport fördjupas diskussionen om hur konkreta klimatförbättringar kan göras på gårdsnivå (finns att ladda ner på www.ekolantbruk.se/klimat).

Tre framtidsscenarioer.

DET EKOLOGISKA LANTBRUKET kan alltså redan i dag betraktas som ett storskaligt test av möjligheterna att minska klimatpåverkan genom färre djur och minskad foderproduktion.

Vi vet att ekolantbruket fungerar i dagens skala, och att det har positiva effekter även för djurvälstånd, biologisk mångfald och de flesta andra slags miljöpåverkan. Och det finns numera större eller mindre inslag av ekologisk produktion nästan överallt i världen, även om det är få länder som har lika stor ekoandel som Sverige.

Men skulle ekologisk produktion fungera som dominerande produktionssystem för hela lantbruket? Går det att producera tillräckligt med mat även med fortsatt växande världsbefolkning, och utan att använda mer areal?

”Vi vet att ekolantbruket fungerar i dagens skala, och att det har positiva effekter även för djurvälstånd, biologisk mångfald och de flesta andra slags miljöpåverkan”

Dagens konsumtion som utgångspunkt.

Ett antal vetenskapliga studier har genom åren försökt besvara den frågan. Svaren har varierat från svagt positiva till svagt negativa, men alla har haft svårt att dra säkra slutsatser, särskilt för de områden i Asien, Afrika och Asien där matförsörjningen fortfarande är osäker [166-169].

En avgörande svårighet är att det finns mycket begränsat med data om ekologisk produktion utanför Europa, Nordamerika och Australien-Nya Zeeland. Ett skäl är att ekoproduktionen började i de regionerna, ett annat att forskningsresurserna är koncentrerade i den rika världen.

Ytterligare skäl är att mycket av ekoproduktionen i fattiga regioner inte drivs av ekocertifiering och merprismarknad, utan av småbondeorganisationer och lokala jordbruksrådgivare, och sällan uppmärksammas vare sig av forskningen eller av nationell jordbruksstatistik.

Praktiskt taget alla studier av ekolantbrukets produktionskapacitet har också haft nuvarande livsmedelsproduktion och konsumtionsmönster som målbild. Slutsatsen har därför ofta blivit att ekolantbruket har svårt att matcha det konventionella utan stora produktivitetsökningar.

Klimatanpassad konsumtion som utgångspunkt.

Först de allra senaste åren har det gjorts några enstaka studier med en klimatanpassad matkonsumtion som utgångspunkt.

Tre stycken presenteras här. Alla är

gjorda som framtidsscenarioer med hjälp av matematiska modeller som matas med ett antal förutsättningar och utifrån dem levererar uppskattningar både av möjlig produktion och klimat- och miljöeffekter.

FAKTA. Tre forskargrupper med olika metoder

DE TRE SCENARIERNA är gjorda för Norden, EU-28 och Frankrike. Utgångspunkterna är snarlika, men metoderna delvis olika.

Den nordiska studien genomfördes av en grupp forskare från Sveriges Lantbruksuniversitet på uppdrag av Nordiska ministerrådet. Den består egentligen av fyra separata beräkningar för Danmark, Finland, Norge och Sverige. Det går därför att se utfallet för det svenska lantbruket enbart och det är de siffrorna som redovisas här [170].

EU-scenariet gjordes av forskare knutna till det

fristående franska miljö- och utvecklingsinstitutet IDDRI. Deras beräkningar är gjorda för hela EU-28 som en enhet, "the European farm". De kan därför inte säga något om utfallet för enskilda länder eller regioner, bara om vad som är möjligt inom hela det område som täcks av den gemensamma jordbrukspolitiken [171-172].

Scenariet för Frankrike är gjort av en akademisk forskargrupp och har tvärtom mycket stor detaljupplösning. Det använder en modell som utgår från växtnäringsflödena inom lantbruket (kol, kväve och

fosfor). Modellen innehåller separata kalkyler för 33 regioner i Frankrike och alla flöden mellan dem [173].

Alla tre studierna har fokus i första hand på frågan om ett helt ekologiskt lantbruk klarar livsmedelsförsörjningen, och vilka konsekvenserna blir för produktionssystem och produktsammansättning. Tonvikten på klimateffekterna varierar. I den nordiska studien är klimatet en huvudfråga, medan scenariet för Frankrike inte ens beräknar hur växthusgaserna förändras. EU-studien har två alternativ med lite olika prioritet för minskad klimatpåverkan.

En studie är gjord för Norden, en för hela EU-28 och den tredje för Frankrike (tabellen till höger). Det finns också en fjärde studie som räknat på effekterna av ekologiskt lantbruk i hela världen, men på grund av det svaga dataunderlaget är de resultaten mycket osäkra och tas inte upp här [174].

Med tanke på att konsumtionsförändringar som möjliggör en minskad animaliekonsumtion framförallt behövs i den rika världen, är det kanske inte ett stort problem att de tre studierna bara gäller Europa.

Alla tre ekoscenarierna utgår från gällande kostrekommendationer, som redan i sig innebär en viss reduktion av bland annat protein- och sockerintag, samtidigt som framförallt frukt och grönsaker ökar jämfört med dagens faktiska konsumtion.

Från den utgångspunkten testar de sedan olika möjliga förändringar av framförallt animaliekonsumtionen.

Olika metoder – samma förutsättningar.

De tre scenarierna är gjorda med lite olika metoder, så resultaten är inte direkt jämförbara i alla detaljer, även om de i stort är mycket samstämmiga. Men flera grundläggande förutsättningar är identiska:

- All produktion är ekologisk enligt EU-definitionen.
- Avkastningsnivån för olika grödor är dagens nivåer i ekoproduktion.
- Produktionen får maximalt använda dagens åkerareal.
- Ingen livsmedelsimport förutom produkter som inte kan odlas inom området.

FRAMTIDSSCENARIER I SIFFROR. ➔

Tre framtidsscenarier i siffror. Noter * Antal betande djur = behovet för naturbetena. ** Livsmedelsimport = tropiska produkter. *** Biogasproduktion = lantbrukets energibehov. Källor: Sverige/Norden: Karlsson et al 2017 [170]. EU-28 Poux & Aubert 2018, Aubert et al 2019 [171-172]. Frankrike: Billen et al 2018 [173].

Procentalen avser andel av dagens produktion/antal.	Sverige låg	Sverige hög	EU-28 låg	EU-28 hög	Frankrike
TIDSHORISONT	2030	2030	2050	2050	2040
Konsumtion kött nöt och får	30 %	72 %	75 %	92 %	
Konsumtion kött gris och fågel	5 %	3 %	38 %	38 %	
Konsumtion mjölkprodukter	ca 40 %	små	54 %	69 %	
Konsumtion ägg	55 %	196 %	50 %	50 %	
Konsumtion vegetabiliskt protein					188 %
Konsumtion animaliskt protein					58 %
Antal nötkreatur	35 %	95 %	66 %	74 %	
Antal får	88 %	239 %	63 %	63 %	
Mjölk per ko kg/år	6 000	6 000	5 500	5 500	
Areal naturbetesmark	100 %	100 %	100 %	100 %	106 %
Antal betande djur	*	100 %	100 %	100 %	
Avkastningsnivå grödor	=eko idag	=eko idag	75 %	75 %	81 %
Produktion spannmål					36 %
Produktion grovfoder åkermark					142 %
Total åkerareal	97 %	97 %	100 %	100 %	100 %
Åkerareal energigrödor	0	0	0	0	0
Åkerareal frukt och bär	ökad	ökad	130 %	130 %	
Åkerareal baljväxter	450 %	350 %	750 %	700 %	
Andel vävefixerande grödor	≥ 33 %	≥ 33 %	≥ 25 %	≥ 25 %	≥ 33-50 %
Areal dränerad mulljord	0	0			
Livsmedelsimport	**	**	**	**	**
Foderimport	0	0	0	0	0
Självförsörjningsgrad	108 %	123 %	113 %	109 %	113 %
Klimatpåverkan metan & lustgas	16-24 %	36-53 %	53 %	60-64 %	ej beräkn.
Biogasproduktion	***	***	145 %	0	möjlig

- Ingen foderimport.
- Produktionen ska minst täcka rekommenderat näringsintag för den förväntade befolkningen vid scenariets slutår (varierar mellan 2030 och 2050).
- All nuvarande naturbetesareal ska finnas kvar i bruk.

Mindre gris och fjäderfä.

Minskad produktion av animaliska livsmedel är en central komponent i alla tre scenarierna – oavsett hur mycket tonvikt de lägger på klimatet. Men hur stor minskningen är varierar kraftigt.

I den nordiska studien finns två alternativa scenarier. Det mest långtgående

”Alla tre studierna har fokus i första hand på frågan om ett helt ekologiskt lantbruk klarar livsmedelsförsörjningen, och vilka konsekvenserna blir för produktionssystem och produktionsammansättning.”

reducerar köttproduktionen i Sverige till 13 % av dagens nivå och mjölk och ägg till omkring hälften.

Övriga scenarier ligger mellan cirka 30 och 60 % av dagens konsumtion som genomsnitt för alla animalieprodukter.

Men i samtliga scenarier är det kött från gris och fågel som minskar mest – trots att de har mycket mindre växthusgasutsläpp per kg än köttet från idisslarna.

Även i det mest radikala alternativet för Sverige finns 1/3 av nötkreaturen kvar, och de flesta får, medan gris och fågel nästan helt försvinner från kartan.

Alla övriga scenarier behåller minst 2/3 av kor och får. Allra högst är andelen i det andra alternativet för Sverige, där idisslarna är lika många som i dag (aningens färre kor, men mer än dubbelt så många får).

Naturbeten och vall ger mat och kolinlagring.

Det finns två skäl till att idisslarna blir kvar och minskningen tas ut på gris och fågel. Det ena är att samtliga scenarier hade som grundförutsättning att alla naturbetesmarker skulle fortsätta brukas. Motiven var två: betesmarkernas betydelse för biologisk mångfald och ekosystemtjänster, och deras bidrag till livsmedelsförsörjningen. Utan naturbetesmarker skulle mer mat behöva produceras på åkermarken – som enligt en

FÖRDJUPNING. Andra alternativ (1)

DE EKOLOGISKA framtids-scenarierna bygger alla på att anpassa konsumtionen till vad lantbruket kan producera utan ohållbara konsekvenser för klimatet. Vilka andra sätt finns att kraftigt minska klimatpåverkan?

Ett alternativ som ligger nära ekoscenarierna är att fortsätta med konventionell produktion och minska den brukade arealen i stället för att minska påverkan från varje hektar med ändrade produktionsmetoder. Precis som i ekoscenarierna förutsätter det en växling till större andel växtbaserad mat, som minskar behovet av foderodling till djur.

Eftersom växthusgaserna snabbt jämnas ut i atmosfären spelar det ingen roll för klimatteffekten om lantbruksproduktionen koncentreras mer, både inom länder och globalt. Det är total mängd utsläpp som räknas.

Att minska produktionen genom att krympa arealen skulle troligen inte ge riktigt lika stor minskning av växt-

husgaserna som i ekoscenarierna, eftersom så mycket av utsläppen är knutna till den intensivaste produktionen, till exempel de allra högsta kvävegivorna. Den delen av produktionen elimineras helt i ekoalternativen.

Men om den frigjorda arealen används på ett sätt som binder in kol – till exempel som skog eller trädbevuxen betesmark – då kan det uppväga den nackdelen och kanske även ge en större sammanlagd klimatvinst än en ekoomläggning.

De flesta publicerade konventionella klimatscenarier för lantbruket räknar dock inte med några nämnvärda minskningar av dagens växthusgasutsläpp från produktionen. De bygger istället på att en oförändrad eller till och med ökad klimatpåverkan från lantbruket ska kompenseras genom skogsplantering och/eller bioenergiproduktion [175-179].

Arealen för sådan kompensation ska frigöras genom kraftiga öknings av hektaravkastningen. Dels genom att

”stänga avkastningsgapen”, så att all åkerareal i världen ska producera lika mycket som i de mest högavkastande odlingsystemen i varje region. Dels genom att även högstanivåerna ökar i snabbare takt.

Många scenarier förutsätter avkastningsökningar som är snabbare än när konstgödseln och bekämpningsmedlen slog igenom – en engångseffekt som bara kan upprepas med hjälp av nya och ännu okända tekniska genombrott.

Verkligheten är att avkastningen sedan flera decennier ökar allt långsammare i de stora livsmedelsgrödorna, som i många fall verkar närma sig gränsen för sin biologiska potential [180]. ■

annan förutsättning inte fick expandera.

Det andra skälet är kväveförsörjningen. Utan konstgödsel måste allt nytt kväve komma från biologisk kvävefixering. I alla tre scenarierna innehåller växtföljderna därför 25-50 procent kvävefixerande grödor, och mycket av den arealen måste vara vall. Vallen är både den effektivaste kvävefixerande grödan och den enda som kan odlas på så stora arealer utan att riskera växtföljdssjukdomar.

Att använda vallen som foder till idisslare har stora fördelar ur ett systemperspektiv. En del vall kan användas till biogas, och vall kan även odlas som grüngödsling utan att skördas. Men båda alternativen minskar matproduktionen i odlingsystemet.

”Att använda vallen som foder till idisslare har stora fördelar ur ett systemperspektiv. En del vall kan användas till biogas, och vall kan även odlas som grüngödsling utan att skördas.”

Maten räcker med säkerhetsmarginal.

Samtliga scenarier ger en tillräcklig total livsmedelsproduktion, med en säkerhetsmarginal som varierar mellan 8 och 23 procent. Det finns alltså även utrymme för en viss export eller för odling av annat än livsmedel.

Både i EU-scenariet och i det franska räknar man till exempel med fortsatt spannmålsexport till bland annat Nordafrika, som länge varit beroende av livsmedelsimport från Europa.

Överskotten är anmärkningsvärda med tanke på att samtliga scenarier samtidigt eliminerar stora importströmmar. Bara importen av fodersoja till EU beräknas motsvara cirka 35 miljoner hektar i Sydamerika, lika med 1/3 av EUs hela åkerareal.

I de svenska scenarierna försvinner även en stor livsmedelsimport, plus att ingen odling sker på mulljordarna, cirka 10 procent av åkermarken.

Utöver den minskade avkastningen i odlingen räknar scenarierna också med lägre produktion i djurhållningen, bland annat eftersom mycket av foderintaget ska komma från naturbeten. Mjolkproduktionen förutsätts också vara i stort sett helt grovfoderbaserad och ske med kombinationsraser som även ger en stor del av nötköttet. Kalkylerad mjölkavkastning är

”I två av scenarierna finns beräkningar av effekten på metan- och lustgasutsläppen. Alla alternativ visar stora minskningar, omkring 40 procent för EU-28 och 55-80 procent för de två svenska scenarierna.”

därför 5 500-6 000 kg/år, betydligt lägre än dagens genomsnitt även för ekologiska svenska mjölkkor.

För gris och fågel förutsätts en utfodring som till stor del bygger på olika restprodukter från lantbruk och livsmedelsindustri. I ett av de svenska scenarierna är detta fullt genomfört och ingen åkerareal alls används till foderodling för enkelmagade djur.

Mer baljväxter på matbordet.

Minskade mängder animaliskt protein är den tydligaste skillnaden mellan det som står på matbordet i dag och under de tre scenarierna.

Men det är bara i de två svenska alternativen som skillnaden är drastisk. Båda innebär att nästan allt gris- och fågelkött försvinner – och i lägstascenariet dessutom 2/3 av nöt- och lammköttet, och omkring hälften av mjölk och ägg. I alla de övriga scenarierna är skillnaderna måttliga. I EU-kalkylerna är 40 procent av gris- och

fågelköttet kvar, och mellan 50 och 90 procent av mjölk och kött från idisslare.

En del av det animaliska proteinet ersätts av baljväxter som ärter, böner och linser. De ökar med 100 procent eller mer, men det är från mycket låga utgångsnivåer. I absoluta tal handlar det om mängder på 150-250 g/vecka i de olika scenarierna.

Mer mat med fler djur.

I två av scenarierna (EU och Sverige/Norden) finns beräkningar av effekten på metan- och lustgasutsläppen. Alla alternativ visar stora minskningar, omkring 40 procent för EU-28 och 55-80 procent för de två svenska scenarierna.

Beräkningarna är inte gjorda på exakt samma sätt, men minskningarna följer i stort sett andelen animalieproduktion i scenarierna. Störst minskning visar därför lägstascenariot för Sverige, där animalieandelen är omkring 1/4 av dagens. Men jämfört med det högre svenska scenariot har

FÖRDJUPNING. Andra alternativ (2)

DE EKOLOGISKA framtids-scenarierna kan ifrågasättas därför att de förutsätter ett radikalt brott med de idag dominerande produktions-systemen i lantbruket. Men de konventionella scenarierna kan ifrågasättas av flera andra skäl.

En grundläggande svaghet som är gemensam för de flesta konventionella klimat-scenarier är att de fokuserar enbart på klimatpåverkan och varken väger in andra miljöeffekter eller sociala och ekonomiska konsekvenser.

Många av lantbrukets negativa miljöeffekter orsakas av produktionsmedel och metoder som endast eller oftare används i konventionell produktion. Övergödning och försvagade ekosystemtjänster är två exempel på miljöproblem som redan idag har nått en kritisk nivå i många intensiva jordbruksområden och skulle ytterligare förvärras

med ökad koncentration och intensitet.

Nedläggningen av jordbruksmark antas framförallt ske i områden med sämre odlingsförutsättningar. I ett europeiskt perspektiv skulle det innebära en koncentration av lantbruket till de bördigaste slättbygderna och storskalig skogsplantering i bergstrakter och andra glesbygder – för svensk del på sydsvenska höglandet och i hela skogslandet från Mälardalen och norrut.

Globalt skulle många sådana scenarier innebära nedläggning av allt lantbruk i stora områden som idag domineras av småbrukare och där naturliga betesmarker är en viktig komponent, till exempel i många delar av Afrika. De sociala och ekonomiska konsekvenserna är svåröverskådliga eftersom marken i bördigare trakter redan är upptagen av mer välbärgade bönder och/eller

kommersiella företag, inte sällan utlandsägda.

De scenarier som bygger på ökad bioenergiodling på åkermark kan bidra till en snabbare utfasning av fossilenergien. Men bioenergi har inte nollutsläpp och den kan inte kompensera för lantbruksproduktionens klimatpåverkan på det sätt som trädplantering kan.

Koldioxidutsläppen från biobränslen ingår i ett biologiskt kretslopp. Samma mängd som släpps ut vid förbränningen har tagits upp från luften när energiråvaran odlades – precis som koldioxiden som avges från människor och djur togs upp när livsmedlen och djurfodret odlades.

Men på samma sätt som odlingen av livsmedel och djurfoder orsakar bioenergiodlingen andra växthusgasutsläpp. Klimatpåverkan är ofta ungefär densamma eftersom

det till stor del är samma grödor som odlas med samma produktionsmetoder – till exempel vete, majs och raps.

Att ställa om livsmedels- eller foderareal till bioenergi eller därför ingen minskning av utsläppen i själva lantbruket. Bioenergins klimatnytta hänger helt på att den har lägre klimatpåverkan än fossilenergien som den ersätter. Det innebär att den bara minskar klimatpåverkan så länge det finns en fossilenergianvändning att ersätta, inte efter att fossilenergin är helt utfasad.

Trädplantering på öppen mark ger däremot alltid en nettominskning av klimatpåverkan genom att koldioxid från luften långsiktigt binds in i ved och rötter. Effekten kvarstår även om träden skördas, så länge de ersätts av nya träd så att mängden bundet kol inte permanent minskar igen.

Trädplantering på jord-

bruksmark innebär däremot inte med automatik en ökad biologisk mångfald, något som ofta tas för givet. Forskningen tyder på att effekterna är mycket varierande både beroende på vilken typ av jordbruksmark som planteras och vilken sorts skog som blir resultatet [181].

Det finns inte heller vetenskapligt stöd för att ökad skogsareal i sig skulle kunna uppväga en ökad negativ miljöpåverkan på kvarvarande jordbruksmark. Forskningen pekar snarare på att det behövs en kombination av minskad miljöbelastning i jordbruket och ökade arealer skogsmark som sköts med metoder som gynnar biologisk mångfald – och att de här olika livsmiljöerna inte får isoleras från varandra till exempel genom stora arealer med hög belastning av kemiska bekämpningsmedel. ■

”Många scenarier förutsätter avkastningsökningar som är snabbare än under den period när konstgödseln och bekämpningsmedlen slog igenom.”

lägstascenariot betydligt mindre totalproduktion. Det kan alltså försörja betydligt färre människor med mat, så skillnaden i klimatpåverkan blir mindre om man räknar per person.

Att matproduktionen blir mindre med den minsta djurhållningen är kanske förvånande, men beror på att det i lägstaalternativet odlas en hel del vall för kvävefixeringens skull som inte används till djuruppfödning utan bara som grön gödsling.

Osäkerhet om kvävemängderna.

Den största osäkerheten i studierna gäller kvävetillförseln, som är svår att beräkna eftersom kunskapen om biologisk kvävefixering är begränsad.

Den nordiska studien pekar på ett litet underskott för Sverige, som skulle kunna tyda på att kvävefixeringsarealen är underdimensionerad. I EU-studien går kvävebudgeten ihop, men författarna understryker att underlaget är osäkert och marginalerna små.

I scenariet för Frankrike är osäkerheten mycket mindre, eftersom det bygger på mer detaljerade beräkningar av grödor och odlingsförutsättningar i de 33 regionerna. Den regionaliserade kalkylen ger också möjlighet att räkna på effekten av en jämnare fördelning av djurhållningen. Det är en förändring som förutsätts även i de andra scenarierna men inte går att sätta siffror på i en kalkyl som gäller hela Sverige eller hela EU.

Den franska beräkningsmodellen förutsätter att alla regioner ska ha en minsta djurtäthet om 0,5 djurenheter/hektar, och den sätter även ett tak som beräknas bland annat efter ett högsta tillåtet kväveöverskott. Det medför omväxlande ökning och minskningar av djurantalet i många högt specialiserade franska regioner.

Nettoeffekten blir ett bättre kväveutnyttjande som både ökar produktionen och minskar kväveförlusterna. De kalkylerade resultaten för Frankrike tyder inte på något kväveunderskott, och avkastningen minskar inte heller lika mycket som i de andra scenarierna.

Scenarier är diskussionsunderlag.

Som flera av författarna är noga med att påpeka är scenarier inga prognoser om framtiden, utan en sorts diskussionsunderlag som gör det lättare att resonera om hur framtiden borde eller inte borde se ut. De här tre studierna har alltså inte på något sätt bevisat att kombinationen ekologisk produktion och reducerad animalieproduktion är det bästa botemedlet – eller ens ett möjligt botemedel – mot lantbrukets alltför stora klimatpåverkan.

Vad scenarierna däremot har bidragit med är ganska övertygande argument för att den här modellen inte går att avfärda – särskilt eftersom de kommer fram till så samstämmiga resultat på rätt olika vägar.

De illustrerar också en avgörande fördel som ekomodellen har i förhållande till de flesta mer konventionella scenarier som cirkulerar inom vetenskapen och politiken: den bygger på känd och väl utprovad teknik, inte på antaganden om att forskningen ska kunna leverera mycket större produktivitetsökningar i framtiden än vad som är möjligt i dag.

Ekologiskt lantbruk har praktiserats i kommersiell skala i decennier, och bygger på modern kunskap i kombination med beprövad erfarenhet. De förändringar som skisseras i scenarierna kräver varken

stora forskningsinsatser eller radikala förändringar av odlingsystem eller markanvändning. De kan påbörjas genast och genomföras stegvis.

”Ekologiskt lantbruk har praktiserats i kommersiell skala i decennier, och bygger på modern kunskap i kombination med beprövad erfarenhet. De förändringar som skissas i scenarierna kan påbörjas genast och genomföras stegvis”

Referenser.

1. Our World in Data 2020. *Atmospheric GHG concentrations*, Compilation of data from European Commission Joint Research Centre (JRC), Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) and US Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC).

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#greenhouse-gas-emissions-by-gas>

2. S Vermeulen et al 2012. "Climate Change and Food Systems", *Annual Review of Environment and Resources* 37:195-222.

<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>

3. F N Tubiello 2019. "Greenhouse Gas Emissions Due to Agriculture", in *Elsevier Encyclopedia of Food Systems*.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21996-3>

4. T Garnett 2011. "Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)?", *Food Policy* 36:S23-S32.

<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.010>

5. J Poore & T Nemecek 2018. "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers", *Science* 360:987-992.

<https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

6. J Poore & T Nemecek 2018. "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Supplementary materials", *Science* 360:987-992.

<https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

7. L Rogissart et al 2019. *Estimating greenhouse gas emissions from food consumption: methods and results*, Institute for Climate Economics.

<https://www.i4ce.org/download/estimating-greenhouse-gas-emissions-from-food-consumption-methods-and-results/#>

8. T Reardon 2015. "The hidden middle: the quiet revolution in the midstream of agrifood value chains in developing countries", *Oxford Review of Economic Policy* 31(1):45-63

<https://doi.org/10.1093/oxrep/grv011>

9. Our World in Data 2020. *Global average temperature has increased by more than one degree celsius since pre-industrial times*, Data republished from UK Met Office Hadley Centre.

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#global-average-temperature-has-increased-by-more-than-one-degree-celsius-since-pre-industrial-times>

10. FAOSTAT 2020. *Emissions – Agriculture*, FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<http://www.fao.org/faostat/en/#data>

11. D F Herridge et al 2008. "Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems", *Plant and Soil* 311:1-18.

<https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>

12. L Bouwman et al 2013. "Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period", *PNAS* 110:20882-20887.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>

13. J N Galloway et al 2003. "The Nitrogen Cascade", *Bioscience* 53(4):341-356.

[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0341:TNC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2)

14. IPCC 2019. *Climate Change and Land*, IPCC Special Report.

<https://www.ipcc.ch/srccl/>

15. E A Davidson & D Kanter 2014. "Inventories and scenarios of nitrous oxide emissions", *Environmental Research Letters* 9:105012.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105012>

16. M Saunio et al 2019. "The Global Methane Budget 2000-2017", *Earth System Science Data preprint*.

<https://doi.org/10.5194/essd-2019-128>

17. S R S Dangal et al 2014. "Methane emission from global livestock sector during 1890-2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns", *Global Change Biology* 23:4147-4161.

<https://doi.org/10.1111/gcb.13709>

18. J Wolf et al 2017. "Revised methane emissions factors and spatially distributed annual carbon fluxes for global livestock", *Carbon Balance and Management* 12:16.

<https://doi.org/10.1186/s13021-017-0084-y>

19. N Hosonuma et al 2012. "An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries", *Environmental Research Letters* 7:044009.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044009>

20. V De Sy et al 2019. "Tropical deforestation drivers and associated carbon emission factors derived from remote sensing data", *Environmental Research Letters* 14:094022.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3dc6>

21. F N Tubiello et al 2014. *Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks, 1990-2011 Analysis*, Working Paper Series ESS/14-02, FAO Statistics Division.

<https://www.fao.org/3/a-i3671e.pdf>

22. F Pendrill et al 2019. "Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions", *Global Environmental Change* 56:1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>

23. Yara 2018. *Yara Fertilizer Industry Handbook, October 2018.*

<https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018-with-notes.pdf/>

24. SCB 2020. *Statistikdatabasen, Statistiska Centralbyrån.*

<https://www.statistikdatabasen.scb.se/>

25. A Lindgren & M Lundblad 2014. *Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC – assessment of emission factors and areas in Sweden, Rapport 14, Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet.*

https://pub.epsilon.slu.se/11172/11/lindgren_a_lundblad_m_140512.pdf

26. Jordbruksverket 2018. *Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi når det nationella klimatmålet? Sammanställning av pågående arbete och framtida insatsområden, Rapport 2018:1, Jordbruksverket.*

https://www2.jordbruksverket.se/download/18.1869956316140978d6ff1fb7/1517303020358/ra18_1.pdf

27. UNFCCC 2019. *Inventory 2017, Submission 2019 v1, Sweden, UN Framework Convention on Climate Change.*

<https://unfccc.int/documents/194783>

28. M Henriksson 2014. *Greenhouse Gas Emissions from Swedish Milk Production - Towards Climate-Smart Milk Production, Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.*

https://pub.epsilon.slu.se/11103/1/Henriksson_m_140402.pdf

29. A Leip et al 2010. *Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions, Joint Research Centre, European Commission.*

https://fcm.org.uk/sites/default/files/EU_Evaluation_of_Livestock%27s_contribution_to_GHGs.pdf

30. P Gerber et al 2010. *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment, Animal Production and Health Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.*

www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf

31. Jordbruksverket 2019. *Hur stor andel av livsmedlen som säljs på marknaden är producerade i Sverige? På tal om jordbruk och fiske, Jordbruksverket 10 maj 2019.*

<https://djur.jordbruksverket.se/download/18.5fe4591d16ae718ed6f35552/1558703578019/Svenska%20marknadsandelar%202019.pdf>

32. LRF 2020. *Självförsörjning, Lantbrukarnas Riksförbund 9 januari 2020.*

<https://www.lrf.se/politikochpaverkan/foretagarvillkor-och-konkurrenskraft/nationell-livsmedelsstrategi/sjalvforsorjning/>

33. JSÅ 2019. *Jordbruksstatistisk sammanställning 2019, Statistiska Centralbyrån.*

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/js2019.html>

34. Jordbruksverket 2014. *Marknadsöversikt – Spannmål, Rapport 2014:8, Jordbruksverket.*

https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra14_8.pdf

35. A Mottet et al 2017. *"Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate", Global Food Security 14:1-8.*

<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>

36. P J Gerber et al 2013. *Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities, Food and Agriculture Organization of the United Nations.*

<https://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf>

37. M Herrero et al 2016. *"Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector", Nature Climate Change 6:452-461.*

<https://doi.org/10.1038/nclimate2925>

38. S Clune et al 2017. *"Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories", Journal of Cleaner Production 140:766-783.*

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>

39. Livsmedelsverket 2020. *Sök näringsinnehåll, Livsmedelsdatabasen, Livsmedelsverket.*

40. K A Smith 2017. *"Changing views of nitrous oxide emissions from agricultural soil: key controlling processes and assessment at different spatial scales", European Journal of Soil Science 68:137-155.*

<https://doi.org/10.1111/ejss.12409>

41. Our World in Data 2020. *N₂O concentrations, Data republished from European Environment Agency.*

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#n2o-concentrations>

42. D Fowler et al 2013. *"The global nitrogen cycle in the twenty-first century", Philosophical Transactions of the Royal Society B 368:20130164.*

<https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>

43. S Park et al 2012. *"Trends and seasonal cycles in the isotopic composition of nitrous oxide since 1940", Nature Geoscience 5:261-265.*

<https://doi.org/10.1038/ngeo1421>

44. J N Galloway et al 2004. *"Nitrogen cycles: past, present, and future", Biogeochemistry 70:153-226.*

<https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>

45. N Ramankutty & J A Foley 1999. *"Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992", Global Biogeochemical Cycles 13:997-1027.*

<https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00141.x>

46. G P H Chorley 1981. *"The Agricultural Revolution in Northern Europe, 1750-1880: Nitrogen, Legumes, and Crop Productivity", The Economic History Review 34:71-93.*

<https://doi.org/10.2307/2594840>

- 47. V Smil 1999.** "Nitrogen in crop production: An account of global flows", *Global Biogeochemical Cycles* **13(2):647-662**.
<https://doi.org/10.1029/1999GB900015>
- 48. K J Van Meter et al 2016.** "The nitrogen legacy: emerging evidence of nitrogen accumulation in anthropogenic landscapes", *Environmental Research Letters* **11:035014**.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/035014>
- 49. D S Reay et al 2012.** "Global agriculture and nitrous oxide emissions", *Nature Climate Change* **2:410-416**.
<https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1458>
- 50. E A Davidson 2009.** "The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860", *Nature Geoscience* **2:659-662**.
<https://doi.org/10.1038/NGEO608>
- 51. I Shcherbak et al 2014.** "Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen", *PNAS* **111:9199-9204**.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1322434111>
- 52. J P Hoben et al 2011.** "Nonlinear nitrous oxide (N₂O) response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest", *Global Change Biology* **17:1140-1152**.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02349.x>
- 53. M K Jarecki et al 2014.** "Modeled Nitrous Oxide Emissions from Corn Fields in Iowa Based on County Level Data", *Journal of Environmental Quality* **44:431-441**.
<https://doi.org/10.2134/jeq2014.03.0100>
- 54. J J Beaulieu et al 2011.** "Nitrous oxide emission from denitrification in stream and river networks", *PNAS* **108:214-219**.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1011464108>
- 55. SCB 2018.** *Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark 2016*, Statistiska meddelanden MI 40 SM 1801, Statistiska Centralbyrån.
<https://www.scb.se/publikation/33799>
- 56. JSÅ 2017.** *Jordbruksstatistisk sammanställning 2017*, Statistiska Centralbyrån.
https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/js_2017.html
- 57. EEA 2019.** *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*, EEA Report 13/2019.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- 58. Naturvårdsverket 2019.** *Informative Inventory Report Sweden 2020. Submitted under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*, Naturvårdsverket.
<http://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/klimat-och-luft/luft/luftforeningar/informativ-inventory-report-sweden-2020.pdf>
- 59. SCB 2017.** *Försäljning av mineralgödsel för jord- och trädgårdsbruk under 2015/16*, Statistiska meddelanden MI 30 SM 1701, Statistiska Centralbyrån.
<https://www.scb.se/publikation/30972>

- 60. Our World in Data 2020.** *CH₄ concentrations*, Data republished from European Environment Agency and US National Oceanic and Atmospheric Administration.
<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#ch4-concentrations>
- 61. F M Kelliher & H Clark 2010.** "Methane emissions from bison – An historic herd estimate for the North American Great Plains", *Agricultural and Forest Meteorology* **150:473-477**.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.019>
- 62. G P Hempson et al 2017.** "The consequences of replacing wildlife with livestock in Africa", *Scientific Reports* **7:17196**.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-17348-4>
- 63. M Ramin & P Huhtanen 2013.** "Development of equations for predicting methane emissions from ruminants", *Journal of Dairy Science* **96:2476-2493**.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
- 64. M Niu et al 2018.** "Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database", *Global Change Biology* **24:3368-3389**.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- 65. H Schaefer 2019.** "On the Causes and Consequences of Recent Trends in Atmospheric Methane", *Current Climate Change Reports* **5:259-274**.
<https://doi.org/10.1007/s40641-019-00140-z>
- 66. P Gerber et al 2011.** "Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems", *Livestock Science* **139:100108**.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012>
- 67. FAO & GDP 2019.** *Climate change and the global dairy cattle sector. The role of the dairy sector in a low-carbon future*, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Global Dairy Platform Inc.
<http://www.fao.org/3/CA2929EN/ca2929en.pdf>
- 68. J P Lesschen et al 2011.** "Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors", *Animal Feed Science and Technology* **166-167:16-28**.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.058>
- 69. F Weiss & A Leip 2012.** "Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **149:124-134**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.015>
- 70. R A Houghton 2012.** "Historic Changes in Terrestrial Carbon Storage", in *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*, R Lal et al (eds).
https://doi.org/10.1007/978-94-007-4159-1_4
- 71. J P W Scharlemann et al 2014.** "Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool", *Carbon Management* **5(1):81-91**.
<https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>

- 72. X Wei et al 2014.** "Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land", *Scientific Reports* **4:4062**.
<https://doi.org/10.1038/srep04062>
- 73. L B Guo & R M Gifford 2002.** "Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis", *Global Change Biology* **8:345-360**.
<https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- 74. J-F Soussana et al 2004.** "Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands", *Soil Use and Management* **20:219-230**.
<https://doi.org/10.1079/sum2003234>
- 75. R A Houghton & A A Nassikas 2017.** "Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850-2015", *Global Biogeochemical Cycles* **31:456-472**.
<https://doi.org/10.1002/2016GB005546>
- 76. Our World in Data 2020.** *CO₂ concentrations*, Data republished from US National Oceanic and Atmospheric Administration.
<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#co2-concentrations>
- 77. T Rudel et al 2005.** "Forest transitions: towards a global understanding of land use change", *Global Environmental Change* **15:23-31**.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.11.001>
- 78. J Heikkinen 2013.** "Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009", *Global Change Biology* **19:1456-1469**.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- 79. H Clivot et al 2019.** "Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model", *Environmental Modelling and Software* **118:99-113**.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.004>
- 80. H R Oberholzer et al 2014.** "Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **177:696-704**.
<https://doi.org/10.1002/jpln.201300385>
- 81. T Steinmann et al 2016.** "Long-term development of organic carbon contents in arable soil of North Rhine-Westphalia, Germany, 1979-2015", *European Journal of Soil Science* **67:616-623**.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12376>
- 82. S Sleutel et al 2006.** "Organic C levels in intensively managed arable soils – long-term regional trends and characterization of fractions", *European Journal of Soil Science* **67:616-623**. <https://doi.org/10.1111/ejss.12376>
- 83. K Henryson et al 2019.** "Environmental performance of crop cultivation at different sites and nitrogen rates in Sweden", *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **114:139-155**.
<https://doi.org/10.1007/s10705-019-09997-w>

- 84. G Börjesson et al 2018.** "Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations", *Biology and Fertility of Soils* **54:549-558**.
<https://doi.org/10.1007/s00374-018-1281-x>
- 85. W L Kutsch et al 2010.** "The net biome production of full crop rotations in Europe", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **139:336-345**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.07.016>
- 86. J K Ladha et al 2011.** "Role of Nitrogen Fertilization in Sustaining Organic Matter in Cultivated Soils", *Journal of Environmental Quality* **40:1756-1766**.
<https://doi.org/10.2134/jeq2011.0064>
- 87. A E Johnston et al 2017.** "Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley-arable rotations on a sandy loam soil in England", *European Journal of Soil Science* **68:305-316**.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12415>
- 88. S A Khan et al 2007.** "The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration", *Journal of Environmental Quality* **36:1821-1832**.
<https://doi.org/10.2134/jeq2007.0099>
- 89. E Lugato et al 2015.** "Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices", *Global Change Biology* **20:3557-3567**.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12551>
- 90. C Poeplau et al 2011.** "Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach", *Global Change Biology* **17:2415-2427**.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
- 91. B Zhang et al 2017.** "Global manure nitrogen production and application in cropland during 1860-2014: a 5 arcmin gridded global dataset for Earth system modeling", *Earth System Science Data* **9:667-678**.
<https://doi.org/10.5194/essd-9-667-2017>
- 92. J Eriksson et al 2010.** *Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007*, Rapport 6349, Naturvårdsverket.
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6349-8.pdf>
- 93. F N Tubiello et al 2016.** "A Worldwide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Organic Soils", *Sustainability* **8:371**.
<https://doi.org/10.3390/su8040371>
- 94. A Hoxha & B Christensen 2019.** *The carbon footprint of fertiliser production: regional reference values*, Proceedings 805, International Fertiliser Society.
https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2020/01/The-carbon-footprint-of-fertilizer-production_Regional-reference-values.pdf

- 95. J Rogelj et al 2016.** "Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C", *Nature* **534:631-639**.
<https://doi.org/10.1038/nature18307>
- 96. G P Peters et al 2019.** "Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies", *Nature Climate Change* **10:3-6**.
<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0659-6>
- 97. R L Thompson et al 2019.** "Acceleration of global N₂O emissions seen from two decades of atmospheric inversion", *Nature Climate Change* **9:993-998**.
<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0613-7>
- 98. E Wollenberg et al 2016.** "Reducing emissions from agriculture to meet the 2°C target", *Global Change Biology* **22:3859-3864**.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13340>
- 99. OECD-FAO 2019.** *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*, Organisation for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations.
https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en
- 100. Jordbruksverket 2020.** *Statistikdatabasen*.
<http://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/?rid=-391bc799-4f4d-407f-a0b6-6e972aed17bc>
- 101. V Smil 2014.** "Eating meat: Constants and changes", *Global Food Security* **3:67-71**.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.06.001>
- 102. B Bajželj et al 2014.** "Importance of food-demand management for climate mitigation", *Nature Climate Change* **4:924-929**.
<https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2353>
- 103. M Herrero et al 2016.** "Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector", *Nature Climate Change* **6:452-461**.
<https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2925>
- 104. Greppa Näringen 2014.** *Minska utsläppen av växthusgaser från stallgödning*, Praktiska Råd **22**, Greppa Näringen.
https://greppa.nu/download/18.724b0a8b148f52338a31843/1413296488894/Praktiska_rad_nr_22_Minska_utslapp_fran_stallgodning.pdf
- 105. Greppa Näringen 2012.** *Tolkning av växtnäringsbalans på grågårderna*, Praktiska Råd **15:2**, Greppa Näringen.
http://greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd1a536/1402315660593/Praktiska_R%C3%A5d_Nr_15-2_VNB_Grisgarden.pdf

- 106. Greppa Näringen 2012.** *Tolkning av växtnäringsbalans på mjölkgården*, Praktiska Råd **15:3**, Greppa Näringen.
http://greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd1a536/1402315660626/Praktiska_r%C3%A5d_Nr_15-3_VNB_Mjolkgarden.pdf
- 107. R Einarsson et al 2018.** "Nitrogen flows on organic and conventional dairy farms: a comparison of three indicators", *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **110:25-38**.
<https://doi.org/10.1007/s10705-017-9861-y>
- 108. M Wivstad et al 2009.** *Ekologisk produktion - möjligheter att minska övergödning*, Centrum för uthålligt lantbruk, Sveriges Lantbruksuniversitet.
<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ekoforsk/resultat-2009/wivstad-2009-eko-prod-overgodning-syntes.pdf>
- 109. J R Knapp et al 2014.** "Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions", *Journal of Dairy Science* **97:3231-3261**.
<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- 110. R Danielsson 2016.** *Methane Production in Dairy Cows. Impact of Feed and Rumen Microbiota*, Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.
https://pub.epsilon.slu.se/13308/1/danielsson_r_160427.pdf
- 111. R J Wallace et al 2019.** "A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions", *Science Advances* **5:eaav8391**.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aav8391>
- 112. T Gasser et al 2017.** "Accounting for the climate-carbon feedback in emission metrics", *Earth System Dynamics* **8:235-253**.
<https://doi.org/10.5194/esd-8-235-2017>
- 113. UNFCCC 2011.** *Decision 15/CP.17*, United Nations Framework Convention on Climate Change.
<https://unfccc.int/decisions>
- 114. P Balcombe et al 2018.** "Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon", *Environmental Science: Processes and Impacts* **20:1323-1339**.
<https://doi.org/10.1039/c8em00414e>
- 115. M R Allen et al 2018.** "A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation", *Climate and Atmospheric Science* **1:16**.
<https://doi.org/10.1038/s41612-018-0026-8>
- 116. Myhre et al 2013.** "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing", Chapter 8 in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

- 117. U M Persson et al 2015.** "Climate metrics and the carbon footprint of livestock products: where's the beef?", *Environmental Research Letters* **10:034005**.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034005>
- 118. D Johansson 2017.** *Metancykeln och metanets effekt för växthuseffekten på kort och lång sikt*, Presentation 8 mars 2017, Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien.
<https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2017/01/Daniel-Johansson.pdf>
- 119. E O Sterner & D JA Johansson 2017.** "The effect of climate-carbon cycle feedbacks on emission metrics", *Environmental Research Letters* **12:034019**.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa61dc>
- 120. SLU 2020.** *Soja i fodret till våra husdjur*, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges Lantbruksuniversitet.
<https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-varld/nyheter-huv/soja-till-husdjur/>
- 121. L Norberg et al 2016.** "Seasonal CO₂ emission under different cropping systems on Histosols in southern Sweden", *Geoderma Regional* **7:338-345**.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.06.005>
- 122. M Maljanen et al 2010.** "Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps", *Biogeosciences* **7:2711-2738**.
<https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010>
- 123. Jordbruksverket 2018.** *Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd*, Rapport 2018:30, Jordbruksverket.
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra1830.html>
- 124. E Karlton et al 2010.** *Inlagring av kol i betesmark*, Rapport 2010:25, Jordbruksverket.
<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/inlagring-av-kol-i-betesmark.html>
- 125. D P Rasse 2005.** "Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation", *Plant and Soil* **269:341-356**.
<https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>
- 126. T Kätterer et al 2011.** "Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **141:184-192**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
- 127. S R Mazzilli et al 2015.** "Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops", *Soil Biology & Biochemistry* **85:22e30**.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.014>
- 128. M Tewari & H Joshi 1985.** "Effect of nitrogen fertilizer on biomass and growth behaviour of two range grasses", *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Plant Sciences)* **95:41-46**. <https://doi.org/10.1007/BF03053117>

- 129. G I Ågren & T Ingestad 1987.** "Root:shoot ratio as a balance between nitrogen productivity and photosynthesis", *Plant, Cell and Environment* **10:579-586**.
<https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11604105>
- 130. J Hirte et al 2018.** "Maize and wheat root biomass, vertical distribution, and size class as affected by fertilization intensity in two long-term field trials", *Field Crops Research* **216:197-208**.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.023>
- 131. T Hu et al 2018.** "Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **251:141-148**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.024>
- 132. A Taghizadeh-Toosi et al 2016.** "Consolidating soil carbon turnover models by improved estimates of belowground carbon input", *Scientific Reports* **6:32568**.
<https://doi.org/10.1038/srep32568>
- 133. R Dechow et al 2019.** "Evaluation of the RothC model as a prognostic tool for the prediction of SOC trends in response to management practices on arable land", *Geoderma* **337:463-478**.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.001>
- 134. C Poeplau & A Don 2015.** "Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **200:33-41**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- 135. M Abdalla et al 2019.** "A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity", *Global Change Biology* **25:2530-2543**.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14644>
- 136. VDLUFA 2014.** *Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.
https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf
- 137. S M Ogle et al 2019.** "Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions", *Scientific Reports* **9:11665**.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- 138. N R Haddaway et al 2017.** "How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review", *Environmental Evidence* **6:30**.
<https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>

- 139. V Kainiemi 2014.** *Tillage Effects on Soil Respiration in Swedish Arable Soils*, **Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.**
https://pub.epsilon.slu.se/10961/1/kainiemi_v_140107.pdf
- 140. M Maillard & D A Angers 2014.** "Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis", *Global Change Biology* 20:666-679.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12438>
- 141. A Bhogal et al 2018.** "Improvements in the Quality of Agricultural Soils Following Organic Material Additions Depend on Both the Quantity and Quality of the Materials Applied", *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2:9.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00009>
- 142. C Grignani et al 2007.** "Production, nitrogen and carbon balance of maize-based forage systems", *European Journal of Agronomy* 26:442-453.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.01.005>
- 143. A Mori & M Hojito 2015.** "Effect of dairy manure type on the carbon balance of mowed grassland in Nasu, Japan: comparison between manure slurry plus synthetic fertilizer plots and farmyard manure plus synthetic fertilizer plots", *Soil Science and Plant Nutrition* 61:736-746.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1043642>
- 144. E Aguilera et al 2013.** "Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis", *Agriculture, Ecosystems and Environment* 168:25-36.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- 145. C Poeplau et al 2015.** "Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments", *Geoderma* 237-238:246-255.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.010>
- 146. R L Lemke et al 2010.** "Crop residue removal and fertilizer N: Effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll", *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135:42-51.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.010>
- 147. J Wang et al 2016.** "Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects", *Global Change Biology Bioenergy* 8:512-523.
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
- 148. N P Gurwick et al 2013.** "A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy", *PLOS One* 8:e75932.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075932>

- 149. T Kätterer et al 2008.** "Long-term impact of chronosequential land use change on soil carbon stocks on a Swedish farm", *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81:145-155.
<https://doi.org/10.1007/s10705-007-9156-9>
- 150. P Schjønning et al 2012.** "Clay Dispersibility and Soil Friability — Testing the Soil Clay-to-Carbon Saturation Concept", *Vadose Zone Journal* 11:vzj2011.0067.
<https://doi.org/10.2136/vzj2011.0067>
- 151. I K Thomsen & B T Christensen 2004.** "Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops", *Soil Use and Management* 20:432.438.
<https://doi.org/10.1079/SUM2004281>
- 152. R T Conant et al 2017.** "Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis", *Ecological Applications*, 27:662-668.
<https://doi.org/10.1002/eap.1473>
- 153. K Yagi et al 2020.** "Potential and promisingness of technical options for mitigating greenhouse gas emissions from rice cultivation in Southeast Asian countries", *Soil Science and Plant Nutrition*, 66:37-49.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1683890>
- 154. Y Zhang et al 2019.** "Contribution of rice variety renewal and agronomic innovations to yield improvement and greenhouse gas mitigation in China", *Environmental Research Letters* 14:114020.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab488d>
- 155. G J Lipsett-Moore et al 2018.** "Emissions mitigation opportunities for savanna countries from early dry season fire management", *Nature Communications* 9:2247.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-04687-7>
- 156. S Ahlgren et al 2015.** *Produktion av kvävegödsel baserad på förnybar energi. En översikt av teknik, miljöeffekter och ekonomi för några alternativ, Rapport 082, Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet.*
https://pub.epsilon.slu.se/12077/11/ahlgren_s_eta1_150409.pdf
- 157. Yara 2019.** *Intyg klimatavtryck, Yara AB 2 januari 2019.*
<https://www.yara.se/contentassets/df5bacf2218d492db9b63c50c35246f0/intyg-yara-klimatavtryck-2019.pdf>
- 158. G Frostgård 2020.** *Framtidens mineralgödsel – fossilfri ammoniak och recirculation av växtnäring, Yara 9 januari 2020.*
<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/mom/fieldstations/uddevallakonf/2020/12gunillafrostgardpres.pdf>

- 159. M Erlingsson 2019.** "Offensivt klimatarbete", *Växtpressen 1-2019*, Yara AB.
https://issuu.com/yarasverige/docs/vp_1901_lagupplöst
- 160. L Woodward et al 1996.** *Health, sustainability and the global economy - the organic dilemma*, Elm Farm Research Centre.
http://www.efrc.com/manage/authincludes/article_uploads/art004.pdf
- 161. Jordbruksverket 2019.** *Ekologisk växtodling 2018*, Statistiska meddelanden JO 13 SM 1901.
<https://www.scb.se/publikation/38246>
- 162. SCB 2020.** *Försäljning av mineralgödsel till jord- och trädgårdsbruk*, Statistiska Centralbyrån.
<https://www.scb.se/mi1002>
- 163. SCB 2017.** *Gödselmedel i jordbruket 2015/16*, Statistiska meddelanden MI 30 SM 1702, Statistiska Centralbyrån.
<https://www.scb.se/publikation/30978>
- 164. J P Reganold & J M Wachter 2016.** "Organic agriculture in the twenty-first century", *Nature Plants* **2:15221**.
<https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- 165. H M G van der Werf et al 2020.** "Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment", *Nature Sustainability*.
<https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- 166. V Seufert et al 2012.** "Comparing the yields of organic and conventional agriculture", *Nature* **485:229-232**.
<https://doi.org/10.1038/nature11069>
- 167. T de Ponti et al 2012.** "The crop yield gap between organic and conventional agriculture", *Agricultural Systems* **108:1-9**.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>
- 168. L C Ponisio et al 2015.** "Diversification practices reduce organic to conventional yield gap", *Proceedings of the Royal Society B* **282:20141396**.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- 169. C Badgley et al 2007.** "Organic agriculture and the global food supply", *Renewable Agriculture and Food Systems* **22:86-108**.
<https://doi.org/10.1017/S1742170507001640>
- 170. J Karlsson et al 2017.** *Future Nordic Diets. Exploring ways for sustainably feeding the Nordics*, TemaNord 2017:566, Nordic Council of Ministers.
<https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1163192/FULLTEXT01.pdf>

- 171. X Poux & P-M Aubert 2018.** *An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating*, Study 9/18, Institut du développement durable et des relations internationales. <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Etude/201809-ST0918EN-tyfa.pdf>
- 172. P-M Aubert et al 2019.** *Agroecology and carbon neutrality in Europe by 2050: what are the issues?*, Study 2/19, Institut du développement durable et des relations internationales. <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/D%C3%A9cryptage/201904-ST0219-TYFA%20GHG.pdf>
- 173. G Billen et al 2018.** "Two contrasted future scenarios for the French agro-food system", *Science of the Total Environment* **637-638:695-705**.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.043>
- 174. A Muller et al 2017.** "Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture", *Nature Communications* **8:1290**.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- 175. European Commission 2018.** *In-depth analysis in support of the COM(2018)773: A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, European Commission.
https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf
- 176. ECF 2018.** *Net Zero by 2050: from whether to how*, European Climate Foundation.
<http://europeanclimate.org/content/uploads/2019/11/09-18-net-zero-by-2050-from-whether-to-how.pdf>
- 177. A Lóránt & B Allen 2019.** *Net-zero agriculture in 2050: how to get there?* Institute for European Environmental Policy.
https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/eeac4853-3629-4793-9e7b-2df5c156afd3/IEEP_NZ2050_Agriculture_report_screen.pdf?v=63718575577
- 178. T Searchinger et al 2019.** *Creating a Sustainable Food Future. A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050*, World Resources Institute.
https://wri-food.wri.org/sites/default/files/2019-07/WRR_Food_Full_Report_0.pdf
- 179. Naturvårdsverket & Jordbruksverket 2019.** *Minskade utsläpp av växthusgaser från jordbruket med ökad produktion? Scenarier till 2045 för utsläpp och upptag av växthusgaser inom jordbrukssektorn*, Naturvårdsverket & Jordbruksverket.
<http://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/klimat-och-luft/klimat/tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Jordbruksscenarier-2045.pdf>
- 180. P Grassini et al 2013.** "Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends", *Nature Communications* **4:2918**.
<https://doi.org/10.1038/ncomms3918>

Appendix.

s.68-69

Växthusgaser från konventionella och ekologiska gårdar

- 181. C Kremen 2015.** "Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation", *Annals of the New York Academy of Sciences* **1355:52-76**.
<https://doi.org/10.1111/nyas.12845>
- 182. J Constantin et al 2010.** "Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments", *Agriculture, Ecosystems and Environment* **135:268.278**.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.005>
- 183. Yara 2018.** *Gödslingsråd, oktober 2018, Yara AB*.
https://www.yara.se/contentassets/b2d039536ac14ce382a98e12dd92282e/yar0050_godslingsradet_2018_okt.pdf
- 184. B Landquist et al 2016.** *Litteraturstudie av miljöpåverkan från konventionell och ekologisk producerade livsmedel. Fokus på studier utförda med livscykelanalysmetodik, Rapport 2-2016, Livsmedelsverket*.
<https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2016/miljopaverkan-fran-konventionellt-och-ekologiskt-producerade-livsmedel-nr-2-2016.pdf>
- 185. FAOSTAT 2020.** *Food Supply - Livestock and Fish Primary Equivalent, FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- 186. SCB 2018.** *Skörd för ekologisk och konventionell odling 2017, Statistiska Meddelanden JO 14 SM 1801*.
https://www.scb.se/contentassets/9d77c66e383c4a7ea739554d462ef2c6/jo0608_2017a01_sm_jo14sm1801.pdf
- 187. Naturvårdsverket 2019.** *National Inventory Report Sweden 2017, Submission to UNFCCC and the Kyoto Protocol, Naturvårdsverket*.
<https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/miljo-konventioner/FN/nir-sub-15-april.pdf>
- 188. A Baky et al 2010.** *Kartläggning av jordbrukets energianvändning, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik*.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:959931/FULLTEXT01.pdf>
- 189. E Rööös et al 2020.** "Less meat, more legumes: prospects and challenges in the transition toward sustainable diets in Sweden", *Renewable Agriculture and Food Systems* **35:192–205**.
<https://doi.org/10.1017/S1742170518000443>
- 189. M Henriksson et al 2015.** *Lustgas från jordbruksmark. Konkreta råd för att minska lustgasavgången på gårdsnivå, Hushållningssällskapet Halland*.
https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2015/05/n2o_fran_jordbruksmark.pdf

JÄMFÖRELSEN MELLAN mjölk- och växtodlingsgårdar i konventionell och ekologisk produktion på sidorna 68-69 bygger i huvudsak på publicerade uppgifter från Greppa Näringens databas [107-108]. Därifrån kommer fördelningen mellan vall och ettåriga grödor, djurtäthet, växtnäringsbalanser och för mjölkgårdarna även producerad mängd mjölk. De är representativa endast för de deltagande gårdarna, med tyngdpunkt i södra Sverige, inte för landet som helhet. Data är insamlade kontinuerligt i samband med Greppa Näringens rådgivning. De publicerade beräkningarna täcker för växtodlingsgårdarna perioden 2001-2006 [108] och för mjölkgårdarna 2004-2014 [107]. Det innebär bland annat att mjölkavkastningen i beräkningarna är låg jämfört med dagens, och att skillnaden mellan ekologiska gårdarnas mjölkavkastning och den konventionella större. För växtodlingsgårdarna saknades avkastningsdata. De har istället hämtats från SCB:s statistik för år 2017 [186]. Data för Götalands norra slättbygder har använts, och i både ekologisk och

konventionell produktion en växtföljd med (utöver vallen) höstvetete, vårkorn, åkerböna och höstraps, men med större tonvikt på spannmål i det konventionella ledet. Lustgasavgången har beräknats med emissionsfaktorer från Sveriges nationalrapport för 2017 [27, 187]. För skörde-rester har genomsnittsvärdet för hela åkerarealen använts. Växthusgasutsläppen från konstgödseltillverkning har uppskattats till 5 kg CO₂e/kg N utifrån antagandet att cirka 60 % av kvävegödningsen är från lustgasrenad produktion [94, 157]. Dieselanvändningen i arbetsmaskiner har uppskattats utifrån publikationer från Jordbruksverket och JTI [26, 188]. Förändringar i markkolbalansen har schablonmässigt uppskattats till -150 kg C/ha/år för ettåriga grödor och +400 kg C/ha/år för vall, lika för ekologisk och konventionell produktion, baserat på en rad olika källor [74, 78-84, 92, 136, 149]. Se även tabell på sidan 57. All odling har antagits vara på mineraljord och inga växthusgaser från organogena jordar är därför medräknade. Enteriskt metan från mjölkkor och ungnöt har beräknats med värden

från Sveriges nationalrapport för 2017 [187]. Värdena för mjölkkor har justerats efter avkastningsdata i Greppa-materialet. Metan från gödsel har beräknats från samma källa. Jämförelsen är inriktad på att beskriva de viktigaste faktorerna bakom gårdarnas klimatavtryck, och har inte samma detaljeringsgrad som en formell livscykelanalys, men i stort stämmer resultaten väl med publicerade LCA-jämförelser mellan ekologisk och konventionell produktion i Sverige [184]. Några mindre faktorer som inte räknats in är klimatbelastningen av importerad soja, kväveförluster och -vinster från multhaltsförändringar, olika andel bete (vilket påverkar lustgasavgången) och en möjligen större lustgasavgång från baljväxtskörderester. Ingen av dessa skulle dock påverka resultatet i större utsträckning. Större felkällor finns inbyggda i de schablonmässiga emissionsfaktorer som används i nationalrapporteringen, exempelvis att lustgasavgången antas vara proportionell mot mängden kväve, trots mycket data som visar på stigande lustgasandelar vid högre givor [51].

Kolofon.



Lantbruket och klimatet.
Ett helhetsgrepp.

Ekologiska Lantbrukarna
2020.

Verksamhetsledare:

Sofia Sollén-Norrlin.

Projektledare:

Eva Hagström Öberg/
Regna Mat & Miljö.

Text: Peter Einarsson/
Kvarnåkern.

Textredigering: Niclas
Åkeson/ Publishing Farm.

Form: Berit Metlid/
Publishing Farm.

Grafik s 24-25:

Johan Jarnestad/
Infographics.

Tryck: CA Andersson.

DISKUSSIONEN OM lantbrukets klimatpåverkan fokuserar oftast på en sak i taget. Vissa talar mest om kornas metanutsläpp, andra om fossilfria bränslen.

Ekologiska Lantbrukarna har tagit fram den här rapporten för att i stället försöka ta ett helhetsgrepp på lantbrukets roll för den globala uppvärmningen och klargöra var de stora växthusgasflödena uppstår och hur de kan påverkas. Alla ansträngningar för att minska klimatpåverkan är viktiga, men ska vi göra ordentlig skillnad måste vi se den större bilden.

Rapporten är väl förankrad i forskningen och belyser på djupet frågor om kopplingen mellan kvävegödsling och lustgas, idisslare och metan och hur mycket kol som försvinner eller lagras in i marken vid olika brukningsformer.

Hela rapportens innehåll är en vägledning om i vilken riktning lantbruket behöver gå för att på allvar minska utsläppen av växthusgaser. Gårdsnära frågor och tips och idéer om vad som kan göras på det egna lantbruket diskuteras mera utförligt i den studiehandledning som ges ut av Ekologiska Lantbrukarna och finns att ladda ner på www.ekolantbruk.se.