

Lustgasavgång från jordbruksmark

Fil.Dr. Åsa Kasimir Klemedtsson
Institutionen för Geovetenskaper, Göteborgs Universitet

Oktober 2009

Bakgrund

Regeringen fattade den 26 juni 2008 beslut om ändring av Jordbruksverkets regleringsbrev rörande uppdraget ”Åtgärdsprogram för minskade växtnäringsförluster” vilket ersätts av uppdraget; ”Jordbruksverket ska efter samråd med berörda myndigheter och organisationer lämna förslag till ett handlingsprogram för minskade växtnärings- och växthusgasförluster från jordbruket för perioden 2011 till och med 2016 med utblick till 2020.”

Framtagandet av ett handlingsprogram inom jordbruksverket bedrivs som ett projekt vilket ska utgöra underlag för vidare beslut och genomförande. Föreslagna åtgärder och styrmedel ska vara realistiska, genomförbara och kostnadseffektiva. Förslag till nytt handlingsprogram ska vara färdigt våren 2010. Som ett led i projektet gavs ett uppdrag till Åsa Kasimir Klemedtsson att utreda och ge förslag till möjliga åtgärder i jordbruket som kan minska lustgasavgången från jordbruksmark. Rapporteringen följer de anvisningar som gavs.

Inledning

Den tredje viktigaste naturliga växthusgasen är lustgas (N_2O) vilken huvudsakligen produceras biologiskt och sen sista istiden har koncentrationen varit runt 270 ppb men var 2005 uppe i 319 ppb (IPCC syntesrapport 2007). Lustgas är en stark växthusgas, där 1 kg lustgas ger lika stor klimateffekt som nästan 300 kg koldioxid (Forster et al. 2007). Dessutom är den långlivad, den lustgas som hamnar i atmosfären idag kommer att finnas kvar i cirka 114 år. Lustgas är också den gas som orsakar mest nedbrytning av stratosfäriskt ozon, vilket skyddar jordens organismer mot farlig UV-strålning (Ravishankara et al. 2009). Av nuvarande mänskligt orsakade växthusgasutsläpp till atmosfären utgör lustgastillförseln 8 % (IPCC syntesrapport 2007). Av Sveriges rapporterade lustgasavgång kommer 70 % från jordbruket, resten är från industri, energianvändning och trafik. Det *agroekologiska* systemet är skapat av människan och lustgas som avgår från jordbruksmark är följaktligen antropogen (=av människan orsakad).

Med IPCC's metod, där lustgas huvudsakligen beräknas på en enda faktor *kvävetillförsel* till fältet i form av handelsgödsel, stallgödsel och skörderester, kommer en enda åtgärd att beräknas ge effekt på lustgasemissionen: ”minska kvävetillförseln” – men då kommer också skördarna att minska. Syftet med IPCC's metod är nationell rapportering och metoden är mindre bra på att uppskatta emission från enkilda fält.

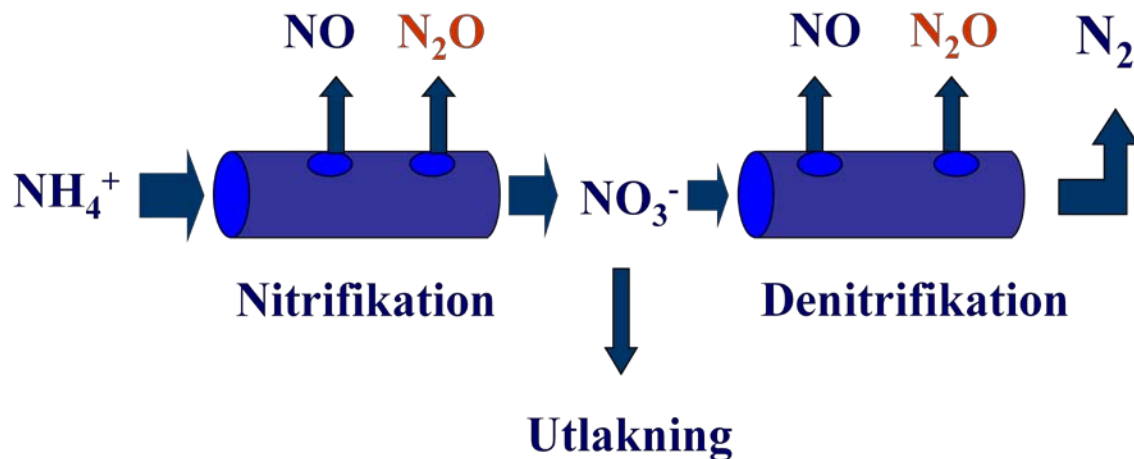
A. Beskrivningen av reglerande faktorer för lustgasbildning

Markfysikaliska och biologiska faktorer, exempelvis hydrologiska faktorer, jordart, markpackning och mullhalt.

Lustgas produceras biologiskt av svamp och bakterier i marken vid omvandling av kväveföreningar. Det handlar om två processer, den ena är nitrifikation som omvandlar/oxiderar ammonium (NH_4^+) till nitrat (NO_3^-) och den andra är denitrifikation som omvandlar/reducerar nitrat först till lustgas och sen till kvävgas.

Det mesta av markens kväve är uppbundet i dött och levande organiskt material, och blir åtkomligt först när det organiska material bryts ner och kvävet frigörs som ammonium. Genom nitrifikation oxideras ammonium till nitrat och processen kan utföras av svampar eller bakterier. Svampar utför så kallad heterotrof nitrifikation eftersom de behöver organiskt material för att få energi och byggmaterial till celler. Om heterotrof nitrifikation har någon funktion är osäkert eftersom man inte funnit att energin i processen kommer svampen till godo (Robertson & Groffman 2007). Heterotrof nitrifikation är inte vanlig, men till skillnad från autotrof nitrifikation kan även aminer och amider oxideras. Den uppträder framförallt och kan dominera när det finns mycket lättillgängligt organiskt material i marken, som efter tillförsel av stallgödsel till gräsmarker (Laughlin et al. 2009). Mest nitrifikation utförs av autotrofa bakterier som till skillnad mot svamparnas heterotrofa nitrifikation kan utvinna energi ur oxidationen och därför klarar sin energiförsörjning utan att bryta ner organiskt material. Autotrof nitrifikation sker i två steg av olika sorters bakterier där det första steget oxiderar ammonium till nitrit (NO_2^-) och det andra nitrit till nitrat (NO_3^-). Bakterierna tillgodogör sig i båda fallen den energi som frigörs, men för att få tillräckligt med energi och kunna växa måste de oxidera många molekyler ammonium och nitrit. Byggstenar till sitt cellmaterial tar de från luftens koldioxid, på liknande vis som växter gör. Båda sortens bakterier finns närvarande samtidigt i de flesta jordar men för att processen ska fungera måste bakterierna ha tillgång till ammonium samtidigt som det också finns syre i marken, eftersom oxidationen kräver syre. Syrebrist kan uppstå i jordklumpar med hög biologisk aktivitet som konsumerar syret eller genom att syre inte kommer ner i marken för att marken är genomvåt eller att markens porer har tryckts ihop av t.ex. traktorhjul (Sitaula et al. 2000., Ruser et al. 2006, Beare et al. 2009). Om mycket ammonium och lite syre finns närvarande bromsas nitrifikationen så att det istället för nitrit och nitrat kan bildas lustgas och kväveoxid. Det har liknats vid ett ”stopp” i röret vilket ökar trycket så att lustgas kan pysa ut, se figur 1 (Firestone & Davidson 1989).

”Hole in the Pipe”

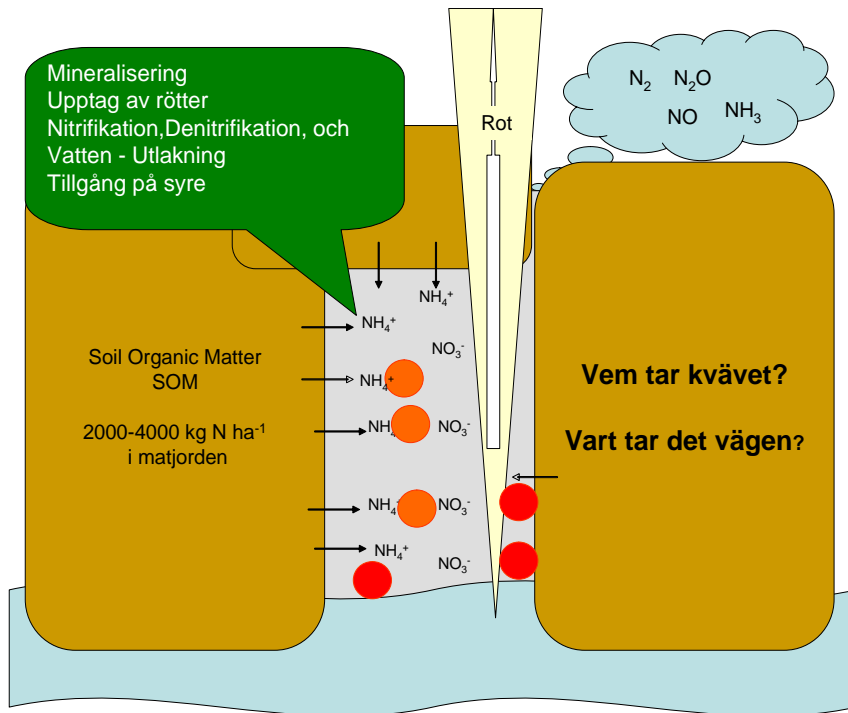


Figur 1. Baserad på Firestone & Davidson 1989. Här liknas processerna vid rör, och när trycket blir högt så pysar NO och N_2O ut.

Den andra processen där lustgas kan bildas är denitrifikation. Vanliga jordbakterier och svamp som lever på att bryta ner organiskt material kan vid tillfällen av syrebrist använda nitrat att andas med. Nitrat är syrerikt och kan fungera som elektronacceptor i cellandningen istället för syre. Nitratet omvandlas/reduceras först till N_2O och sen vidare till vanlig kvävgas (N_2). Bildning av kvävgas innebär en förlust av reaktivt kväve från marken. Omvandlingen av N_2O till N_2 sker med hjälp av ett enzym, N_2O -reduktas. De flesta svampar saknar N_2O -reduktas, varför svampars denitrifikation ger mycket N_2O (Shoun et al. 1992). Denitrifikation är möjlig först om nitrifikation har bildat nitrat och det finns nedbrytbart organiskt material som försör organismerna med energi. När det är brist på syre men inte helt syrefritt kan även bakteriers denitrifikation stanna vid lustgas och inte gå hela vägen till kvävgas. Det kan då avgå stora mängder lustgas till luften under en kort tidsperiod. Denitrifikation är den process som oftast producerar mest lustgas, men nitrifikationen kan vara avgörande eftersom det producerade nitratet behövs i denitrifikationen. Mikroorganismer som denitrifierar kan också omvandla befintlig N_2O till N_2 . Detta innebär att vissa marker kan utgöra sänkor för lustgas. Mark är dock en liten sänka jämfört med kemisk omvandling i stratosfären, där ozon är en viktig komponent.

Det är även många andra organismer som vill komma åt markens fria kväve (ammonium och nitrat), för att bygga cellmaterial. Växternas rötter (och dess symbios med svampar, mykorrhiza) genomväver jorden. Dessa har ofta en stor konkurrensförmåga och är effektiva på att ta hand om ammonium och nitrat för att transportera det vidare till bladen. Hur växtsamhället ser ut på platsen och konkurrensen mellan olika organismer kan avgöra storleken på lustgasavgång från mark.

För att få så lite lustgas som möjligt måste man undvika förhållanden med mycket fritt kväve när marken är våt och det finns färskt nedbrytbart organiskt material tillgängligt! Men processerna går inte att undvika helt, så nitrifikation och denitrifikation kommer alltid att tillföra atmosfären lustgas.



Figur 2. Många faktorer samverkar och avgör vad som händer med kvävet och vart det tar vägen. I marken finns kväve i många former, men bara lite är åtkomligt. Det mesta finns uppbundet i levande och dött organiskt material. Markens små hålrum (porer) kan vara luft- eller vattenfyllda. Marken kan vara genomvävd med aktiva rötter eller kanske nyplöjd med döda växtrester. Biologiska processer av många slag pågår i marken.

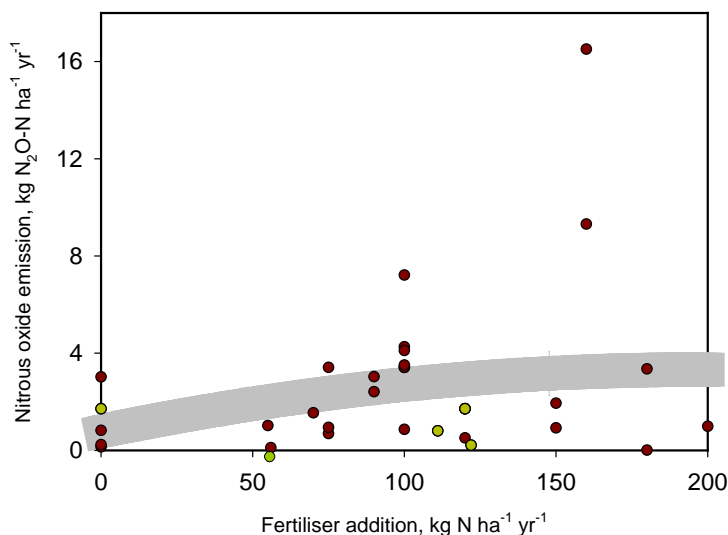
Jordens egna egenskaper påverkar också lustgasavgången. Strukturen kan vara lerig, sandig eller mittemellan, vilket har betydelse för hur stora porer som finns och markens vattenhållande förmåga. När porerna är många och små, som i lerjordar, ökar risken för syrefria ställen där lustgas kan bildas. Jordens organiska material kan binda kväve i humus som då inte blir tillgängligt för nitrifikation. På sikt kan dock det organiska materialet brytas ner och det frigjorda kvävet medföra ökad nitrifikation. En del jordar har ett litet innehåll av organiskt material och andra kan innehålla mer än 20 % organiskt material (så kallade mull- eller torvjordar). Andra egenskaper hos marken som kan påverka lustgasproduktionen är t.ex. tillgång till andra växtnärsämnen och markens pH-värde (vätejonkoncentration).

Det levande ekosystemet har en stor inverkan på lustgasproduktion. Genom växternas fotosyntes tillförs systemet energi, som andra lever på. Växternas rötter tillför nytt organiskt material, som ger mat till andra organismer i jorden - från mycorrhizasvampar som lever i

symbios med rötterna till markdjur och bakterier. Hela tiden pågår en omsättning av organiskt material. Nytt material tillförs och döda rester bryts ner varvid koldioxid frigörs och även den näring som varit uppbounden. När kväve frigörs kan det bli tillgängligt för antingen upptag för att bygga nytt cellmaterial eller så kan nitrifierande och denitrifierande organismer ta det och då finns risk för att lustgas bildas.

I jordbruket är risken för lustgasavgång stor när marken gödslas eller efter skörd då skörderester lämnas kvar. Då tillförs kväve i form av mineralkväve eller organiskt material. Växternas rötter påverkar också oorganiska förhållanden som vatten och näringstillgång i jorden samt markluftens sammansättning. Detta påverkar också förhållandena för lustgasproduktion. Om marken ligger bar eller plantorna är alldeles för små för att rotsystemet har hunnit genomväva jorden så blir mer av frigjort kväve tillgängligt för nitrifikation.

I bördig åkermark finns tonvis med kväve per hektar. Kväve kan ackumuleras genom gödslingar eller frigöras beroende på odlingsåtgärder. Markens bördighet är en viktig faktor som påverkar lustgasemissionen. Den lustgas som avgår i år beror därför av gödslingar och odlingsåtgärder långt tillbaks i tiden som överlagras varandra (Bakken & Bleken, 1998). Vid tillförsel av stora mängder N-gödsel ökar sannolikheten för att mängden tillgängligt kväve överskrider grödans förmåga att ta upp det, varvid det blir kväve över till nitrifikations- och denitrifikationsbakterier och N_2O -bildning. Grovt kan sägas att gödslad åkermark som inte är organogen i Europa avger $3 \text{ kg } N_2O\text{-N } ha^{-1} \text{ år}^{-1}$ vid odling av stråsäd, figur 3. Osäkerheten är stor, men oftast är avgången under $10 \text{ kg } N_2O\text{-N } ha^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Åsa Kasimir Klemedtsson, Energimyndigheten rapport från projekt P32120-1 2009).

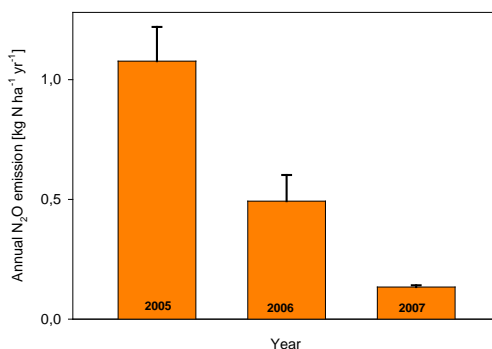


Figur 3. Sammanställning av publicerade mätdata från odling av spannmål och raps i norra Europa och Amerika, med en "naturlig" emission från gräsmarker på $0,3 \text{ kg } N_2O\text{-N } ha^{-1} \text{ år}^{-1}$ subtraherad. Gröna prickar utmärker mätdata från Sverige. Grått område visar medelvärde med standarderror.

I Sverige har det gjorts mätningar i några olika jordbrukssystem. På en sandjord i Halland uppmättes en avgång på i storleksordningen $2 \text{ kg } N_2O\text{-N } ha^{-1} \text{ år}^{-1}$ vid odling av stråsäd (Kasimir Klemedtsson et al. publicerade data). Lika mycket lustgas avgick oavsett om 120

kg handelsgödsel-N tillfördes eller ej. Detta innebär att det inte var gödslingen som orsakade emissionen, vilket är det som oftast annars anges som orsak till lustgasavgång. Kvävet som hamnar i lustgasmolekylerna måste istället ha haft sitt ursprung i markens uppbundna kväve.

Under de senaste tre åren har mätningar av lustgasavgång och nitratutlakning utförts på Hushållningssällskapets försöksgård Logården söder om Vänern i ett samarbete mellan Göteborgs Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet i Skara. På gården odlas grödor i en återkommande växtföljd i tre odlingssystem; konventionell, integrerad odling (en slags miljövänlig konventionell odling) och ekologisk odling. Data från mätningar i de två senare odlingssystemen finns och nyligen avslutades mätningarna som har haft stöd av Formas och EU (Nitro-Europe) (Kasimir Klemmedtsson et al. manuskript). Gården har lerjord. Därmed finns risk för en hög emission beroende på jordens små markporer och därmed höga vattenhållande förmåga, vilket i sin tur ökar risken för syrefria miljöer och denitrifikation. Trots att kväve tillfördes i mängderna 117, 128 och 65 kg N ha⁻¹ år⁻¹ var emissionen låg från vårvetet i ”integrerad” odling, i medeltal 0,6 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹ och figur 4 visar hur emissionen varierar mellan åren. Skördarna de tre åren var 5800, 3100 och 3400 kg TS kärnskörd och vi kan inte se ett mönster mellan gödsling eller skörd och lustgas. Att emissionen var så låg på Logården, trots lerjorden, kanske kan förklaras av att den är en växtodlingsgård utan djur och att man målmedvetet arbetar för att minska näringsförluster genom att låta marken vara beväxt så långt möjligt. Vår hypotes är att *kväveeffektiviteten i systemet är avgörande för lustgasavgångens storlek*.



Figur 4. Lustgasavgång uppmätt olika år i vårvete odlat i växtföljd efter åkerböna (integrerad odling²¹) på Logården (söder om Vänern) gödslat med handelsgödsel 117,128 och 65 kg N för respektive år. Mätning med fältkammare och gaskromatografi utfördes från april 2005 – mars 2006, april 2006 – mars 2007 samt april 2007 – november 2007 (medel över året för 6 kammare och standard error).

Mulljord, också kallad organogen jord, har pekats ut att ge särskilt hög lustgasavgång. Sådan jord är en parallell till dikad skogsmark. Mulljordar var från början våtmarker där det i blötan

¹ Integrerad odling är en metod för växtodling där handelsgödsel och bekämpningsmedel används men där miljöpåverkan minimeras i största rimliga utsträckning genom förebyggande metoder.

samlats organiskt material (torv eller gyttja) som förmultnar dåligt i brist på syre. Sådana marker är ofta bördiga beroende på att torven innehåller växtnäring som kväve vilket frigörs när dikningen gör att vattnet kan rinna bort och luft kommer ner i jorden och organismer bryter ner det organiska materialet. Tidigare har vi arbetat med mätningar också på en sådan jord. Om marken var permanent gräsbevuxen så avgick ca 1 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹ men om marken plöjs och stråsäd (korn) odlas så ökade avgången till 10 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹ (Kasimir Klemedtsson et al. 2009). Ännu mycket högre lustgasavgång har uppmätts då morötter odlades på marken (ca 26 kg N₂O-N ha⁻¹ avgick från juni till november). Orsaken till att det då blir särskilt hög lustgasavgång är att morötter kräver mycket jordbearbetning vilket frigör kväve. När vi inledde mätningarna trodde vi att återbeskogning skulle innebära låg lustgasavgång eftersom marken lämnats ifred, men den närliggande björkskogen som tidigare varit åker avgav mer lustgas än den odlade jorden, 19,4 ± 6,7 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹. Träden suger mycket vatten vilket gör att marken inte är så vattenmättad som den annars skulle varit. När syre kommer ner i jorden påskyndas nedbrytning av torven och kvävet kan bli till lustgas. Dessutom kan man iaktta att torvjorden höjs och sänks när det blåser och träden vajar i vinden vilket också innebär att marken syresätts. En annan orsak till hög lustgasavgång kan ha varit att markens pH-värde var lågt, mellan 5,9 och 3,6 där området med lägst pH-värde avgav 4 gånger mer lustgas än där det var som högst (Weslien et al. 2009). Mätningar på mulljord i Finland har också visat en hög lustgasavgång från både gräsbevuxen mark och åker med korn (8 och 11 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹ respektive) däremot skog gav en lägre lustgasavgång (4 kg N₂O-N ha⁻¹ år⁻¹) (Maljanen et al. 2003).

Övergripande beskrivning av växtföljers och jordbrukets nationella strukturs betydelse för lustgasavgång.

Atmosfärens koncentration av lustgas var på 1800-talet och tidigare runt 270 ppb och har därefter ökat och var 2005 uppe i 319 ppb (IPCC syntesrapport 2007). Orsakerna till ökningen ligger i förändring av jordbruket världen över. Efterfrågan på mat har gjort att mer land har lagts under plogen för att användas som jordbruksmark, vilket också maskineringen har gjort möjligt.

Under 1800-talets brist på åkermark i Sverige påbörjades dikningar i stor skala. Särskilt stora utdikningar gjordes runt slättsjöar som t.ex. Hornborgasjön i Västergötland och Tåkern i Östergötland. Dikningarna resulterade i ny, ofta bördig, åkermark. Mycket av den tidigare odlade marken har nu beskogats, men av Sveriges åkermark klassas nästan 10 % som organogen. Andra länder i norra Europa har också stor andel organogen mark, Vitryssland mest där 50 % av jordbruksmarken är av organogen karaktär. En omvandling av våtmark till jordbruksmark ökar lustgasavgången.

För att öka skördarna har tillförsel av växtnäring till åkrarna kunnat göras genom guano (import av fågelspillning från f.a. Sydamerika) och sedan genom handelsgödsel som tillverkas i den s.k. Haber Bosch-processen. Ökad odling av växter i symbios med kvävefixerande organismer har också tillfört kväve till marken. Globalt är kvävefixeringen snart fördubblad, där jordbruket står för det mesta. Av tillfört gödselkväve kan upp till 30 % denitrifieras till kvävgas samma år, därmed ökar också avgången av lustgas. Den ökade kvävetillförseln har

inneburit att skördarna stadigt kunnat öka under 1900-talet, vilket är grund för ökad animalieproduktion. Tidigare var återförsel av stallgödsel till åkern viktig för växtnäringens försörjning men i.o.m. möjligheten att köpa handelsgödsel kunde växtodling frikopplas från djurproduktion. Rena växtodlingsgårdar kan producera foder som säljs till djurproducerande gårdar på annat håll. Det möjliggör stora djurbesättningar vilka utsöndrar större delen av fodrets näring i urin och fastgödsel, och en mindre del ”fastnar” i kött, mjölk och ägg. Stallgödseln eller flytgödseln behöver spridas ut på omgivande åkermark vilken ibland fått ta emot stora mängder växtnäring.

Användning av handelsgödsel och olika bekämpningsmedel har också möjliggjort att odla samma gröda år efter år, en ensidig växtföljd som oftast utgörs av stråsäd, och hur det påverkar lustgasemissionen är oklart. En mindre del av svenskt jordbruk använder ekologiska metoder där näringens försörjning kräver att klövervallar och baljväxter ingår i en mer varierad växtföljd. Men även det konventionella jordbruket odlar vallar och fånggrödor för att mer effektivt samla näringen i marken så att den inte förloras till luft och vatten. Påverkan på lustgasavgången är inte helt lätt att avgöra, så länge som vallen växer är lustgasemissionen liten men vid vallbrott och efterföljande gröda blir emissionen högre. Istället för att studera små avsnitt i odlingen (som gödsling si eller så), som de flesta hittills gjort, behöver hela växtföljder, odlingssystem och landskap inkluderas i studier av lustgas.

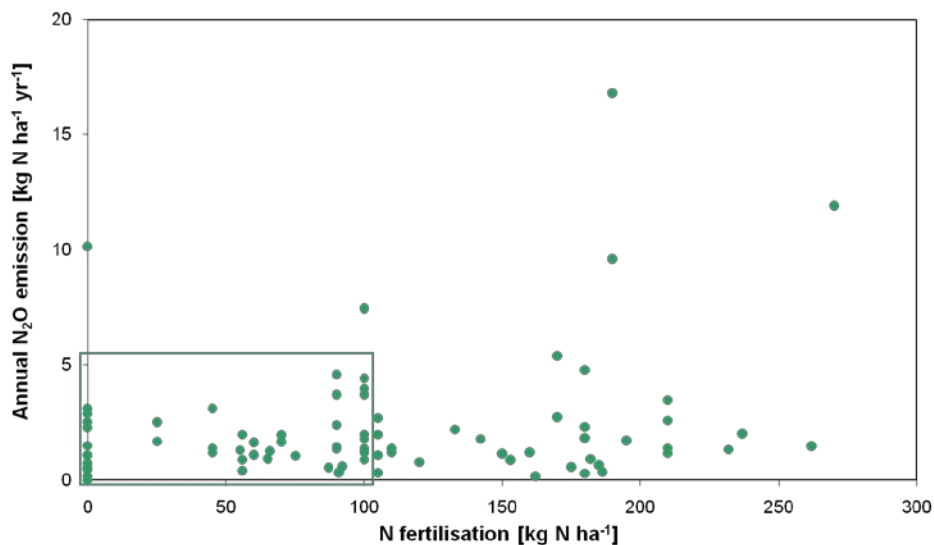
Jordbrukets mekanisering har ”frigjort” arbetskraft som flyttat till städerna. En omflyttning av befolkningen har ägt rum, från land till stad där nu större delen av befolkningen bor. Varje år producerar lantbruket mat som konsumeras i staden där den mesta växtnäringen hamnar i avloppen (som urin och bajs) och reningsverken. Växtnäringen kommer inte jordbruket tillgodo i de flesta fall. Denna ”decoupling” av näringens kretslopp innebär att nytt kväve måste tillföras till odlingarna genom nyfixering av kväve medan avloppsverken gör allt de kan för att ”rena” bort kvävet från vattnet, men trots det rinner 25 % av kvävet igenom och göder recipienten.

Jordbrukets maskiner har med tiden ökat i storlek, och i alla typer av jordbruk används traktorer. Det leder också till problem som markpackning vid körning på våt jord, vilket förutom att vara negativt för rottillväxten också har visats ge mer lustgas (Ball et al. 1999).

Den rena växtodlingsgården har lättare att odla med näringseffektivitet vilket ger förutsättning för en låg lustgasavgång. I djurhållning finns det däremot många tillfällen till hög emission, som i stallar, gödselbehållare och vid spridning av gödsel på åkern. Ifall djuren hålls utomhus på bete blir det särskilt hög emission vid utfodringsplatsen, i dräneringsvatten vid vattenho och gödselhantering (Matthews et al. 2009). Eftersom djuren urinerar och gödslar fläckvis på marken blir det höga koncentrationer kväve just där, varför också ammoniak avgår som indirekt kan bli till lustgas senare på andra platser. Det som inte binds in i nedbrytande organismer kan nitrifieras och sedan denitrifieras. Det innebär att sådana platser är ”hotspots” för lustgasavgång.

När de första fältmätningarna gjordes på 1980-talet av lustgasavgång från åkermark var det för att studera effekter av gödsling, eftersom lättillgängligt kväve antogs vara det som ger upphov till lustgas. Och resultaten visade också att avgången ökade strax efter gödselspridningen för att sen avta med tiden. Mätningarna pågick ofta så länge som lustgasavgången var någorlunda hög, några veckor eller månader, och man ansåg sedan att gödslingseffekten avtagit. Bouwman visade att mätningar bör pågå längre tid än så, minst ett år, för att data ska kunna användas för att ta fram emissionsfaktorer (Bouwman 1996). Sammanställningen visade att lustgasavgången ökar linjärt med givan av gödselkväve till åkern där 1,25 % av gödselkvävet hamnar i lustgasmolekyler. Men data visade också att en kontrollåker som inte gödslades fick en lustgasavgång i storleksordningen $1 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, vilket Bouwman ansåg vara en bakgrundsemission.

De flesta fältmätningar av lustgas har gjorts på gräsmark och i odling av spannmål. En sammanställning av samtliga då kända mätdata gjordes av Stehfest och Bouwman (2006). Det är denna sammanställning som är underlag till IPCC's nya emissionsfaktor. Data är av olika kvalitet så om man väljer att bara ta med data från odling på minerogen mark av spannmål och raps (som det finns ytterst lite av) i tempererade system gödslat enbart med handelsgödsel där mätningar pågått minst 8 månader och ingen dicyandiamid har använts erhålls datamaterialet som visas i figur 5. Det finns data där gödselmängderna är betydligt högre än vad som visas i figur 5, men det är inte relevant i Sverige.



Figur 5. Lustgasemission från minerogen mark med stråså eller raps presenterad i relation till tillförd handelsgödsel-kväve. Urval av data från litteraturen samlade av Stehfest och Bouwman (2006), från tempererat klimat, både maritimt och kontinentalt med mätningar minst 8 månader, där emission justeras till per år, <http://www.mnp.nl/en/publications/2006>. Runt varje punkt är det en stor variabilitet som i en del mätningar anges till ca 100 % CV (Coefficient of Variability).

Stehfest och Bouwman (2006) fann i de statistiska beräkningarna att när under 100 kg N tillfördes per hektar och år var sambandet mellan tillförd kväve och lustgasemission mycket svagt, vilket också kan ses rent visuellt i rutan, figur 5. Eftersom vi vet att det är kväve som

driver lustgasbildning kan man först bli förvånad, men det finns flera förklaringar till varför det kan bli så:

- gödslingskvävet är bara en del av markens kväve som kan bli till lustgas. Stor betydelse för kvävetillgängligheten har frigörelse av kväve uppbundet i markens organiska material. Denna mängd kan variera mycket och det syns inte på x-axeln i figur 5. Uppgifter på markens kväveförråd och kvalitet ges ibland, nästan aldrig hur stor nettotillförseln av kväve är när bortförsl med skörden beaktas och än mer sällan ges en historisk beskrivning av odling och gödslingar på platsen som kan förklara höga eller låga emissioner.
- vid låg kvävegiva tar grödan effektivt upp kvävet och då blir det bara lite över för bakterierna
- ett effektivt odlingssystem som fångar kvävet i växande och senare skördad gröda samt i skörderester kan ge lite lustgas även vid högre kvävegivor
- det finns fler faktorer än kväve som är avgörande för N₂O-emission, som organiskt material, syre, vatten, temperatur och markens pH-värde
- mätfel. Med den vanligast förekommande mätmetoden (fältkammare) är det svårt att hinna få ut dem fort nog efter gödselspridningen för att fånga den omedelbara ökning av emission, som blir efter bara någon timme och därför underskattas emissionen som beror av gödsling (Flechar et al. 2007). Å andra sidan har påpekats att viljan att fånga de stora emissionerna som förväntas efter gödsling, skörd och tjällossning gör att mätningarna ofta koncentreras till just dessa tidpunkter vilket därför gör att emissionen överskattas. Över en längre period som ett år har den initiala emissionstoppen efter gödsling dock mindre betydelse för total avgång.

Vid tillförsel av stora mängder N-gödsel ökar sannolikheten för att mängden tillgängligt kväve överskrider grödans förmåga att ta upp det så att nitrifikations- och denitrifikationsbakterier istället kan ta hand om det och därmed bilda en del N₂O. Men som figur 1 visar; gödslingar över 200 kg N ha⁻¹ kan ge lika låg lustgasemission som när inget gödsel tillförs.

När blöt stallgödsel tillförs uppstår de bästa förhållandena för denitrifikation. Rötning av stallgödsel minskar mängden lättillgängliga kolföreningar och kan därför vara en åtgärd för att minska avgången av lustgas (Laughlin et al. 2009). Ofta är bonden osäker på värdet av gödseln som växtnäringskälla så därför tillförs mycket stallgödsel och dessutom i kombination med handelsgödsel. Arbete pågår för att hålla nere gödselnivåerna på grund av EU's nitratdirektiv där olika regler anger hur spridning av stallgödsel får ske och när. Det finns även tekniska åtgärder för att dosera optimalt giva till olika delar av fältet så att överskotten kan minskas som till exempel användning av GPS-teknik.

Att odla marken och låta växter ta upp kvävet (istället för nitrifikations- och denitrifikationsbakterier) ger mindre lustgas än att låta marken ligga naken, trädad (Duxbury

et al. 1982; Wagner-Riddle et al. 1996; Simojoki & Jaakola 2000). Tidigare gavs EU-bidrag för att tråda marken, antingen gräsbevuxen eller bar i högst ett år. Under tiden som marken är gräsbevuxen hålls lustgasemissionen oftast på en låg nivå. Men förutsättning för tillfällen med hög lustgasavgång finns den tid som marken inte är bevuxen, bar tråda eller efter höstbearbetning av tråda inför sådd av ny gröda på våren. Jordbearbetningen i sig, som plöjning, frigör kväve som varit uppbundet i både levande och dött material, och eftersom det inte finns några växter som konkurrerar om kvävet med bakterier och andra markorganismer så kan det bildas lustgas. Men det är inte säkert att det blir en stor emission eftersom andra faktorer också inverkar, vatten i marken är här den viktigaste faktorn. En luckring av marken kan innebära syresättning som ger en mindre lustgasbildning än om marken efter skörden blivit kompakterad av traktorkörning och lämnats på det viset (Ball et al. 1999).

Hur N₂O-avgång kan beräknas

Åtgärder för att minska lustgasavgången kräver att emissionen kan uppskattas. Annars vet man inte om åtgärden gav någon effekt eller ej. Grunden för alla beräkningsmetoder är mätningar i fält, med bra genomförande och teknik för att ge data av god kvalitet. IPCC's beräkningsmetod är den som är mest välkänd, och här uppskattas emission från åkermark som en funktion direkt av kvävegivan. I verkligheten finns dock inget statistiskt samband mellan en låg kvävegiva och lustgasemission, utan först vid mycket höga givor ökar lustgasbildningen (Snyder et al. 2009). Men eftersom metoden är enkel så har många livscykelanalyser använt IPCC's emissionsfaktor på 1,25 %, eller den nya faktorn 1 %, av kvävegivan som mått på lustgasemission. Sällan redovisas det osäkerhetsspänn som IPCC anger, som att emissionen kan vara någonstans mellan 0,3 och 3% av kvävegivan. Metoden underskattar ofta emissionens storlek och speglar inte hur stor emissionen är från enskilda fält. Men metoden pekar på att mer kväve i systemet ökar sannolikheten för lustgasbildning. Genom att koppla global lustgasemission till ökningen av reaktivt kväve (ökad kvävefixering) behövde man inte hitta varje plätt som avger lustgas, en metod föreslagen av Crutzen et al. (2008). Med den metoden kan lustgas uppskattas från odlingar som förorsakar ökad kvävefixering, men man kan inte se var och när emissionen sker. Kvävefixering innebär både biologisk kvävefixering samt handelsgödseltillverkning, och lustgasemissionen blir 3-5% av fixerat kväve. Här är det tillförsel av nytt reaktivt kväve till ekosystemet i stort som är metodens bas, inte gödning till enskilda fält, varför den inte kan ange var och när emission sker. Metoden pekar på att mer kväve i ekosystemet ger mer lustgas, och skulle t.ex. kunna användas för att beräkna effekt av minskad eller ökad handelsgödselanvändning.

Eftersom lustgasbildningen är komplex har försök gjorts att inkludera andra påverkansfaktorer än kvävetillförsel i beräkningar. Som exempel har två statistiska metoder samt modellberäkning med PnET-N-DNDC-modellen beskrivits (Freibauer & Kaltschmitt 2003, Stehfest & Bouwman 2006, Li et al. 2000). Dessa modeller har utvecklats och kalibrerats med fältdata från Tyskland. Modellerna beräknar stor lustgasemission om det finns mycket fritt kväve i jorden och vid förekomst av tjällossning. De lustgasemissioner som beräknas med modellerna är mycket högre än vad som uppmätts från svenska fältmätningar. Det är därför tveksamt om modellerna kan användas för svenska förhållanden. På många håll pågår arbete för att utveckla mer processbaserade modeller. I Sverige pågår mätningar samt

utveckling av en modell kallad *Coup* (Norman et al. 2008). Coup beräknar processer i markväxt-systemet och har hittills mest använts i forskningssyfte för att förstå processerna, men kan nu bli till ett verktyg för uppskattning av lustgasavgång i olika system, både skogsmark och jordbruksmark. För en mer detaljerad genomgång av metoderna hänvisas till rapporten: Åsa Kasimir Klemedtsson, Energimyndigheten rapport från projekt P32120-1 2009.

För att stabilisera den pågående klimatförändringen på högst 2°C krävs stora utsläppsminskningar. Den industrialiserade världen behöver enligt IPCC minska sina utsläpp av växthusgaser minst 80 % till 2050. Men det går inte att vänta, utsläppen måste begränsas snarast för att undvika misslyckande. Den svenska regeringen har satt som etappmål för Sverige en minskning på 40 % till 2020. EU's mål är 20 % minskning, 30 % om också övriga världen ställer upp på stora minskningar vid Köpenhamnsmötet i december 2009. Alla samhällssektorer har ansvar att minska sina utsläpp enligt målen, så också jordbruket. Förändringens röda matta är inte utrullad, det blir en svår och utmanade resa att få ner lustgasemissionen från jordbruket. Några åtgärder finns listade här nedan. Hur långt man kan nå med förslagen finns ännu inga siffror på, men den sammanlagda effekten av åtgärderna måste resultera i stora begränsningar av utsläppen för att det ska vara möjligt att nå fram till de satta målen. Det betyder att alla åtgärder som kan minska utsläppen måste beaktas eftersom det inte finns en enda stor åtgärd som totalt kan ge den reduktion av lustgasemission som krävs.

B. Värdering av pågående växtnäringsåtgärder, samt åtgärdsförslag som hittills tagits fram inom Jordbruksverkets arbete med handlingsprogrammet

Lagstiftningsåtgärder:

Mängd kväve som får tillföras via gödselmedel

Påverkan av gödsling på emission av lustgas kan delas upp på kort och på lång sikt. Kvävetillgängligheten är avgörande för lustgasbildning (tillsammans med andra faktorer). Efter gödsling ökar därför lustgasemissionen under några veckor för att snart återgå till en låg nivå. Stora emissionstoppar kan, beroende på omständigheter, uppstå alla tider på året framför allt på vårvintern. Gödsling med måttliga mängder kväve ökar inte emissionen jämfört med om samma åker varit ogödslad, se figur 1. Många studier visar att tillförsel av handelsgödselkväve i mängder under 150 kg N knappast ökar lustgasemissionen, men om höga mängder kväve tillförs då ökar emissionen. Här måste man hålla i minnet att jämförelsen görs med en åker som inte gödglas det år som mätningen gjordes, men åkern har i många fall fått regelbunden gödsling alla år innan. En åker som inte gödglas i år har antagligen en högre emission än ett "naturligt" landskap. Vill man veta hur jordbruket i sig påverkar lustgasemissionen måste en naturlig bakgrundsemission uppskattas, base-line. Jordbrukets upprepade gödslingar har byggt in kväve i markens humusmaterial och det kan finnas tonvis av kväve på varje hektar. I jordbrukssystemet finns nu mycket mer kväve i omlopp än tidigare. Tillförseln av nytt reaktivt kväve genom handelsgödseltillverkning och odling av kvävefixerande växter har nästan fördubblats sedan 1800-talet. Detta kväve ger lustgasbildning på åkrar, i djurhållning och i omgivande ekosystem och det är inte helt lätt att hitta alla källor och påföra dem en rättvis storlek på emissionen.

Gödsling med organiska gödningsmedel ger högre lustgasavgång jämfört med oorganiska (handelsgödsel) (Kasimir Klemedtsson 2001). Ofta ses ett logaritmiskt samband mellan kväve i stallgödsel och lustgasemission vilket innebär att en liten sänkning ger stor effekt på lustgasen. Att begränsa mängden organiskt gödsel, genom att minska övergödsling, har en stor potential att minska lustgasemissionen.

Åtgärden beskrivs som; Kväve från gödselmedel får inte tillföras utöver grödans behov på den aktuella växtplatsen. Hänsyn ska tas till bl.a. mark-förhållanden och växtföljd vid beräkning av tillförseln.

Min bedömning är att kväveeffektivitet i odlingen har god förutsättning att hålla lustgasemissionen låg. Om åtgärden omedelbart minskar emissionen är mer osäkert eftersom grödor i Sverige redan tillförs kväve under gränsen för övergödsling, och det där finns andra påverkansfaktorer som tillsammans med kvävetillförseln påverkar emissionen. Om tillförsel av nytt kväve i handelsgödsel begränsas ännu mer kommer emission att bli lägre på *lång sikt.*, några år till ett decennium. En begränsning av tillförsel av organiska gödselmedel kan ge

omedelbar och stor minskning av lustgasemission från marken, då det samtidigt tillförs blött nedbrytbart organiskt material.

Tillförsel av stallgödsel och andra organiska gödselmedel

Se ovan. Blöt gödsel med lättillgängliga kolföreningar har goda förutsättningar för nitrifikation och denitrifikation efter spridningen. En begränsning av mängden fosfor per hektar och år skulle kunna innebära en begränsning av mängden djur vilket är en åtgärd som också kan begränsa lustgasemissionen. Men enligt SCB's statistik är det endast Jönköpings, Kalmar och Hallands län som kraftigt överstiger den föreslagna gränsen om högst 22 kg fosfor per hektar (Jordbruksstatistisk årsbok, tabell 12.4). Tabell 12.3 visar också att större delen tillförs som oorganiskt gödsel. Detta är en befintlig åtgärd. För att det ska bli en begränsning i mängden lustgas måste mängden stallgödsel och handelsgödsel per hektar begränsas så att "övergödsling" undviks.

Åtgärden ger troligen ingen större förändring av tillförsel av stallgödsel och andra organiska gödselmedel eftersom gränsen är satt till 22 kg fosfor per hektar, samt att oorganiskt gödsel som tillförs samtidigt inte uppmärksammas.

Men om tillförsel av stallgödsel och organiska gödselmedel verkligen minskas så blir det både en omedelbart minskad emission och en reduktion på lång sikt.

Spridningsförbud och restriktioner för handelsgödsel, stallgödsel och andra organiska gödselmedel under vintern

Halva årsemissionen av lustgas kan ske under vintern eller i samband med tjällossningen. Under den här tiden bildar bakterierna en stor andel lustgas p.g.a. markfaktorer som framförallt kyla och hög vattenhalt. Dessutom är konkurrensen om kvävet låg eftersom marken antingen ligger bar eller växterna har en mycket låg tillväxt. Nedbrukning av grüngödselgröda bör ske på våren för att kvävet ska bli tillgängligt för grödan och inte förloras till omgivningarna (Korsaeth et al. 2002). Även om inget gödsel tillförs under vintern kommer kväve att bli tillgängligt från mineralisering av uppbundet kväve, så vinteremissioner kommer ändå att uppkomma.

Gödsling under vintern bör undvikas då förutsättning för lustgasbildning är hög och dessutom kan tillfört kväve rinna bort från åkern med risk för höjd lustgasbildning nedströms i åar, sjöar och hav. Åtgärden ger sannolikt en stor omedelbar minskning av lustgasemissionen.

Eftersom det redan finns spridningsförbud under vintern skulle vi kunna ta reda hur stor minskning av lustgas det medfört. Det kan säkert beräknas med modeller som Coup.

Förbud mot spridning av gödselmedel på vattenmättad, översvämmad, snötäckt, frusen (med vissa undantag) mark

Se ovan. På en helt vattenmättad mark hämmas nitrifikationen och då blir följden en låg denitrifikation, varför lustgasemission från permanent våta marker är låg. Fluktuerande vattennivåer kan däremot ge mycket stor lustgasemission. Om nitrat tillförs en våt mark finns de bästa förhållanden för denitrifikation, men hur mycket som blir till lustgas varierar eftersom denitrifikationen kan bli mer fullständig till N_2 i vattenmättade miljöer, en förlust av reaktivt kväve. Vid spridningstillfället blandas gödseln med syre som kan innebära ökad N_2O -bildning och man får en emissionstopp. Körning med traktor på blöt mark är dessutom en risk eftersom den orsakar kompaktion vilket visats öka lustgasavgången.

Åtgärden att förbjuda spridning på vattenmättad och frusen mark har stor förutsättning att omedelbart minska risken för lustgas på åkermarken och senare i omgivningarna.

Eftersom det redan finns ett sådant spridningsförbud skulle vi kunna ta reda hur stor minskning av lustgas det medfört. Det kan säkert beräknas med modeller som Coup.

Spridningsrestriktioner för stallgödsel och andra organiska gödselmedel under hösten

Spridning får bara göras inför höstsådd eller i växande gröda.

Det är viktigt att kväve som tillförs på hösten inte är större än vad grödan kan ta upp under hösten eftersom ”överblivet” kväve riskerar att omvandlas till lustgas. För att ge lägre lustgasemission behövs troligen också en begränsning av mängd N som får spridas på hösten.

Gäller åtgärden också för nedbrukning av grön gödselgrödor? Korsæth et al. (2002) visade att nedbrukning av grön gödselgrödor under tidig höst gav hög kvävetillgänglighet och jag förmodar en hög lustgasemission, däremot nedbrukning på våren innebar att frigjort kväve snart togs upp av den nya grödan, vilket troligen ger en kort men övergående risk för lustgasemission jämfört med ifall kvävet frigjorts från det inkorporerade organiska materialet under vintern. **Forskningsbehov**

Att begränsa spridning av organiska gödselmedel under hösten medför med stor säkerhet en omedelbar begränsning av lustgasemissionen. Åtgärden inkluderar dock inte förbud mot spridning av handelsgödsel under hösten, sådan spridning är också orsak till vinteremission och har därmed en potential att öka lustgasemissionen. Inte heller begränsning av tidpunkt för nedbrukning av grön gödselgrödor finns med som åtgärdsförslag, vilket kan ha stor påverkan på lustgasemissionen, men osäkert hur mycket.

Nedbrukning av gödsel

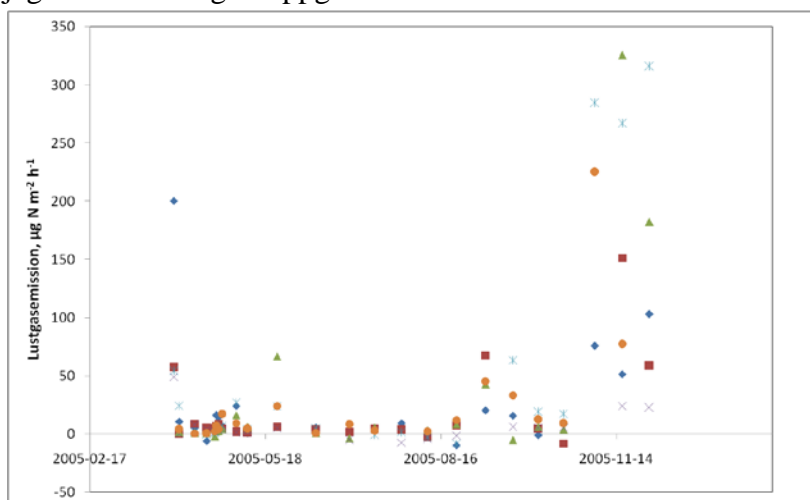
Åtgärden att mylla ner gödseln i marken har som främsta syfte att minska ammoniakförlusterna.

Denna åtgärd kan leda till kortvarig hög lustgasemission efter spridningen, eftersom risk för syrebegränsande förhållanden strax under ytan uppstår p.g.a vått kol- och kväverikt material som används av syreförbrukande organismer. Jordbearbetningen i sig tillför dock syre, men effekten är troligen kortvarig. Det är dock viktigt att kvävet tillförs effektivt och kommer den växande grödan tillgodo eftersom utspritt kväve (från t.ex. ammoniakförluster) kan ge lustgas senare.

Åtgärden i sig ökar lustgasemissionen i ett kort perspektiv men kan i ett längre perspektiv ge lägre emission eftersom den s.k. indirekta emissionen hålls låg (Weslien et al. 1998). Här kan man diskutera kort och långvarig påverkan. Det är troligen gödslingen i sig som har större påverkan på lustgasemissionen än hur spridningen utförs.

Höst- och vinterbevuxen mark, eller obearbetad till sent på hösten

Korsaeth et al. (2002) har visat genom modellberäkning att nedplöjning av grön gödsel bör ske på våren alternativt sent på hösten för att nitratutlakningen ska vara låg, tidig höstplöjning bör undvikas. Nitratutlakning är en fingervisning om att även lustgasemissionen kan bli stor. Bar, trädad jord ger mycket höga lustgasemissioner jämfört med bevuxen mark, även när den inte gödslas (Henault et al. 1998). Jordbearbetning medför ökad mineralisering och frigörande av uppbundet kväve som kan nitrifieras o.s.v., men inte alltid. En åker med åkerböna plus fånggröda (engelskt rajgräs) under sommaren gav hög lustgasemission under hösten efter att marken behandlats med glyfosat men ingen jordbearbetning, figur 6. Orsaken var troligen de kvarlämnade skörderesterna med tillgängligt kol och kväve samtidigt som det var blött, och alla levande rötter avdödade. Om glyfosat i sig har någon påverkan på lustgasproduktion har jag inte hittat någon uppgift om.



Figur 6.

Marken bör vara bevuxen så långt det går för att undvika höga lustgasemissioner.

Lagringskapacitet för stallgödsel

Åtgärden innebär att stallgödsel kan sparas och spridas när kvävet bäst kan tillgodogöras grödan, så att spridning vinter och tidig vår kan undvikas, se ovan.

Lagringsbehållarnas konstruktion och svämtäcke

Att undvika läckage är också viktigt för en låg lustgasemission. Svämtäcken håller ammoniak och metanförluster låga, men kan däremot orsaka höga lustgasemissioner. I flytgödseltanken är miljön anaerob vilket hindrar nitrifikation varför ingen lustgas bildas i tanken. Finns det inget täckmaterial eller skorpa blir lustgasemissionen låg jämfört med ifall det finns en skorpa på flytgödseltanken. I skorpan kan det bildas aeroba platser där gödslets ammonium kan nitrifieras samtidigt som det är gott om anaeroba platser där denitrifikation kan äga rum. Sommer och Petersen (2002) rapporterar höga lustgasemissioner från flytgödseltankar där en skorpa har bildats, upp till $25 \text{ mg N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Om tanken täcks med ett poröst material som t.ex. halm uppstår på samma sätt miljöer där stora mängder lustgas kan bildas särskilt under torra perioder. Lagringsbehållares konstruktion ligger utanför detta uppdrag, men är annars intressant för att begränsa lustgasemissionen.

Miljöersättningar och investeringsstöd:

Odling av fånggrödor och vårbearbetning

En variant av stödet är att fånggrödorna får brytas sent på hösten. Antingen sprutas de ned eller bryts mekaniskt och växtmaterial kan tillföras marken. Hög lustgasavgången kan då förväntas. Se ovan om vinteremissioner och höst-/vinterbevuxen mark.

Beväxt mark och jordbearbetning nära sådd måste till för att hålla lustgasemissionen nere.

Skyddszoner

6-20 m breda skyddszoner längs vattendrag syftar till att minska fosforförlusterna. Växtligheten i dessa zoner kan också ta hand om kvävet, vilket minskar lustgasemissionen, men kvävet slutliga öde avgör hur stor lustgasbildningen blir totalt över en längre tid. Om zonen blir kvävemättad är risken stor för hög lustgasemission i zonen eller genom kväveläckage genom zonen, t.ex. alkärr. **Forskningsbehov**

Våtmarker

Emission av växthusgaser (CO₂, CH₄ och N₂O) från dikad organogen mark i Sverige har beräknats vara i storleksordningen 10 % av alla växthusgasemissioner från mänsklig verksamhet i Sverige. Om spannmålsodling ersätts med gräsvall kan vattennivån hållas högre och lustgasemissionen blir 1/10 av emissionen innan (Kasimir Klemedtsson et al. 2009) och ännu större skillnad blir det ifall hackgrödor som potatis och morötter odlats tidigare. Höjs vattennivån så att den är i markytan eller ovanför blir lustgasemissionen försumbar, men metanemissionen ökar. Koldioxidemissionen är på liknande vis som lustgasemissionen avhängig dikningen. Summan av alla tre växthusgaserna blir en reduktion med 50 % vid dränkning av organogen åkermark (NV rapport 5132).

Anläggning av våtmarker på mineraljordar har inte samma dramatiska effekt på lustgasavgången. Här handlar det mer om kväveretention, att kvävet i vattnet tas upp av växter eller denitrifieras. Eftersom bottensedimenten är kolrika och syrefattiga i någorlunda stillastående vatten kan denitrifikation bortföra kväve till N₂. Hur stor del som blir till N₂O, varierar och är svårt att ge siffror på. Sammanfattning om kväve och lustas i sjöar och vattendrag finns i MINT-rapporten (Nordin m.fl. 2009)

Permanent höjning av grundvattennivån på dikade organogena marker begränsar lustgasemissionen stort. Överföring av årliga grödor till permanent liggande vall är en minskning av lustgasemissionen i storleksordningen 90 %, men dränkning tar troligen bort lustgasen helt. Anläggning av våtmarker på mineraljordar ökar kväveretentionen något, men oklart hur lustgasemissionen påverkas.

Miljöskyddsåtgärder

För att minska växtnäringsförluster bl.a. växtodlingsbalans, markkartering och jordartsanalys, flytgödselanalys.

Låga växtnäringsförluster har förutsättningar att ge lägre lustgasemission. Men hur långt man når med att minska lustgasemissionen är svårt att bedöma. För resonemang om en naturlig bakgrundsemission se s. 23. **Forskningsbehov**

Vallodling

Det är känt att perenna grödor ger mindre lustgas än årliga. Perenna grödor som vall har ett rotsystem som genomväver jorden, vilket gör det effektivt att ta upp kväve som blir tillgängligt. För organogena jordar är detta tydligt, Kasimir Klemedtsson et al., 2009. Samma som ovan under miljöskyddsåtgärder. **Forskningsbehov**

Skatt:

Skatt på kväve i mineralgödsel

En minskad tillförsel av reaktivt kväve kan minska lustgasproduktionen totalt sett någonstans i kvävet kretslopp. Vidare minskar lustgasavgången från tillverkningen av handelsgödsel. En begränsad användning av handelsgödsel kan medföra att kvävet som redan finns i de organiska gödselmedlen anses viktigare och att kvävekretsloppet beaktas mer noggrant.

Åtgärden kan minska användningen av handelsgödselkväve vilket på lite längre sikt är mycket viktigt för att minska lustgasavgången. För att få effekt och ge minskad lustgasemission måste handelsgödselanvändningen minska.

Rådgivning:

Greppa Näringen

Behovsanpassning av gödselgivorna och effektivare utnyttjande av växtnäringen i stallgödsel har goda förutsättningar för att minska och hålla lustgasemissionen nere. Hur långt man når med att minska lustgasemissionen är svårt att bedöma. **Forskningsbehov**
Klimat och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60 bilaga B24) visar på att ett förändrat klimat troligen kommer att innebära ett ökat behov av kvävegödsling för att nå samma proteinhalter som idag. Vad händer då med lustgasemissionen? Den ökar troligen.

Kommande ändringar av föreskrifter och landsbygdsprogrammet och föreslagna åtgärder i BSAP

Begränsad mängd kväve som får tillföras via gödselmedel har förutsättning att ge minskad lustgasemission om tillförsel idag är >200 kg N och den minskar till under 150 kg N. Åtgärder för en ökad kväveeffektivitet bör vara viktigt för lantbrukaren. Spridning av gödsel utanför växtsäsong bör undvikas, precis som föreslås, eftersom kvävet då blir tillgängligt för lustgasbildning i mycket större grad. Skyddsavstånd till vattendrag är bra så att gödsel möjligen kan komma grödan tillgodo och inte spillas i "onödan".

För Landsbygdsprogrammet föreslås höjning av ersättningsnivån för odling av fånggrödor, vårbearbetning, skydds zoner längs vattendrag. Ersättning föreslås för skydds zoner på erosionskänslig mark. Mer våtmarker och dammar föreslås, och ersättning för investering. Dessutom föreslås ersättning till reglerbar dränering och utvidgning av "Greppa Näringen". Om de olika stöden leder till ökat "fasthållande" av kvävet i jordbruket minskar troligen lustgasemissionen totalt sett, hur mycket är svårt att bedöma. **Forskningsbehov**

Vidare föreslås åtgärder kopplade till BSAP (Baltic Sea Action Plan)

Förbud mot spridning av stallgödsel inför sådd av höstsäd. Åtgärden kan begränsa vinteremission av lustgas om inte lantbrukaren kompenserar med att tillföra handelsgödsel istället, vilket inte finns med i åtgärdsförslaget.

Reducerad jordbearbetning. Har i försök gett lägre lustgasemission. Men hur en ökad användning av Roundup och andra kemiska medel påverkar lustgasemissionen har jag inte sett några uppgifter på. **Forskningsbehov**

Behovs- och platsanpassad gödsling. Bra, ger lägre emission då ”överdriven” gödsling kan undvikas.

Rötning av stallgödsel. Kan ge minskad lustgasproduktion i fält efter spridningen pga att lättillgängliga kolföreningar konsumerats i rötprocessen och att kvävet föreligger som växttillgängligt ammonium. Lustgasemissionen minskar något, men det är inte fråga om 40 % minskning.

Preliminära förslag i handlingsprogrammet

1. Öka andelen perenna grödor på organogena jordar. 2. Höja vattennivån på organogena jordar.

Dessa förslag hänger ihop då en höjd vattennivå och gräsmark ger lägre emission av lustgas jämfört med odling av spannmål och hackgrödor. Den totala emissionen av växthusgaser blir troligen lägst då vattennivån är strax under markytan eftersom metanemissionen då är som lägst. Beskogning har gett olika resultat i finska och svenska försök.

3. Ökad produktion av inhemskt proteinfoder.

Självförsörjning på jordbruksprodukter kan förhindra att stora mängder kväve ackumuleras i konsumentledet (djurgården), och där ge hög lustgasemission. För att få ner lustgasemissionen bör djurproduktion inte vara större än vad marken kan försörja med foder. Därmed förhindras att djurproduktion ackumuleras till ett mindre område där överskottskväve ökar risken för lustgas betydligt. För att möjliggöra en låg lustgasemission måste växternas rötter ha möjlighet att absorbera kvävet istället för att nitrifikation/denitrifikation tar hand om det, och därför måste kvävegivan hållas låg. Import av proteinfoder ökar mängden kväve i redan övergödda system. Om växt- och djurproduktion sker integrerat i Sverige och alla världens länder innebär det att överskotten per ytenhet minskar. Behoven av tillförsel av nytt kväve i handelsgödsel minskar också eftersom växtodlingen i större grad kan använda organiskt stall- eller flytgödsel. Vi skulle behöva göra en systemanalys för att belysa minskningspotentialen.

Forskningsbehov

4. Ökad kolinlagring i gräsmarker. (Optimalt betetryck och träd i betesmarken).

Klimatscenarier visar på att netto primärproduktionen (NPP) kan öka med 20-30 % i svensk skogsmark under nästa sekel (SOU 2007:60, B 23 Ben Smith). Med kolinlagring följer vanligtvis också en kväveinlagring. Så länge som nettoinlagringen är större än nedbrytning innebär det låg lustgasemission. Detta kan vara positivt och innebära minskad lustgasemission. Vad som menas med optimalt betetryck är osäkert. Bete är en ”hot spot” för lustgasemission p.g.a. koncentrerat med kväve där urin och träck hamnar. Det har föreslagits att hålla djuren inomhus för att undvika hög lustgasemission. Ett annat förslag är att ändra fodersammansättningen så att mindre kväve går förlorat i urin och avföring (Cardenas et al. 2007), hur betet påverkar behöver undersökas. **Forskningsbehov**

5. Optimerad grüngödsling (röta biomassan innan nedbrukning)

Vid nedbrukning av grüngödslingsgröda är risken stor för en stor lustgasemission. Å andra sidan om grönmassan inte brukas ner ger det ammoniakavdunstning som i ett senare skede leder till lustgasbildning. Att röta biomassan innan nedbrukning kan ge en lägre lustgasemission, se s. 2 och 11, eftersom rötningen minskar mängden lättillgängligt kol och därmed minskar förutsättningarna för denitrifikation. Lustgasemissionen minskar dock bara marginellt. I rötresten finns kväve bundet till organiskt material samt som ammonium, vilket ger förhöjd risk för ammoniakavdunstning. **Forskningsbehov**

6. Biochar

Tillförsel av träkol har lanserats som ett alternativ för kolksequestrering, som samtidigt ökar skördarna. Det finns ett växande intresse för biochar. Fabriker (energikombinat) planeras och byggs, där en av produkterna är träkol som kan tillföras jorden och bevaras upp till 1000 år. Collison et al. 2009 visade att om det finns träkol i jorden behövs inte lika mycket gödsel tillföras marken för att erhålla en god skörd. Chan et al. (2007) visade att det är en kombination av träkol och kvävegödsling som kan öka skörden (av rädisor). Att tillväxten ökar med träkol kan bero på att jordens pH, katjonbytes-kapaciteten samt kväve och fosfortillgänglighet ökar och en ökad biologisk aktivitet, som t.ex. att det blir mer daggmusk (Chan et al. 2008). De hävdar att lustgasemissionen blir lägre (baserat på IPCC metodik), men jag menar att IPCCs metodik inte går att använda för en sådan bedömning. Hur biochar skulle påverka lustgasemissionen är svårt att bedöma. **Forskningsbehov**

7. Övrigt

BSAP föreslår reducerad jordbearbetning på ytterligare 50 000 ha vilket kan reducera N-belastningen på havet med 250 ton. Hur det påverkar lustgasemissionen är oklart. Ball et al. (1999) visade högre emission vid plöjningsfritt. Wagner_Riddle et al. (2007) visade

plöjningsfri odling kombinerad med ”best management” kunde reducera lustgasemissionen med upp till 80%.

Teknik för anpassad kvävegödsling kan hålla ner emissionen, men åtgärden minskar inte emissionen på en gång men på lite längre sikt.

Biogasproduktion ger minskad kvävebelastning på havet genom bättre effektivitet i N-användandet. Åtgärden har troligen en liten effekt på lustgasemissionen. **Forskningsbehov**

Kvävegödsling under rekommenderad giva. Rekommenderad giva har mer med ekonomi än med miljö att göra. Optimal N-giva för miljön ligger under rekommenderad giva. Även om det är svårt att tydligt få en korrelation mellan N-givan och lustgasemissionen är den ökade N-fixeringen genom tillverkning av handelsgödsel (och odling av N-fixerande växter) en av de stora bakomliggande orsakerna till förhöjd lustgasemission globalt sett.

Begränsad köttkonsumtion i Sverige, och konsumtion av företrädesvis svenskt kött, som produceras med låg djurtäthet. Alltså en minskad djurproduktion där konsumenten inte kan kompensera med import (inte möjligt inom EU). Möjligen kan EU betraktas som ett land. En möjlig åtgärd; tilldelad köttkvot per person. Men den kanske inte är politiskt möjlig.

En minskad köttproduktion/konsumtion har stor effekt på lustgasemissionen.

C. Beskrivning av ytterligare möjligheter att minska lustgasavgången från jordbruksmark

Förslag på åtgärder som har förutsättningar att minska lustgasemissionen med 40 % (och 80 %) kommer att ha stor påverkan på produktion och ekonomi. Hur storslagna åtgärder kan och får jag beskriva? Åtgärderna i listan ovan har möjlighet att ge lägre lustgasemission, men det blir svårt att nå 40 % minskad lustgasemission och ännu svårare 80 % minskning. Själva jordbrukssystemets mer grundläggande och stora betydelse för lustgasemissionen lyfts inte fram. Förändring av jordbrukssystemet görs inte på en natt, och därigenom är det ingen snabb begränsningsåtgärd för lustgas, men nödvändig om reella och stora minskningar av lustgasemissionen krävs.

Åtgärder som kan minska lustgasemissionen listade under B är de som kan göras inom det jordbrukssystem som nu finns. Men lustgasemission kan delas upp i två delar; 1. Den som påverkas av aktiviteter i nutid (år) och 2 den som avgörs av bakomliggande/historisk skötsel av marken (decennier). Listan under B handlar till stor del om påverkan i nutid, hur det kväve som tillförs och är i omlopp nu blir till så lite lustgas som möjligt. Många ”bäckar små” som tillsammans ska ge effekt. Men det behöver också lyftas fram hur jordbrukets struktur kopplat till samhällets struktur påverkar lustgasemissionen över längre tid.

All mark avger lustgas (undantag våtmark), så frågan är hur mycket lustgas skulle avgått naturligt från de arealer som nu är åkermark i Sverige? Det kallas för bakgrundsemission och lägre än så blir mycket svårt att nå. Hur låg skulle en bakgrundsemission ha varit i Sverige? Någon säker uppskattning är svår att få eftersom all mark är påverkad av kvävenedfall och förurning. Resultat från gräsmarker som inte gödslas i Europa visar en emission i storleksordningen $0,3 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Flechard et al. 2007). Skogsmark avger också lustgas i den storleksordningen. Jordbruket har påverkat Sveriges åkermark som blivit bördigare av upprepade gödslingar, med mer kväve tillgängligt för lustgasbildning under årstider då inte grödan kan ta hand om det. Det innebär att även om åkermarken inte gödslas under några år kommer ändå lustgasemissionen att vara högre än den s.k. bakgrundsemissionen.

För hundra år sedan uppfanns processen att tillverka handelsgödsel, men gödselmedlet fanns inte tillgängligt för användning i jordbruket förrän långt senare. I Jordbruket var det då viktigt att använda tillgängligt reaktivt kväve optimalt samt att få mer kväve till systemet genom att omväxlande odla kvävefixerande grödor. Stallgödsel ”gödslade” åkern. Jordbruket var mer diversifierat, med både växtodling och djurhållning. En större andel av befolkningen bodde också på landet jämfört med idag, vilket möjliggjorde ett mer nära kretslopp av näringsämnen. Detta system var inte optimalt då läckaget av näringsämnen troligen var stort i förhållande till erhållen skörd. Kunskapen om de biogeochemiska processerna var liten.

Från 1950-talet tog försäljning av handelsgödsel fart och ökade för att under senare år ha minskat något. Ensidig växtodling har möjliggjorts genom handelsgödsel och bekämpningsmedel, där det kväve som försvinner i avsaluprodukter, utlakning och emissioner

kan ersättas genom inköp av nytt handelsgödsel. Härigenom möjliggjordes en strukturrationalisering av jordbruket eftersom återförande av näring genom stallgödsel inte blev lika nödvändigt. Djurproduktion är nu samlad till specialiserade jordbruksföretag framförallt i södra och sydvästra Sverige där större delen av mjölk- och svinproduktionen är förlagd. Och det är i samband med djurproduktion som lustgasemissionen är som högst.

Mycket förenklat flödar nu kvävet från handelsgödseltillverkning till recipienten (havet), men mycket stannar halvägs eller förloras till luften. Lustgasemission sker:

1. redan vid tillverkningen i handelsgödsel fabriken. I Haber-Boschprocessen produceras ammoniak/ammonium från luftens kvävgas med hjälp av naturgas (fossilgas), vilket medför CO_2 avgång till atmosfären. En del lustgas bildas vid omvandling av ammoniak till salpetersyra (HNO_3). Eftersom det avgår stora mängder koldioxid och lustgas vid själva tillverkningen blir klimatpåverkan stor. Med bästa tillgängliga teknik är utsläppen av växthusgaser från tillverkningen nu 1/3 av tidigare och för varje kg kväve i ammoniumnitrat (NH_4NO_3) avgår sammanlagt ca 2,5 kg CO_2 -ekvivalenter varav 0,9 utgörs av lustgas (=2 g $\text{N}_2\text{O-N}$) (Växtpressen nr 1 2008).
2. Gödslings med bästa teknik på en ren växtodlingsgård kan hålla emissionen låg, under 1 kg $\text{N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ (data från integrerad odling på Logården). Av det tillförda kvävet hamnar större delen i skörd, skörderester, mark eller utlakas.
3. Skörden säljs, det mesta går till foder och hamnar på djurgården. Här är risken för lustgasproduktion mycket större än på växtodlingsgården eftersom stora mängder kväve är i omlopp i stallar, gödsellager och efter spridning på mark. Ammonium och nitrat i kombination med lättnedbrytbara kolföreningar kan orsaka stora lustgasemissioner. En mindre del av kvävet som fanns i fodret återfinns i produkter som mjölk, kött och ägg, resten sprids på mark i gårdens omgivningar.
4. Produkterna transporteras till staden för att hamna som mat på tallriken. En stor del av detta hamnar i soporna istället, och hur mycket lustgas som kan bildas när sopor förvaras är osäkert. Soporna går ofta vidare till förbränning och blir till kvävgas i förbränningen eller i rökgasreningen.
5. Större delen av kväve som vi äter hamnar i toaletten (allt för vuxna och större delen för barn som växer) framförallt i urinen och går vidare till reningsverket. Där försöker man optimera denitrifikationsprocessen så att kvävet återförs till atmosfären som N_2 , men ändå går ca 25% av kvävet ut i recipienten och vidare till havet. I reningsverket kan lustgas bildas liksom i recipienten. Totalt hur mycket lustgas som bildas finns det mycket bristfälliga data på.

Urbanisering har medfört stora kväveflöden från land till stad. Härmed måste kvävet ”renas” bort vilket kan betraktas som positivt för att minska emissionen av lustgas (och för att minska eutrofiering). Men det bortrenade kvävet måste ersättas med nyfixering. Kan en strukturuomvandling leda till minskad lustgasemission? T.ex. i jordbrukets växt- och djurproduktion eller i stadens möjligheter att återföra växtnäring tillbaks till jordbruket. Hur kan ett ”tightare” system utformas där risken för lustgasbildning inte är lika stor?

En första åtgärd är att se kväve som en värdefull resurs. Härmed kanske en bättre koppling mellan växtodling och djurproduktion kan erhållas, en åtgärd som kan ge minskade lustgasemissioner. Behovet av nytt reaktivt kväve in i kretsloppet minskar, varför överflödssituationer blir mer sällsynta. Självförsörjning på djurfoder leder till mindre ackumulering av kväve på gården och i marken.

En åtgärd för att uppnå en integrerad växt och djurhållning kan vara att bara tillåta ett *maxantal djurenheter per areal och gård*. Åtgärden behöver också kombineras med åtgärder som är listade under B.

En återkoppling mellan stad och land kan också innebära mindre N-tillförsel totalt sett. Dock är det viktigt att nya system inte medför stor lustgasemission, t.ex. som riskeras i sopor på högar i väntan på att rötas. Uppsamling av urin är en möjlighet för att undvika lustgasbildning i reningsverk eller recipient, urin som kan återföras som gödsel i växtodling. Åtgärden kan dock vara komplicerad och kräver att system utvecklas som verkligen ger låg lustgasemission.

En åtgärd som ofta lyfts fram som en av de stora åtgärderna för att minska på växthusgasemissionerna är att äta mindre kött. Det är ingen åtgärd för jordbruket i sig, men har återverknings på jordbruket. Om Sverige skulle vara självförsörjande på foder och djurantalet begränsas så kan det innebära en lägre produktion av kött i Sverige. Om köttkonsumtion och produktion finns det många olika synpunkter från olika intressenter, och jag ska här inte fördjupa mig i frågan.

Åtgärdernas effekt på lustgasutsläpp

Den åtgärd under B som snabbt har en störst effekt och minskar lustgasemissionen är att sluta odla annuella grödor på organogen mark, och istället låta marken oavbrutet vara beväxt med gräs och låta grundvattennivån stiga. För övrigt gäller det att minska kväveanvändningen i stort, vilket kan påverka både produktionens storlek och hur produktionen inriktas, som t.ex. blandad produktion eller specialiserad köttproduktion. Alla övriga åtgärder är också viktiga, framförallt för att hålla ordning på kvävet så att inte lustgasemissionen ökar, men minskningspotentialen för varje åtgärd är inte så stor. Alla åtgärder behövs dock för att tillsammans uppnå de politiska målen om minskningar med 40 %. Systempåverkande åtgärder krävs också för att få kväveeffektiva system som möjliggör minskad emission i de storleksordningar som krävs.

Beskrivning av uppenbara synergieffekter/konflikter med andra miljömål

Mer integrerade system ökar kretsloppet av växtnäring vilket också är fördelaktigt ur fosforförsörjningssynpunkt. Jag ser inga direkta konflikter med övriga miljömål, utan de flesta av Sveriges miljömål blir lättare att uppnå, särskilt målen om ”ett skyddande ozonskikt” och ”ett rikt odlingslandskap”. Det finns också mål som knappast berörs som en säker strålmiljö.

D. Beskrivning av kunskapsluckor och forskningsbehov kring lustgasavgång från jordbruksmark.

Hur stor jordbrukets emission är beräknas i Sverige m.hj.a. IPCC's metod, en relativt enkel beräkningsmetod som ska kunna användas för alla stater för att beräkna avgång av växthusgaser från dess territorium. Metodens fördelar är att beräkningar görs lika för alla länder och det är inte metodens exakthet och överensstämmelse med verkligheten som avgör användningen. Endast mänskligt orsakade växthusgasflöden inkluderas, inte de naturgivna växthusgasflödena. Lustgas beräknas med statistiskt tillgänglig aktivitetsdata som t.ex. areal jordbruksmark, handelsgödselanvändning, antal djur etc. och med enkla ekvationer beräknas emissionen. Vid 2006 års uppdatering av IPCC "Guidelines" påpekas att rapporterade länder ska använda den mest detaljerade och skäligen beräkningsmetoden som finns tillgänglig, vilket är med egna ekvationer (Tier 2) eller helst egen metod (Tier 3) som ofta är modellberäkning. Ifall inte sådan metod finns tillgänglig måste det rapporterade landet använda Tier 1 vilken är den grävsta metoden som baseras på aktivitetsdata och IPCC's standardfaktorer. Tier 1 är den metod som här benämns IPCC's metod. Sveriges rapporterade lustgasemissioner från jordbruket beräknas huvudsakligen med Tier 1 men med egna emissionsfaktorer i vissa fall, Kasimir Klemedtsson 2001.

Förutom att metoden är grov finns det tveksamheter med IPCC's Tier 1. En sådan är att ingen skillnad görs mellan oorganiskt handelsgödsel och stallgödselkväve trots att fältmätningar visat att organiska gödselmedel ger högre emission än tillförsel av oorganisk gödsel. Sveriges rapportering använder en modifierad metod, baserad på Kasimir Klemedtsson 2001, vilken innebär en högre emissionsfaktor för organiskt gödsel och en något lägre för handelsgödsel jämfört med IPCC's emissionsfaktorer samt en bakgrundsemission som är oberoende av gödsling. Andra viktiga påverkansfaktorer tas inte med i beräkningen, t.ex. skillnader i jordstruktur (med undantag från organogena jordar). Mätdata från boreala ekosystem saknas nästan helt i databasen för emissionsfaktorer, varför jordbruk i nordliga områden får en mycket osäker beräkning. Med IPCC's metod är det inte möjligt att visa hur mycket en åtgärd i jordbruket verkligen påverkar lustgasemissionen, Tier 1 är inte ett lämpligt verktyg för det.

Och det här är viktigt för att möjliggöra minskning av lustgasemission från jordbruket, eftersom lustgasemission då måste kunna beräknas på ett tillförlitligt vis. Dessutom behöver vi veta hur stor lustgasemissionen var förut och är idag och vad som händer i framtiden vid olika små och stora åtgärder inom jordbruket. Här behöver vi använda processbaserad modellberäkning av lustgas, i första hand för att beskriva hur stor jordbrukets markemission är för närvarande i Sverige, Tier 3 i IPCC guidebook. Som parentes måste jag skriva; Sverige önskar vara ett föredöme när det gäller klimatfrågan, och då är det dåligt att inte emissioner från jordbruksmark beräknas bättre än med Tier1. Tier 1 används ofta också för LCA-analys eller rådgivning i jordbruket för att hålla emissionen låg, men för det är metoden olämplig. Vi behöver nu arbeta fram en metodik att uppskatta lustgasemission från olika grödor, jordar och klimat etc., vilken också kan användas som verktyg i LCA och rådgivning.

Vid all förändrad markanvändning uppstår också frågan; Hur stor skulle N₂O-emissionen varit från marken i ett "naturligt" tillstånd? En sådan naturlig bakgrundsemission utgör den "baseline" där all emission utöver innebär antropogen lustgasemission, vilken är den som ska rapporteras till UNFCCC och EU-kommissionen. Det är också i denna antropogena lustgasemission som begränsningar kan göras. Ett scenario-arbete med olika möjliga utvecklingar inom jordbruk och samhälle (olika system) skulle kunna beräknas och målas upp. Effektiva åtgärder skulle kunna bli synliga.

Övriga kunskapsluckor har jag markerat i texten som forskningsbehov med röd text.

Referenser

- Bakken L.R. & M. A. Bleken (1998) Temporal aspects of N-enrichment and emission of N₂O to the atmosphere. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **52**: 107-121.
- Ball B.C., Parker J.P. & A. Scott (1999) Soil and residue management effects on cropping conditions and nitrous oxide fluxes under controlled traffic in Scotland 2. Nitrous oxide, soil N status and weather. *Soil & Tillage Research* **52**: 191-201.
- Beare M.H., Gregorich E.G. & P. St-Georges (2009) Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. *Soil Biology and Biochemistry* **41**: 611-621.
- Bol R., Petersen S.O., Christofides C., Dittert K. & M.N. Hansen (2004) Short-term N₂O, CO₂, NH₃ fluxes, and N/C transfers in a Danish grass-clover pasture after simulated urine deposition in autumn. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **167**: 568-576.
- Bouwman A.F. (1996) Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **46**: 53-70.
- Cardenas L.M., Chadwick D., Scholefield D., Fychan R., Marley C.L., Jones R., Bol R., Well R. & A. Vallejo (2007) The effect of diet manipulation on nitrous oxide and methane emissions from manure application to incubated soils, *Atmospheric Environment* **41**: 7096-7107.
- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A. & S. Joseph (2007) Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* **45**: 629-634.
- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A. & S. Joseph (2008) Using poultry litter biochars as soil amendments, *Australian Journal of Soil Research* **46**: 437-444.
- Collison M., Collison L., Sakrabani R., Tofield B. & Z. Wallage (2009) Biochar and carbon sequestration: a regional perspective. Low Carbon Innovation Centre . University of East Anglia.
- Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A. & W. Winiwarter (2008) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics* **8**: 389-395.
- Duxbury J.M., Bouldin D.R., Terry R.E. & R.L. Tate (1982) Emission of nitrous oxide from soils. *Nature* **298**: 462-464.
- Firestone M.K. & E.A. Davidson (1989) Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soil. pp 7-21 in M.O. Andreae & D.S. Schimel (Eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Flechar C.R., Ambus P., Skiba U., Rees R.M., van den Pol-van Dasselaar A., Soussana J.-F., Jones M., Clifton-Brown J., Raschi A., Horvath L., Neftel A., Jocher M., Ammann C., Leifeld J., Fuhrer J., Calanca P., Thalman E., Pilegaard K., Di Marco C., Campbell C., Nemitz E., Hargreaves K.J., Levy P.E., Ball B.C., Jones S.K., van de Bulk W.C.M., Groot T., Blom M., Domingues R., Kasper G.,

- Allard V., Ceschina E., Cellier P., Laville P., Henault C., Bizouard F., Abdalla M., Williams M., Baronti S., Berretti F. & B. Grosz (2007) Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **121**; 135-152.
- Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schultz M. & R. Van Dorland (2007) Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. & H.L. Miller (eds)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Freibauer A. & M. Kaltschmitt (2003) Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* **63**; 93-115.
- Henault C., Devis X., Page S., Justes E., Reau R. & J.C. Germon (1998) Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions. *Biol. Fertil. Soils* **26**: 199-207.
- IPCC, (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- Jordbruksstatistisk årsbok, Statistiska Centralbyrån
http://www.scb.se/Pages/Product_37545.aspx
- Kasimir Klemedtsson Å. (2001) Metodik för skattning av jordbrukets emissioner av lustgas – Underlag för Sveriges nationalrapport till Klimatkonventionen. Naturvårdsverkets förlag, rapport 5170
- Kasimir Klemedtsson Åsa. 2009 Energimyndigheten rapport från projekt P32120-1
- Kasimir Klemedtsson Å., Weslien P. & L. Klemedtsson (2009) Methane and nitrous oxide fluxes from a farmed Swedish Histosol. *European Journal of Soil Science* **60**; 321-331.
- Korsaeth A., Henriksen T.M. & L.R. Bakken (2002) Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and nitrogen losses. *Soil Biology & Biochemistry* **34**; 789-799.
- Laughlin R.J., Rütting T., Müller C., Watson C.J. & R.J. Stevens (2009) Effect of acetate on soil respiration, N₂O emissions and gross N transformations related to fungi and bacteria in grassland soil. *Applied soil ecology* **42**: 25-30.
- Li C., Aber J.D., Stange F., Butterbach-Bahl K. & H. Papen (2000) A process-oriented model of N₂O and NO emissions from forest soils. 1. Model development. *Journal of Geophysical Research* **105**; 4369-4387.

- Maljanen M., Liikanen A., Silvola J. & P.J. Martikainen (2003) Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 689-700.
- Matthews R.A., Chadwick D.R., Retter A.L. & S. Yamulki. (2009) Nitrous oxide and methane emissions from small-scale farmland features in livestock systems. 16th Nitrogen Workshop – Connecting different scales of N use in agriculture. Turin, Italy.
- Nordin A., Bergström A.-K., Granberg G., Grip H., Gustafsson D., Gärdenäs A., Hyvönen-Olsson R., Jansson P.-E., Laudon H., Nilsson M., Svensson M. & M. Öqvist (2009) Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Projektrapport 5 MINT.
- Norman J., Jansson P.-E., Farahbakhshazad N., Butterbach-Bahl K., Li C. & L. Klemetsson (2008) Simulation of NO and N₂O emissions from a spruce forest during a freeze/thaw event using an N-flux submodel from the PnET-N-DNDC model integrated to CoupModel. *Ecological Modelling* 216: 18-30.
- NV rapport 5132. Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar. red. Åsa Kasimir Klemetsson och Marianne Lilliesköld. Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.
- Ravishankara A.R., Daniel J.S. & R.W. Portmann (2009) Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 31 August 2009 (DOI: 10.1126/science.1176985)
- Robertson G.P. & P.M. Groffman (2007) Nitrogen transformations *in* Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. 3rd ed. Paul E.A. (editor) Academic Press, Amsterdam.
- Ruser R., Flessa H., Russow R., Schmidt G., Buegger F. & J.C. Munch (2006) Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 263-274.
- Shoun H., Kim D.H., Uchiyama H. & J. Sugiyama (1992) Denitrification by fungi. *FEMS Microbial letters*. 94: 277-281.
- SOU 2007:60 Klimat- och sårbarhetsutredningen bilagorna B23 och B24.
- Simojoki A. & A. Jaakola (2000) Effect of nitrogen fertilisation, cropping and irrigation on soil composition and nitrous oxide emission in a loamy clay. *European Journal of Soil Sciences* 51: 413-424.
- Sitaula B.K., Hansen S., Sitaula J.I.B. & L.R. Bakken (2000) *Chemosphere – Global Change Science* 2: 367-371.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L. & P.E. Fixen (2009) Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 247-266.
- Sommer S.G. & S.O. Petersen (2002) Nitrous oxide emissions from manure handling – effects of storage conditions and climate. *In* Danish Institute of Agricultural Sciences

(DIAS) report no. 81. S.O. Petersen & J.E. Olesen (eds). Greenhouse Gas Inventories for Agriculture in the Nordic Countries.

Stehfest E. & L. Bouwman (2006) N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modelling of global emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **74**: 207-228. Data finns att hämta: <http://www.mnp.nl/en/publications/2006>.

Wagner-Riddle C., Thurtell G.W., King K.M., Kidd G.E. & E.G. Beauchamp (1996) Nitrous oxide and carbon dioxide fluxes from a bare soil using a micrometeorological approach. *Journal of Environmental Quality* **25**: 898-907.

Wagner-Riddle C., Furon A., McLaughlin N., Lee I., Barbeau J., Jayasundara S., Parkin G., von Bertoldi P., & J. Warland (2007) Intensive measurement of nitrous oxide emissions from a corn-soybean-wheat rotation under two contrasting management systems over 5 years. *Global Change Biology* **13**: 1722-1736.

Weslien P., Klemedtsson L., Svensson L., Galle B., Kasimir Klemedtsson Å. & A. Gustafsson (1998) Nitrogen losses following application of pig slurry to arable land. *Soil Use and Management* **14**: 200-208.

Weslien P., Kasimir Klemedtsson Å., Börjesson G. & L. Klemedtsson (2009) Strong pH influence on N₂O and CH₄ fluxes from forested organic soils. *European Journal of Soil Science* **60**: 311-320.

Växtpressen nr 1 2008

http://fert.yara.se/library/attachments/media_room/publications/VP08_1ny.pdf