



Odlingssystemets effekt på mullförråd och kolinlagring i jordbruksmark

Thomas Kätterer

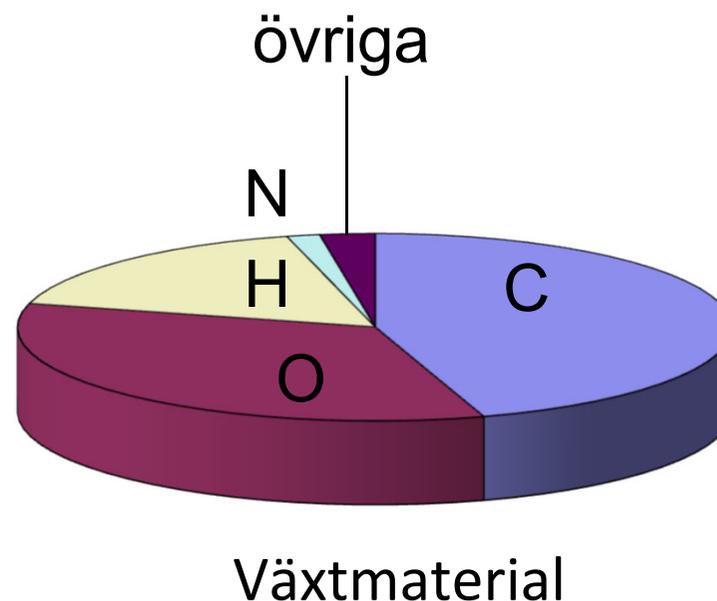
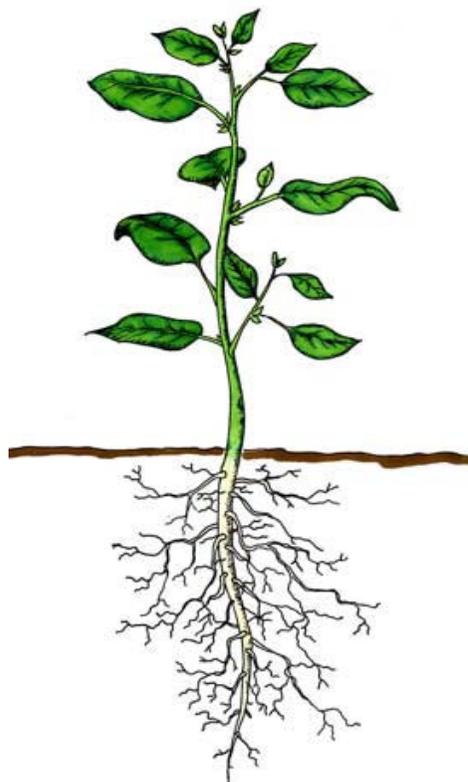
Sveriges Lantbruksuniversitet

Greppa, jordbruket och klimatet 1 okt 2020

Disposition

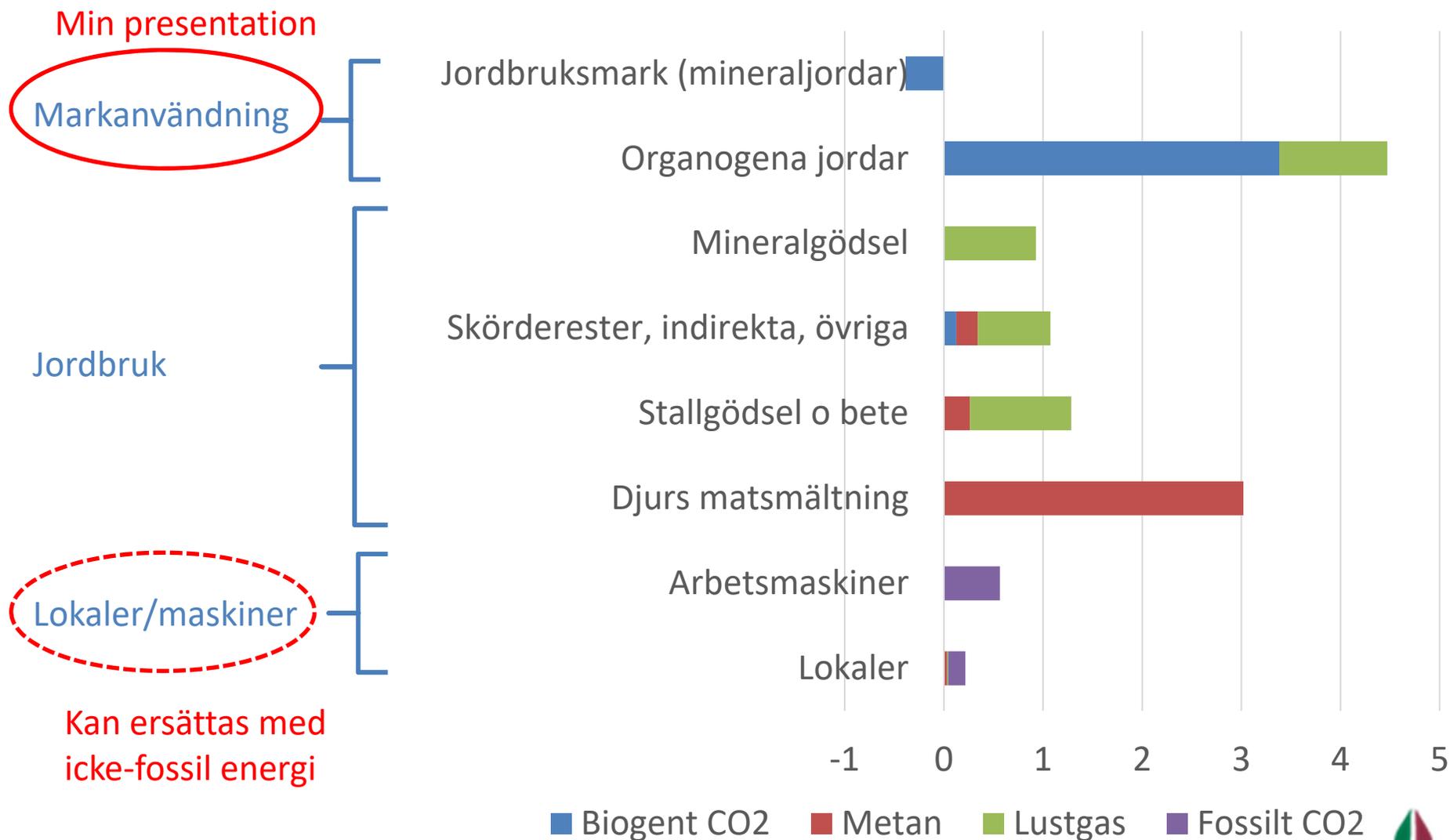
- Markens roll i den globala kolcykeln
- Kolbalanser i svensk jordbruksmark
- Resultat från långliggande försök
- Hur vi kan påverka kolinlagringen

Att höja kolhalten i jordbruksmark är en kostnadseffektiv klimatåtgärd. Det ökar också bördigheten



- **Mull innehåller ca. 58% kol (42% i växter)**
- **Matjorden innehåller 5-10 kg C per m² (0-25 cm)**
- **1 kg C motsvarar 3,67 kg CO₂ (molvikt CO₂ vs. C; 44/12)**

Jordbrukets territoriella utsläpp av VHG 2017 (Miljoner ton CO2-ekv)

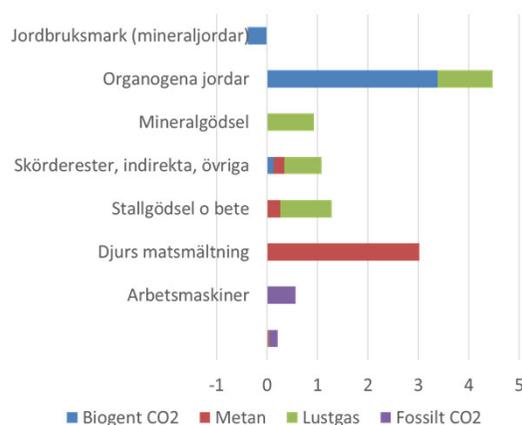


Enligt NIR 2017, Naturvårdsverket

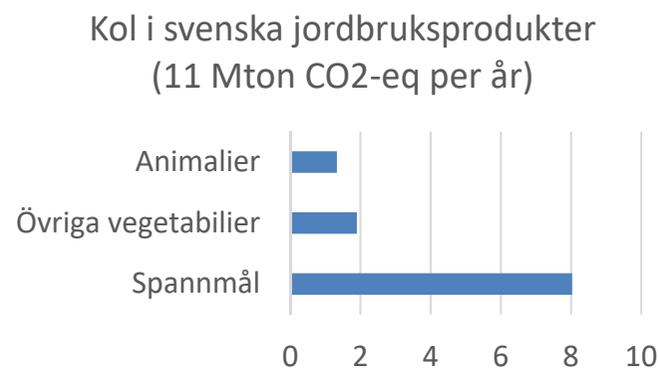
Är jordbruket är en klimatbov?

- Det beror på redovisningsreglerna och hur man drar systemgränserna
- Det är inte jordbruket utan konsumenterna som släpper ut CO₂
- Kolet som jordbruket levererar till samhället motsvara ungefär jordbrukets territoriella utsläpp av klimatgaser

Nettoemissioner 10 Mton

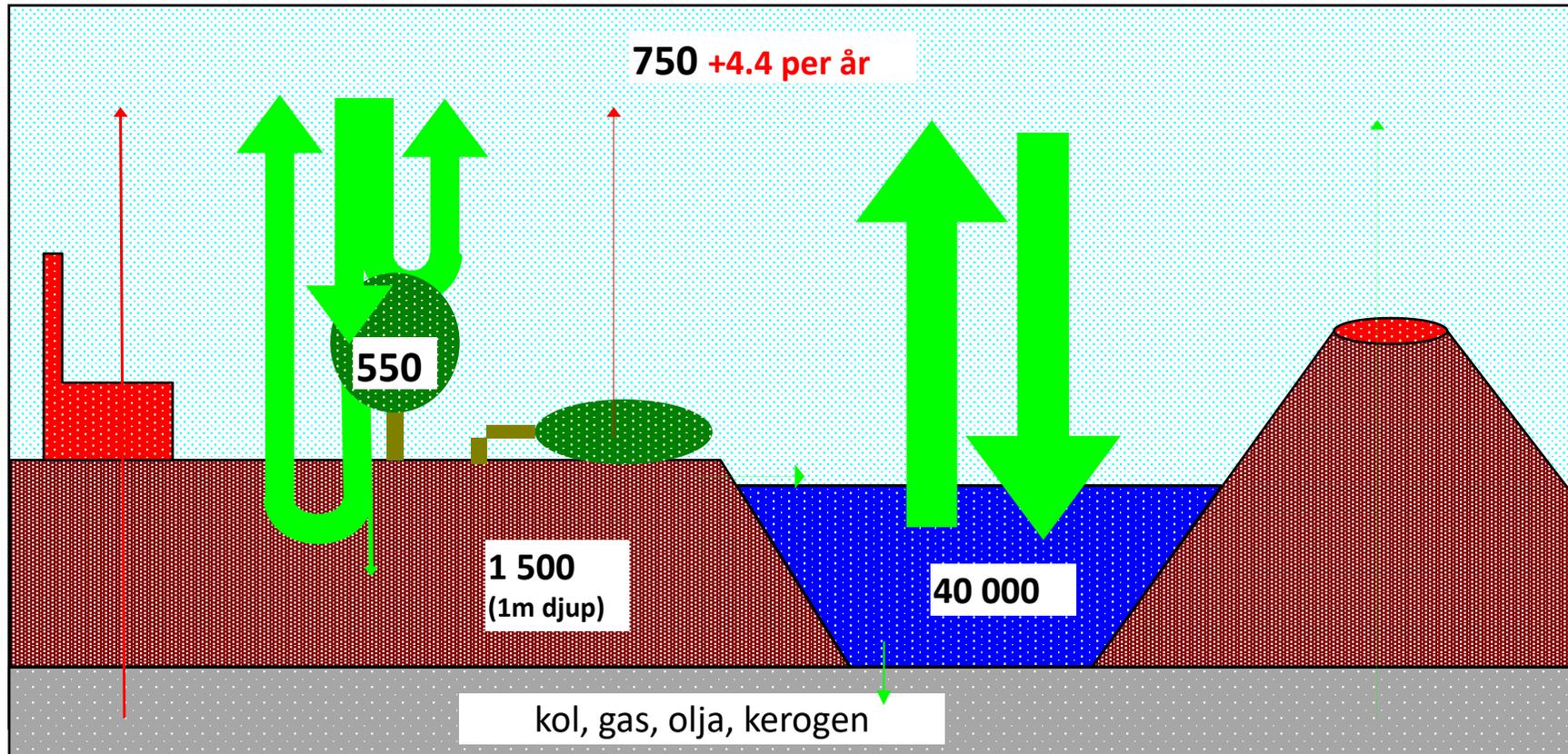


Produkter till samhället 11 Mton



Beräkningar: Kersti Linderholm

Marken spelar en central roll i den globala kolcykeln (Pg C; miljarder ton)



Kätterer, 1998

Antropogenic CO₂ emissions and sinks

4.8 Pg/yr; 12%



34.4 Pg/yr; 88% +



17.2 Pg/yr

46%



11.0 Pg/yr

30%



8.8 Pg/yr

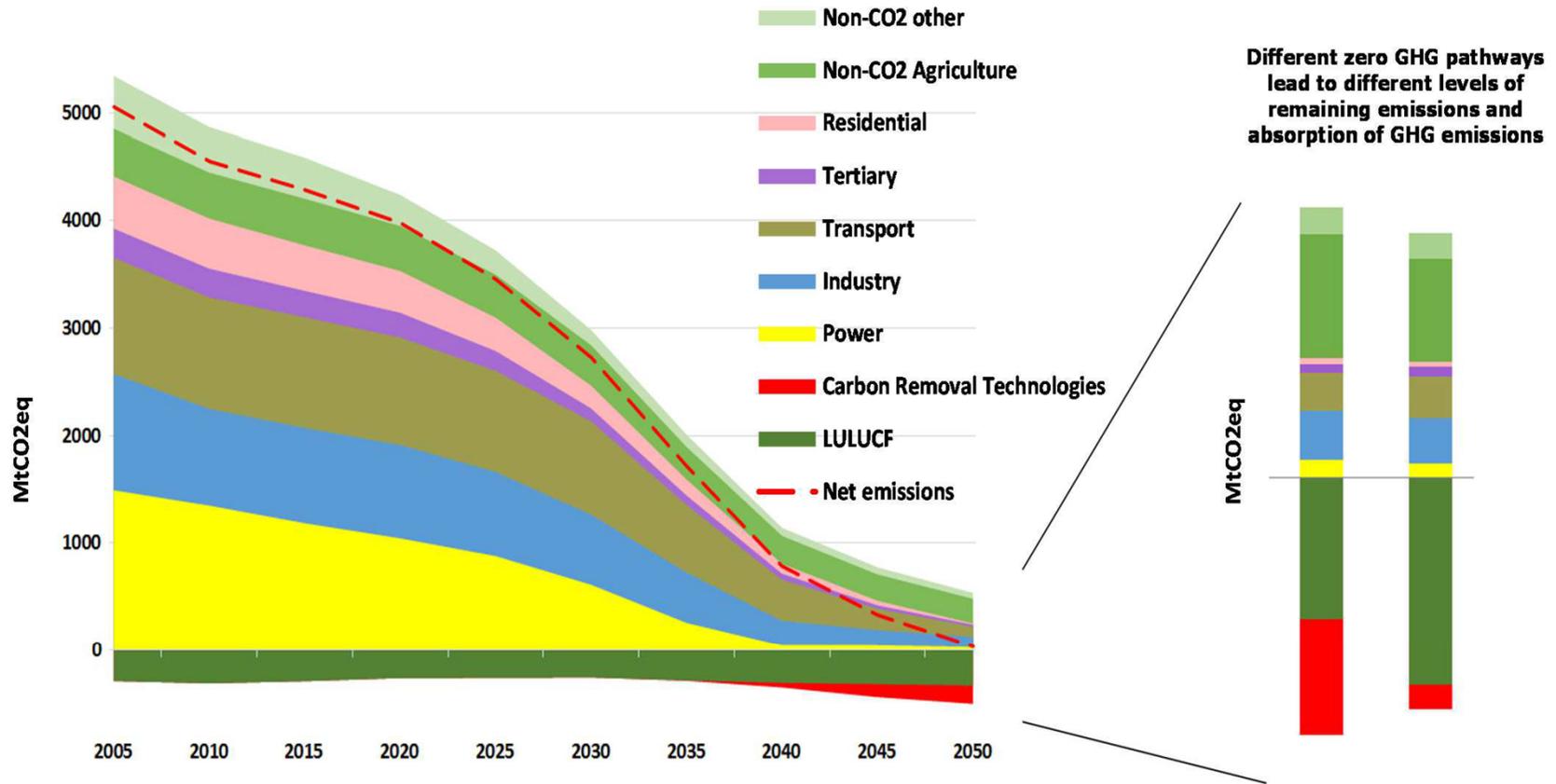
24%



Budget Imbalance: 6%
(the difference between estimated sources & sinks)

Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Houghton and Nassikas 2017](#); [Hansis et al 2015](#); [Le Quéré et al 2017](#); [Global Carbon Budget 2017](#)

Vision for a Clean Europe by 2050



Negativa utsläpp kommer att behövas för att uppnå netto-noll utsläpp 2045

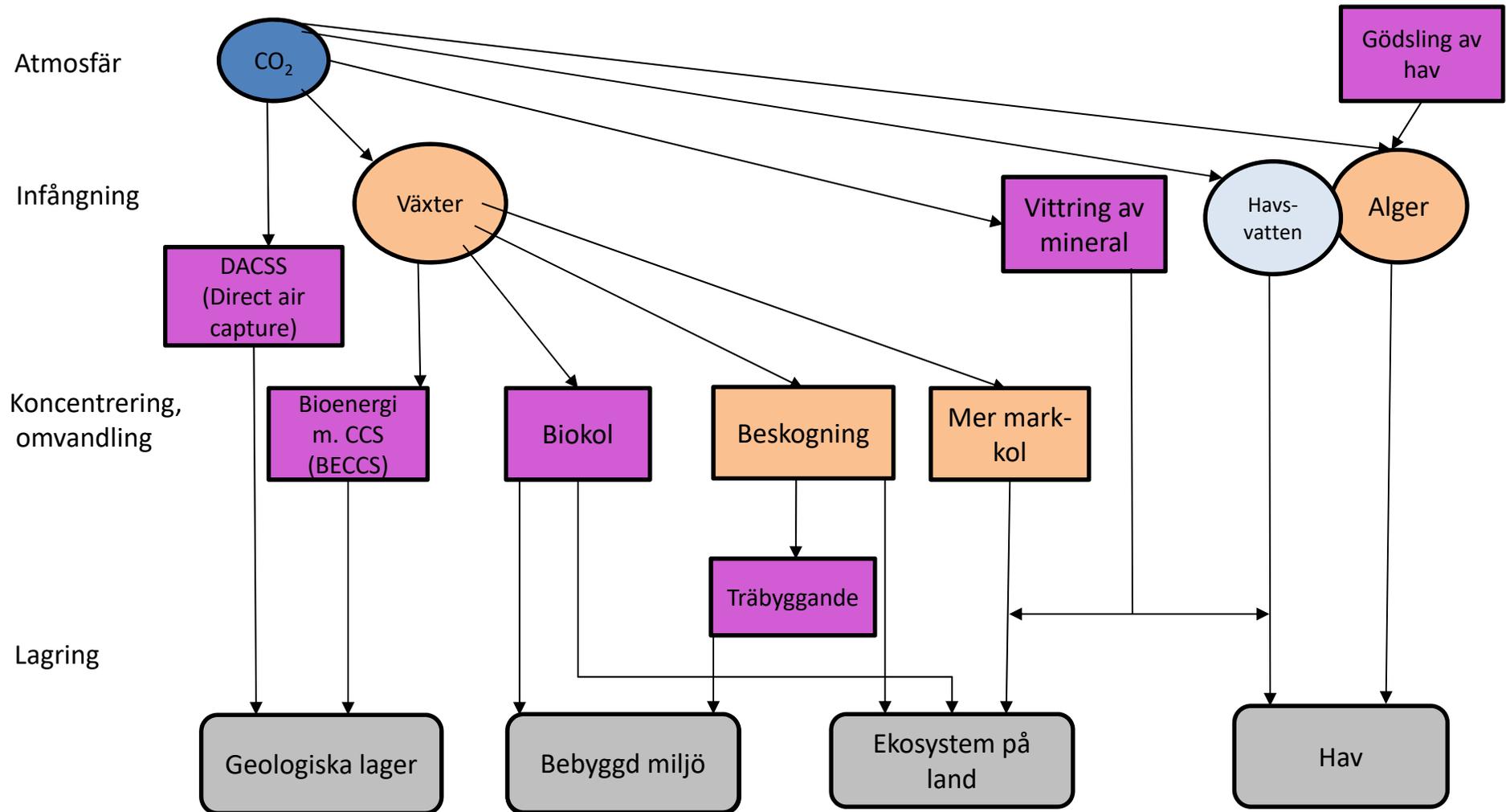
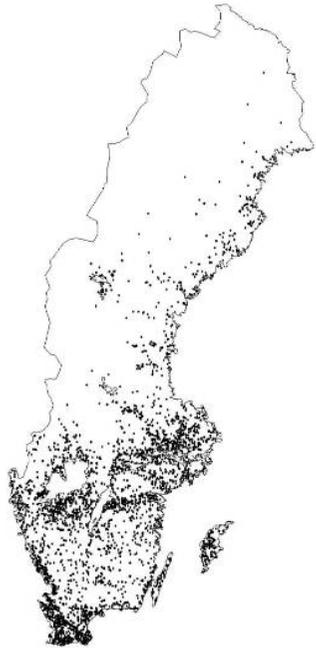


Bild från C Sundberg

Kol i svensk jordbruksmark

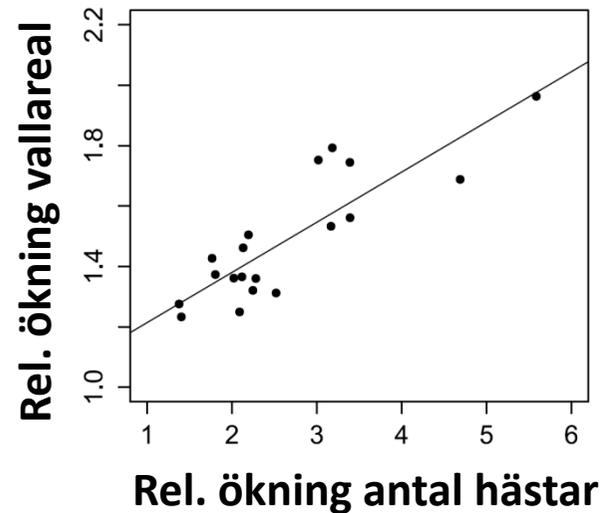
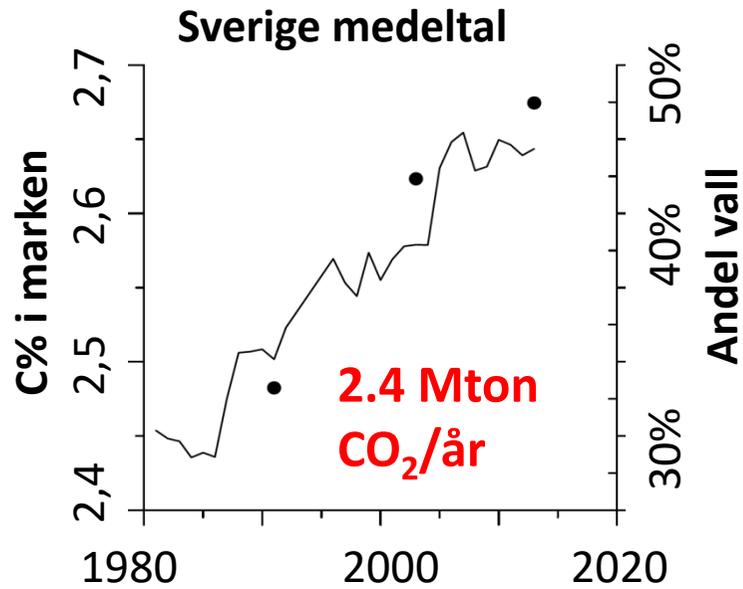
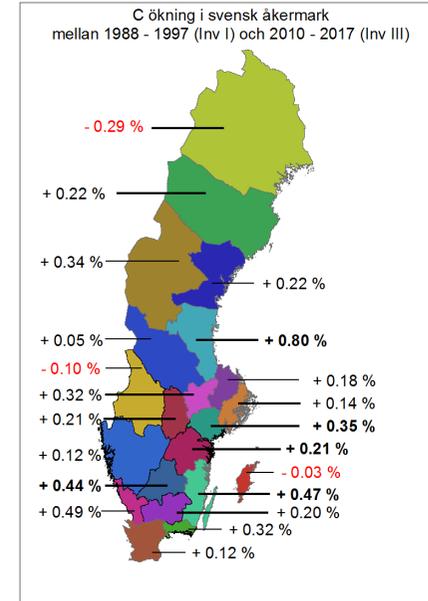
Poeplau et al. 2015 Biogeosciences 12: 3241–3251



Markinventering:

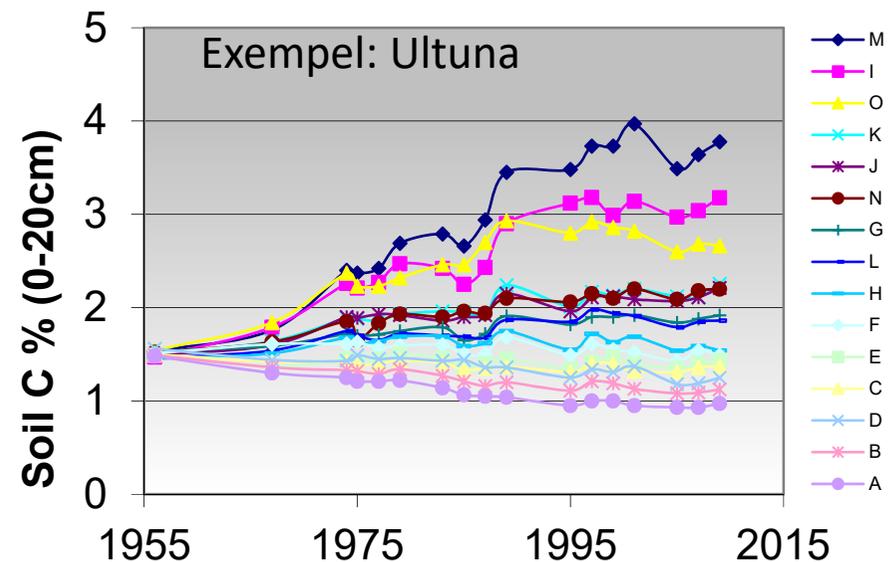
- I (1988-97),
- II (2001-07),
- III (2010-17)

Signifikant ökning i 5 län

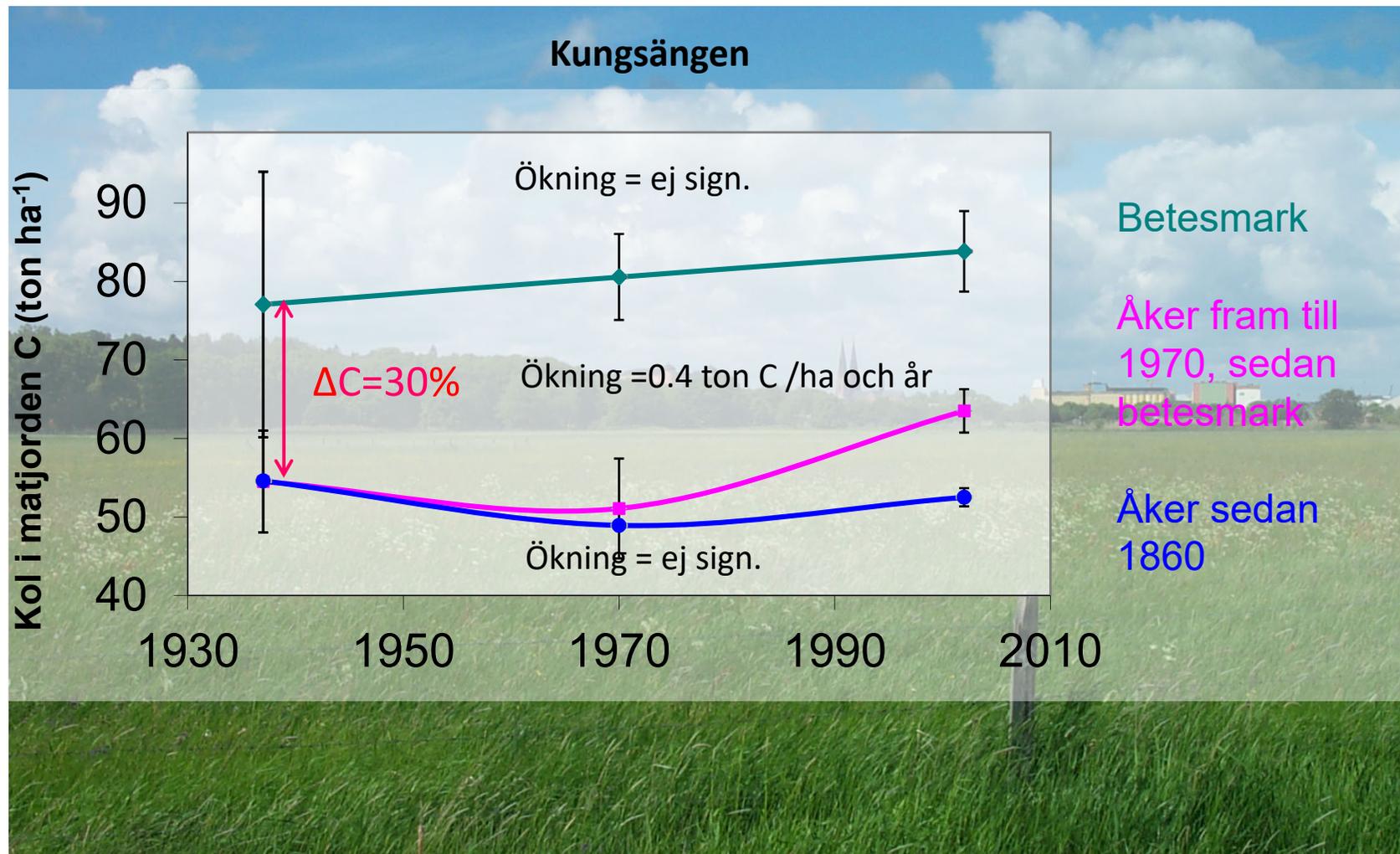


Årliga förändringar i kolförråd är små. Därför är långliggande fältförsök viktiga för att kvantifiera effekter av odlingsåtgärder på marken

- Ungefär 50 försök > 20 år
- Effekter av gödsling, kalkning, växtföljder, jordbearbetning, m.m.
- Viktiga för kalibrering och validering av modeller



Markkol i betesmark och åkermark



Sker det en kolfastläggning i svenska betesmarker?

1 ton C per ha och år



Available online at www.sciencedirect.com



Agriculture, Ecosystems and Environment 121 (2007) 121–134

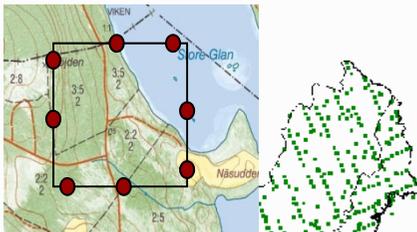
Agriculture
Ecosystems &
Environment

www.elsevier.com/locate/agee

Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites

J.F. Soussana^{a,1,*}, V. Allard^{a,1}, K. Pilegaard^b, P. Ambus^b, C. Amman^c, C. Campbell^d, E. Ceschia^{a,2}, J. Clifton-Brown^{e,3}, S. Czobel^f, R. Domingues^g, C. Flechard^c, J. Fuhrer^c, A. Hensen^h, L. Horvath^j, M. Jones^e, G. Kasper^g, C. Martinⁱ, Z. Nagy^f, A. Neftel^c, A. Raschi^k, S. Baronti^k, R.M. Rees^l, U. Skiba^d, P. Stefani^m, G. Manca^l, M. Sutton^d, Z. Tuba^f, R. Valentini^m

Tract distribution



One year sample

30 kg C per ha och år

Nationell markinventering

30 000 permanenta rutor
383 rutor på betesmark

Förändringar i kolförråd 1990-2006 (Karlton et al., 2010)

- Kolfastläggning i svenska betesmarker är försumbar
- Högre intensitet (gödsling) kunde öka förråden – men har negativa effekter på biodiversitet

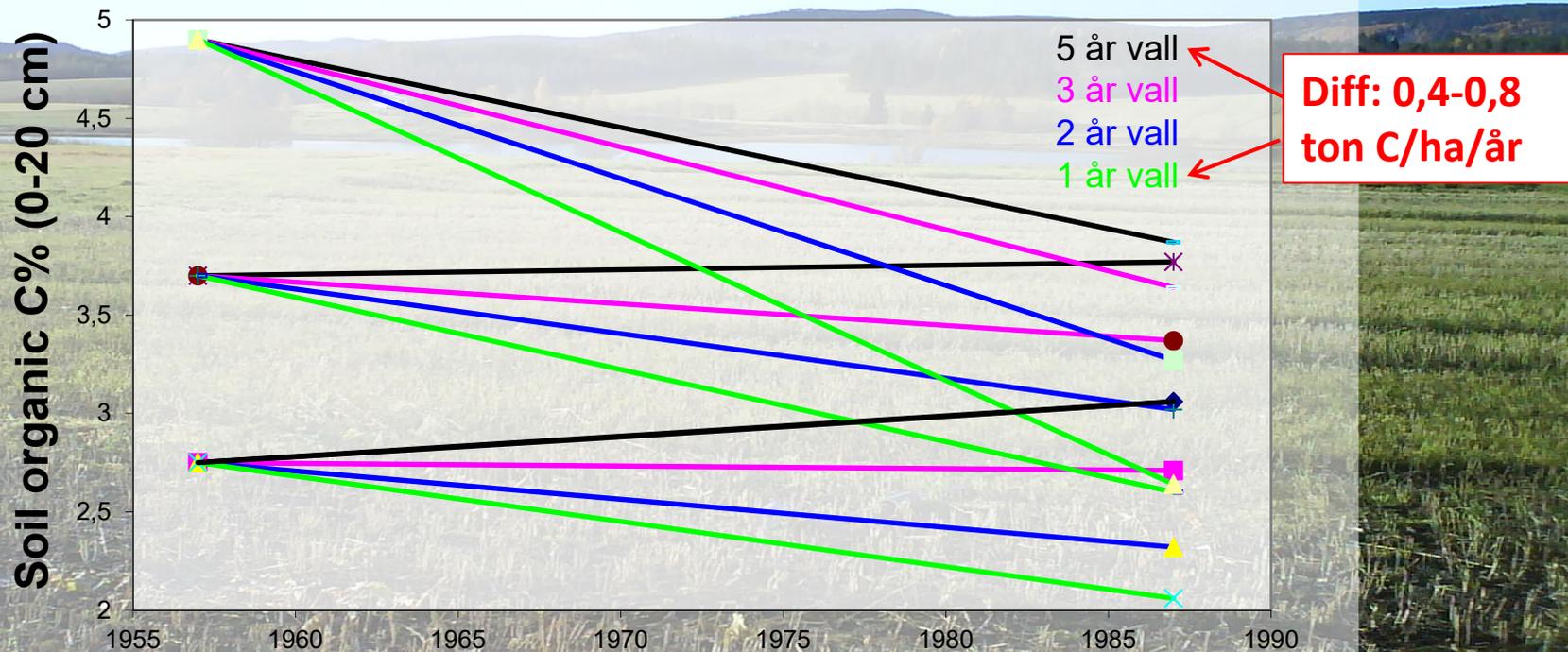
Grönytor i städer och golfbanor kan lagra in kol



**Projekt i 3 svenska städer: 55% högre kolförråd i gräsmattor ,
35% högre i ängsmarker jämfört med närliggande jordbruksmark.**

Fleråriga växter satsar mera på rotsystemet och leder därför till mera positiva kolbalanser än ettåriga växter

3 platser i Norrland 6-åriga växtföljder: vall och ettåriga grödor



Varför ökar kolinlagringen i vallar?

Kernza (vetegräs)

vete



Photo by Jim Richardson, Land Institute, Salina, Kansas; Glover et al., 2010 AGEE



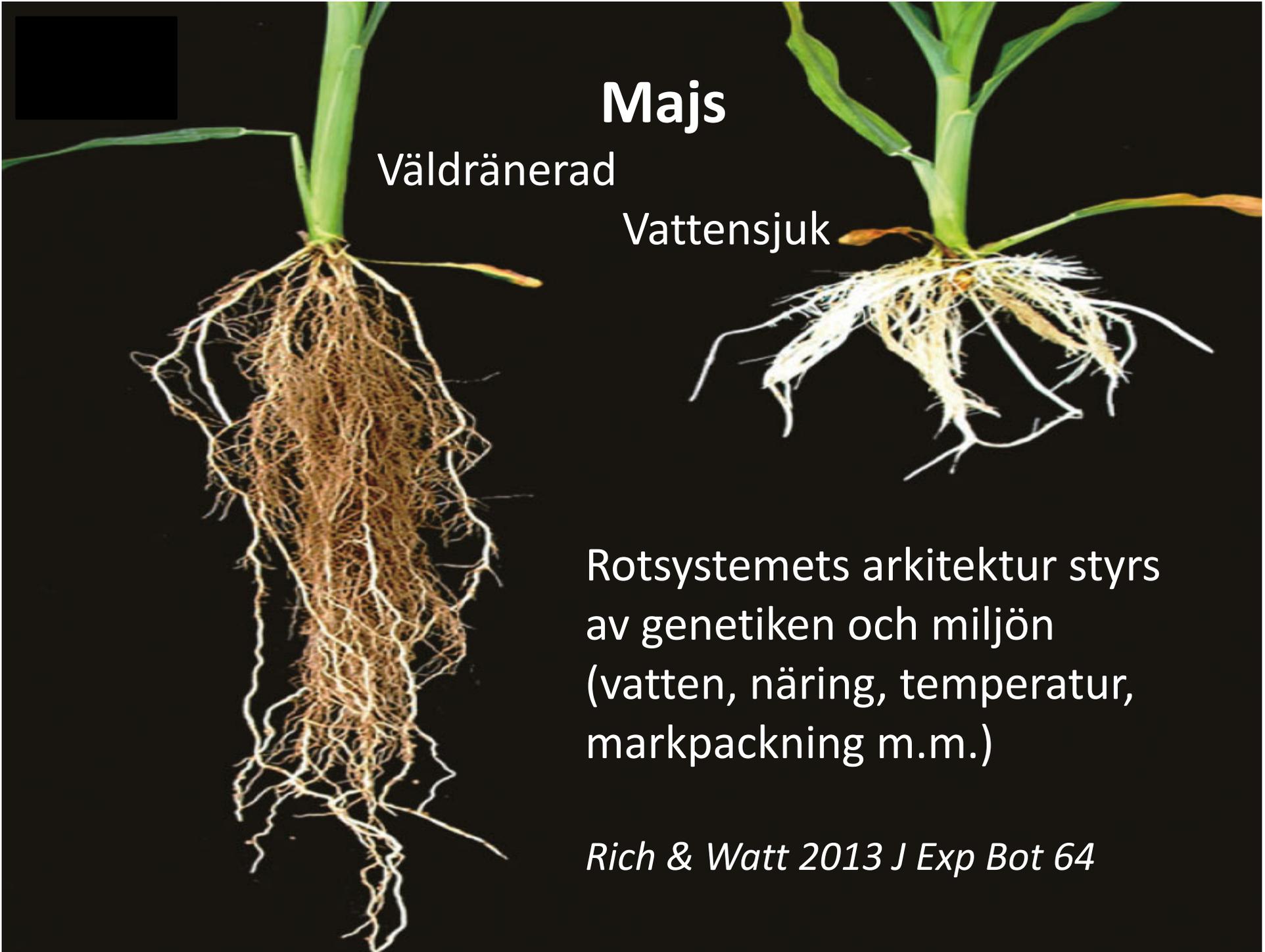
Majs

Välldränerad

Vattensjuk

Rotsystemets arkitektur styrs av genetiken och miljön (vatten, näring, temperatur, markpackning m.m.)

Rich & Watt 2013 J Exp Bot 64

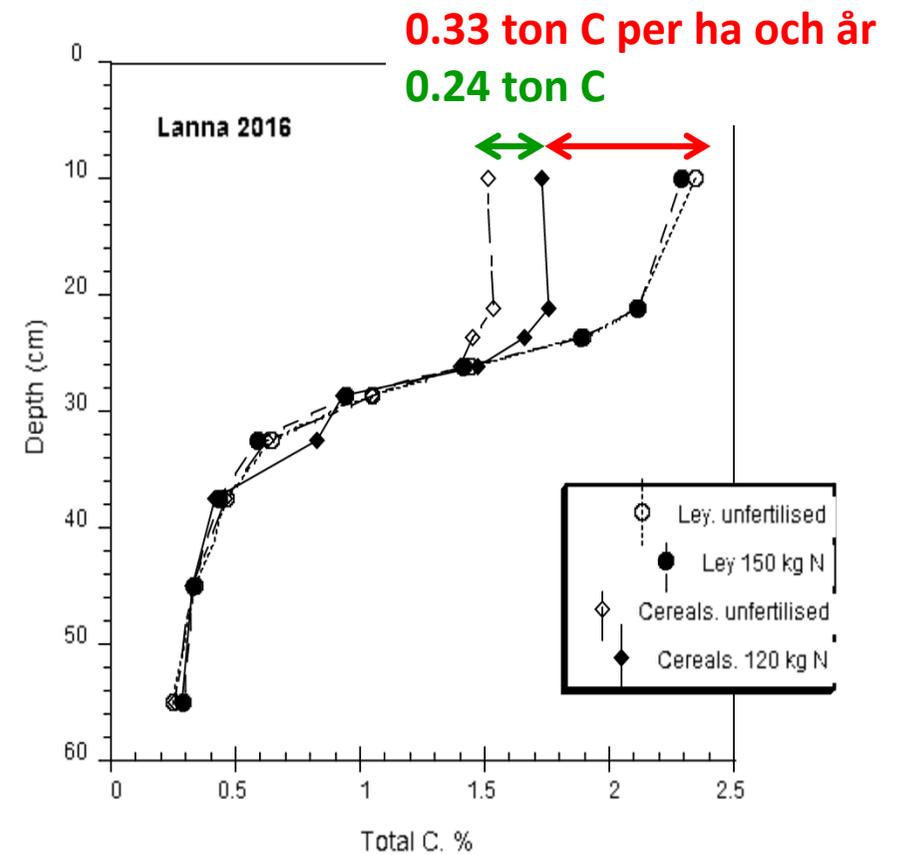
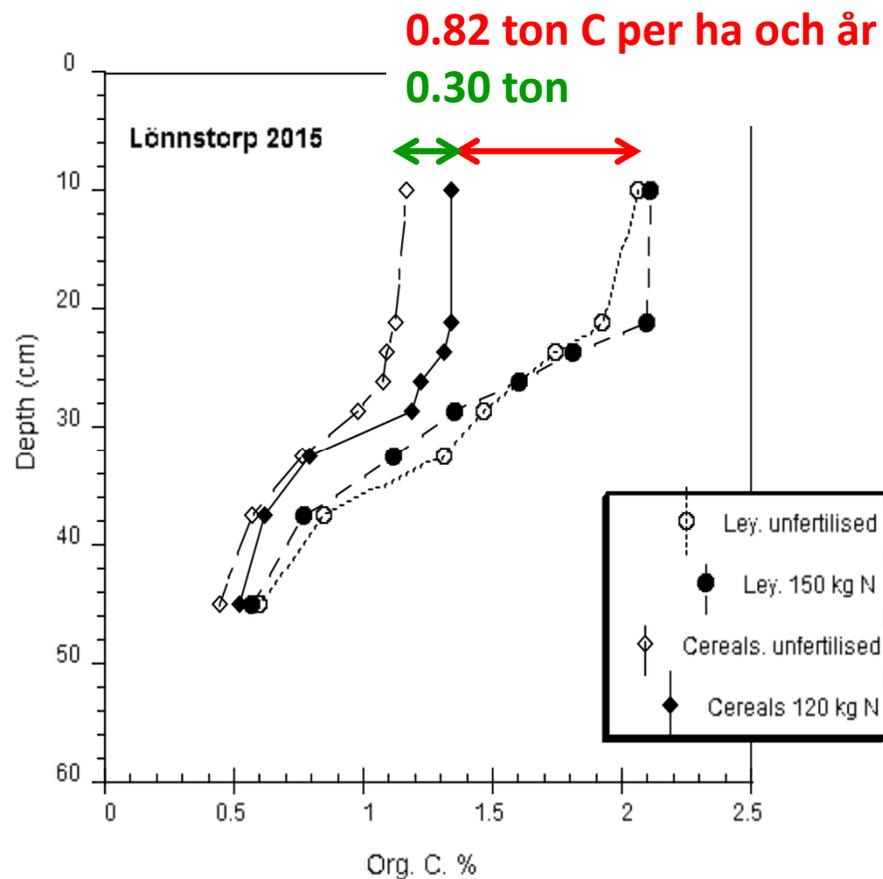


Markkol under långvarig vall och stråsäd efter 35 år

Samma försöksupplägg på 2 platser

Effekt av växtföljd: femårig vall vs. enbart stråsäd

Effekt av kvävegödsling i stråsäd monokultur



Inlagringenspotentialen i alven skiljer sig mellan platserna (Börjesson et al., 2018 BFS)

Fånggrödor, agroforestry, energiskog och kantzoner fångar kväve och kol och minskar erosionen



Resultat från svenska försök (16-24 år)

Poeplau et al., Geoderma Regional 2015

Global review: Poeplau and Don., AGEE 2015

0,3 ton C (1.2 ton CO₂) per hektar och år med fånggröda – motsvarande 0,4% av kolförrådet i matjorden.

**Inlagringspotential i Sverige för 0,4 Mha:
0,5 Mton CO₂ per år**

Ökad lustgasavgång (0.5 kg N) pga. fånggrödor (0.15 ton CO₂) enligt danska försök

(Duan et al. (2018) Front. Microbiol. 9:2629)



Potentiell kylningseffekt av mellangrödor genom kolinlagring och ökad albedo

[Lugato et al 2020 Environ. Res. Lett. 15 094075](#)

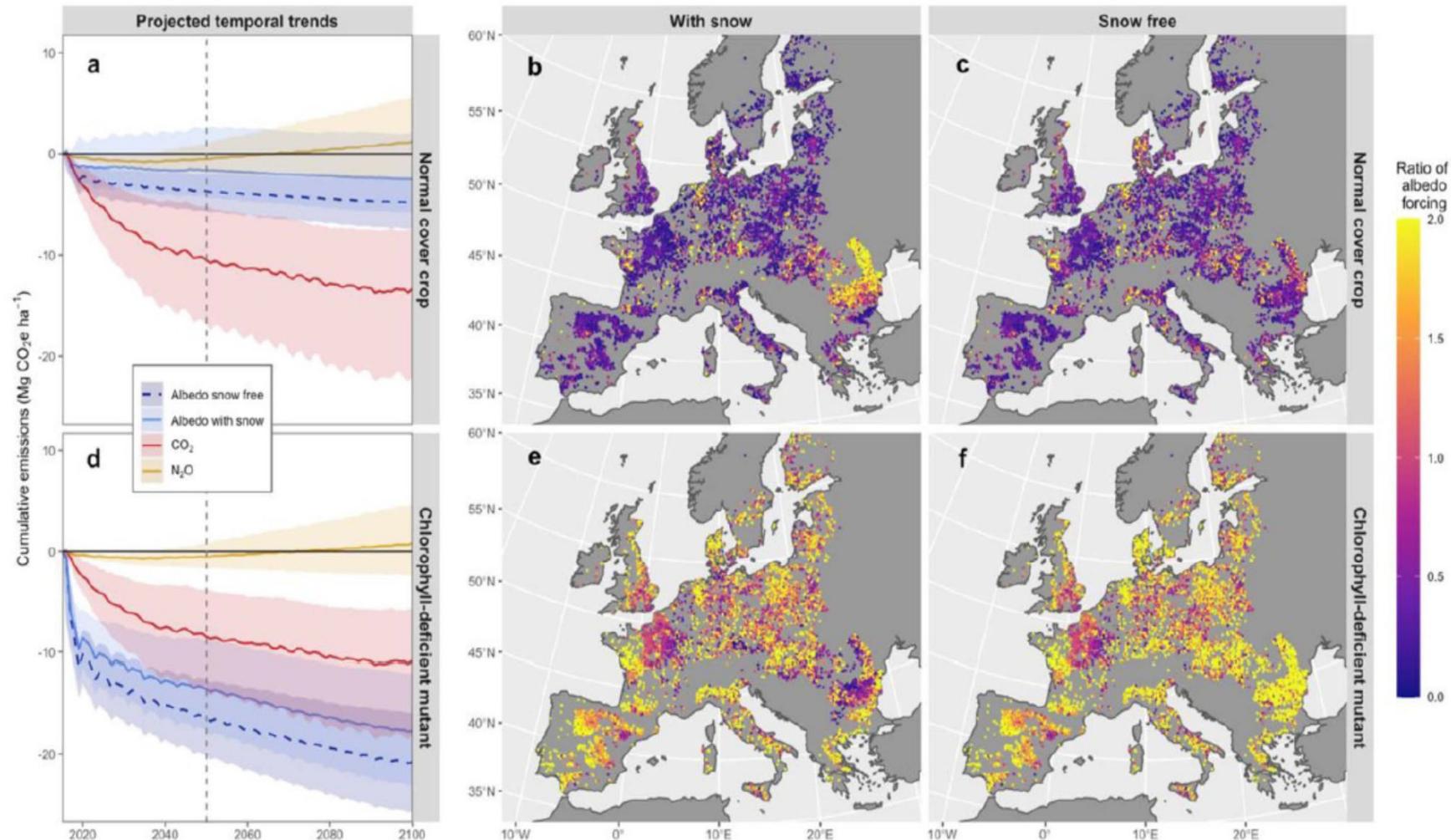
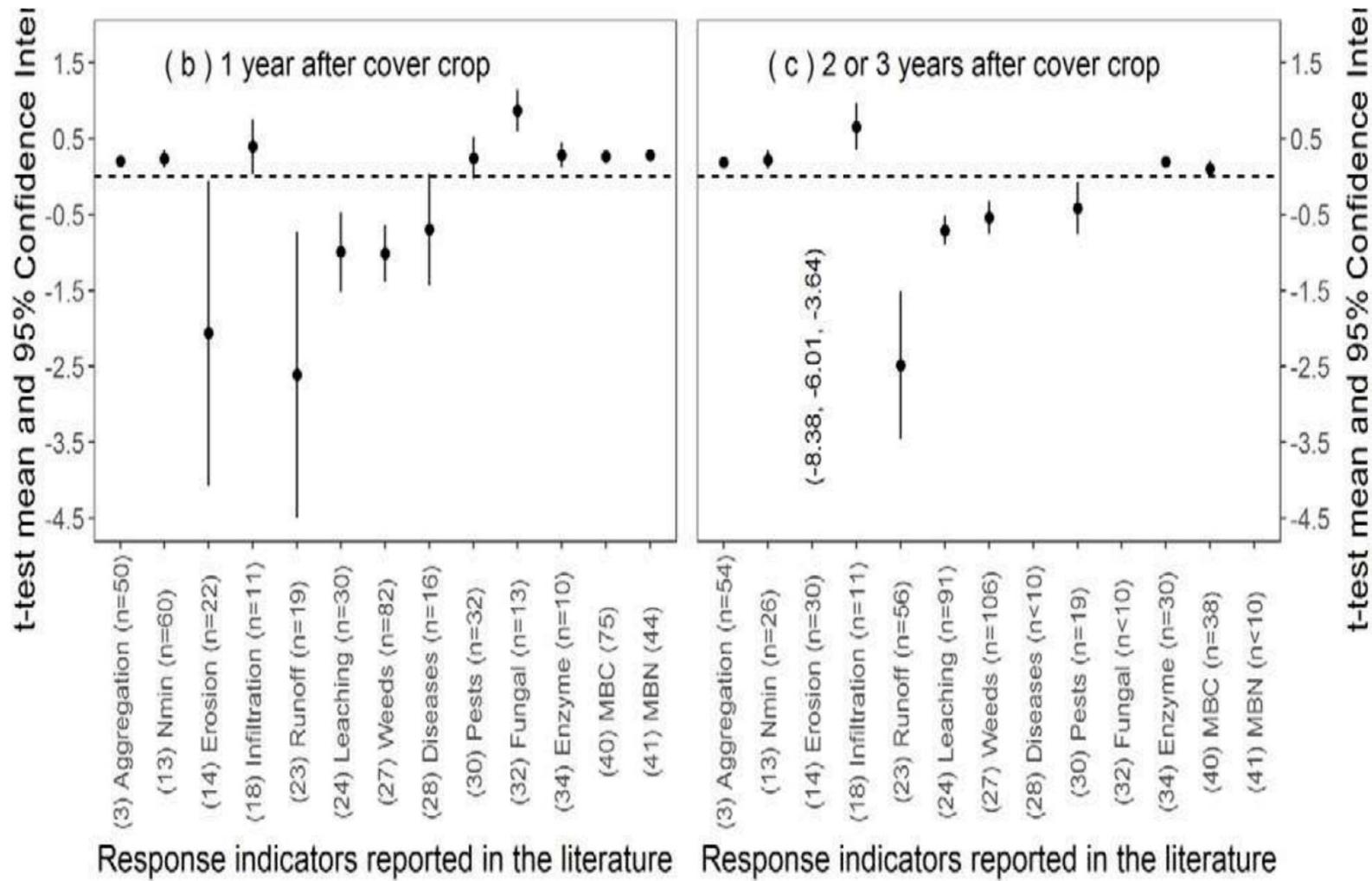


Figure 2. Mitigation potential of cover crops introduction. (a), (d) Cumulative trend of biophysical (albedo-driven) and biogeochemical (CO₂ and NO_x) emissions (Mg CO₂e ha⁻¹) over the 21st century, using either a normal crop (a) or a chlorophyll-deficient cover crop (d). The thick lines are the average of all locations simulated, while the shaded areas the interquartile range. Positive and negative emissions indicate an atmospheric source and sink, respectively. (b), (c), (e), (f) Spatial distribution of the albedo forcing ratio (*af_r*) at 2050 for normal and bright cover crops, under the snow (b), (e) and snow-free scenario (c), (f). The potential productivity of the chlorophyll-deficient cover crop was reduced by 20% than the normal one and the albedo set to 0.28. Values equal to 1 indicate that the GWP from albedo is equivalent to the net soil GHG flux in the absolute term.

Mellangrödor påverkar markegenskaper även på kort sikt enligt metaanalys
 (Stewart et al. 2018 <https://doi.org/10.2134/ael2018.06.0033>)



Vegetationsetablering på eroderade marker



resulterade i **0.6 ton C per ha och år** i försök i Island i genomsnitt över 50 år
(Arnalds et al., 2000)



Bolidens sandmagasin i Aitik, utanför Gällivare

Sedan 2002 har 600 000 ton rötslam används för vegetationsetablering



Undvik bar mark

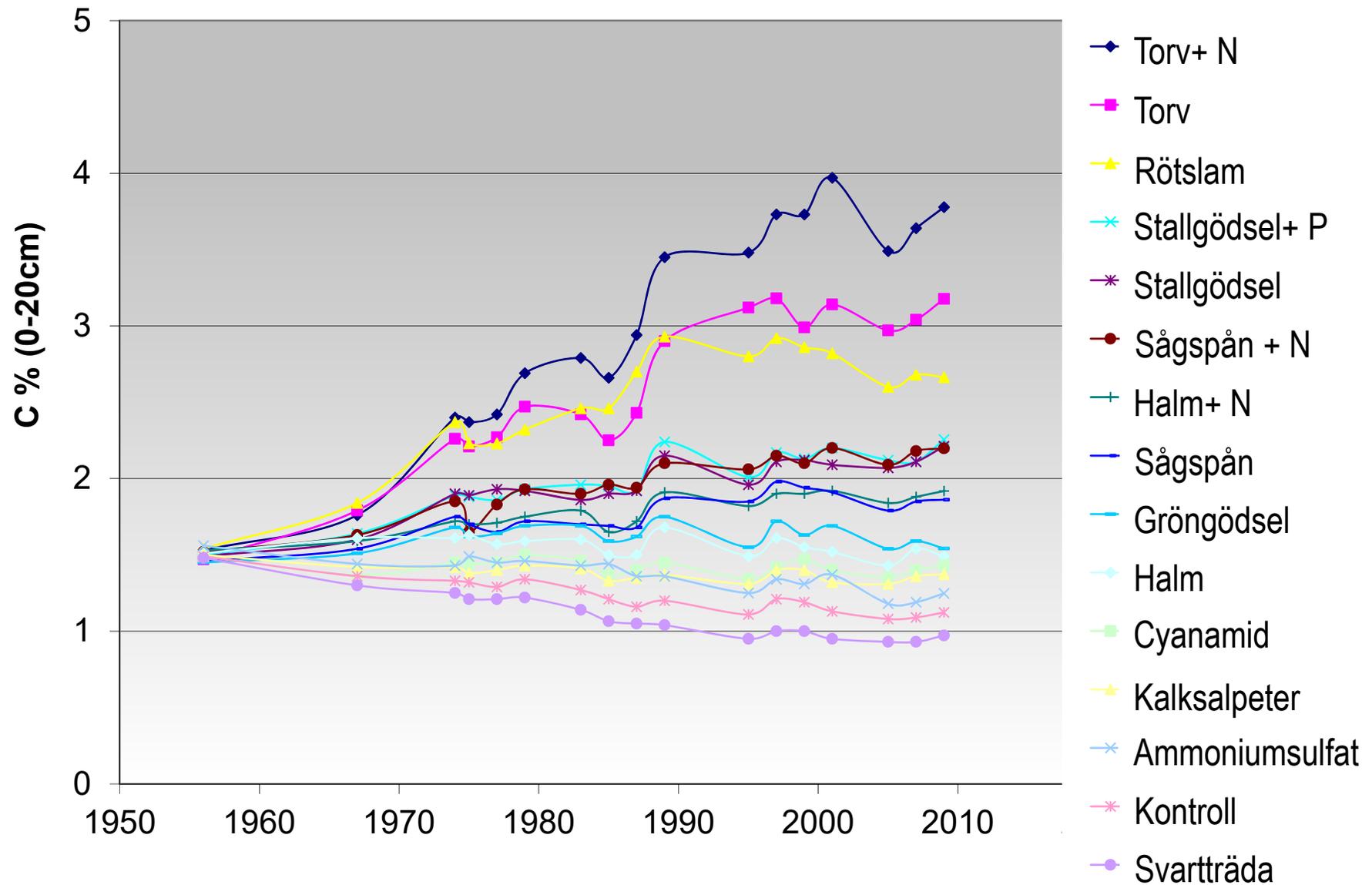


Ultuna Ramförsök, sedan 1956



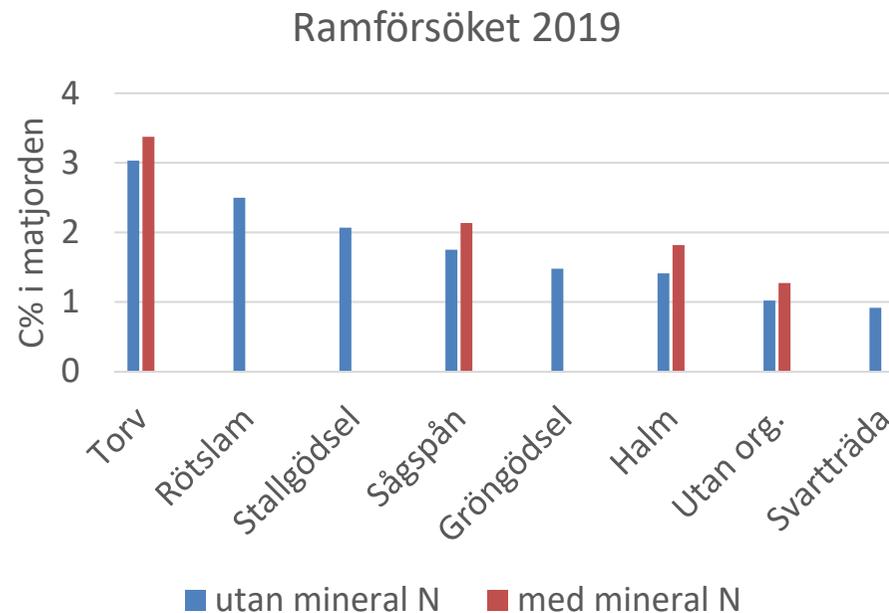
Samma mängd kol tillförsel i olika material vartannat år +/- N gödsling
15 behandlingar x 4 block

Markkol i ramförsöket



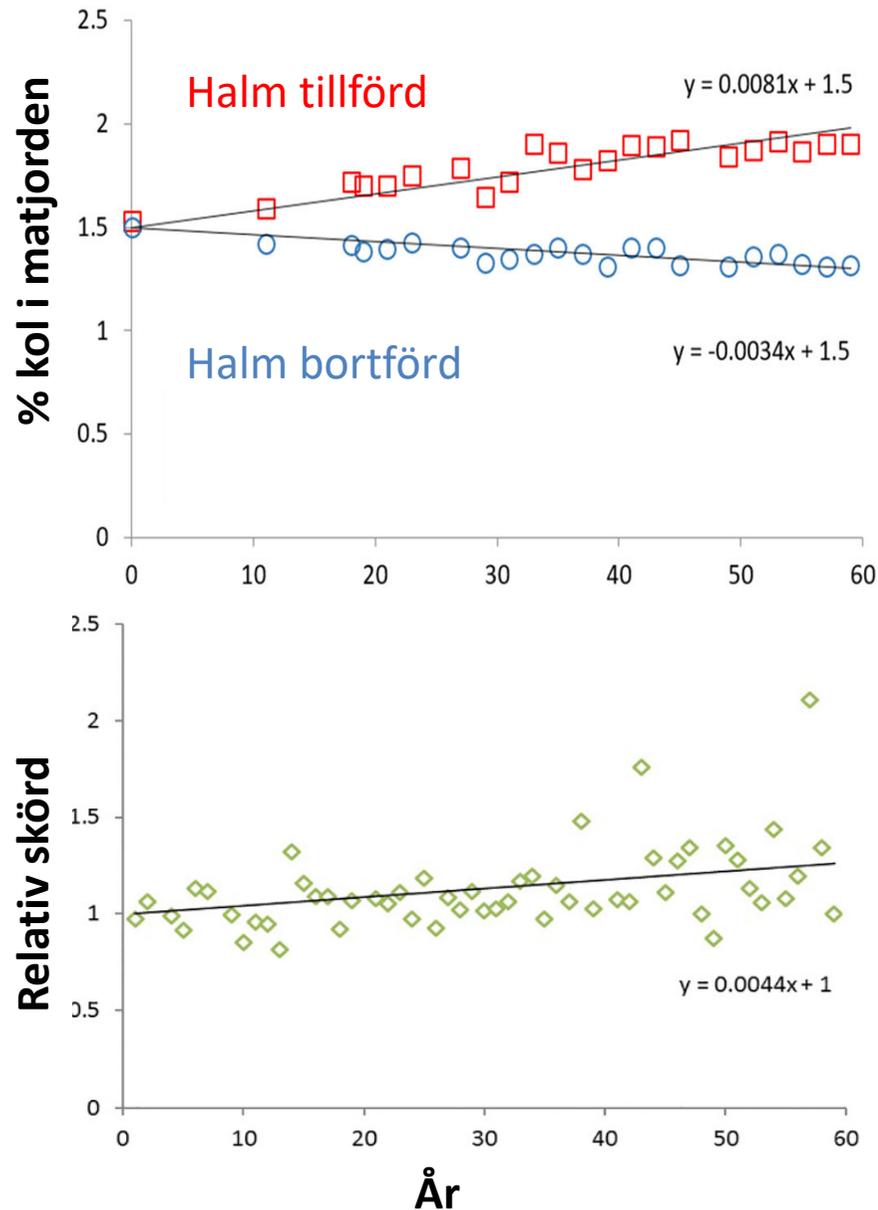
Kätterer et al. (2011) Agriculture, Ecosystem and Environment 141, 184-192

Tillförsel av organiskt material och kvävegödsling leder till högre kolförråd i marken



- **Kolinlagringen skiljer sig mellan de tillförda organiska materialen**
- **Kvävegödsling leder till högre rotproduktion och effektivare mikrober**
- **Rötter är effektivare att bygga kol jämfört med skörderester**

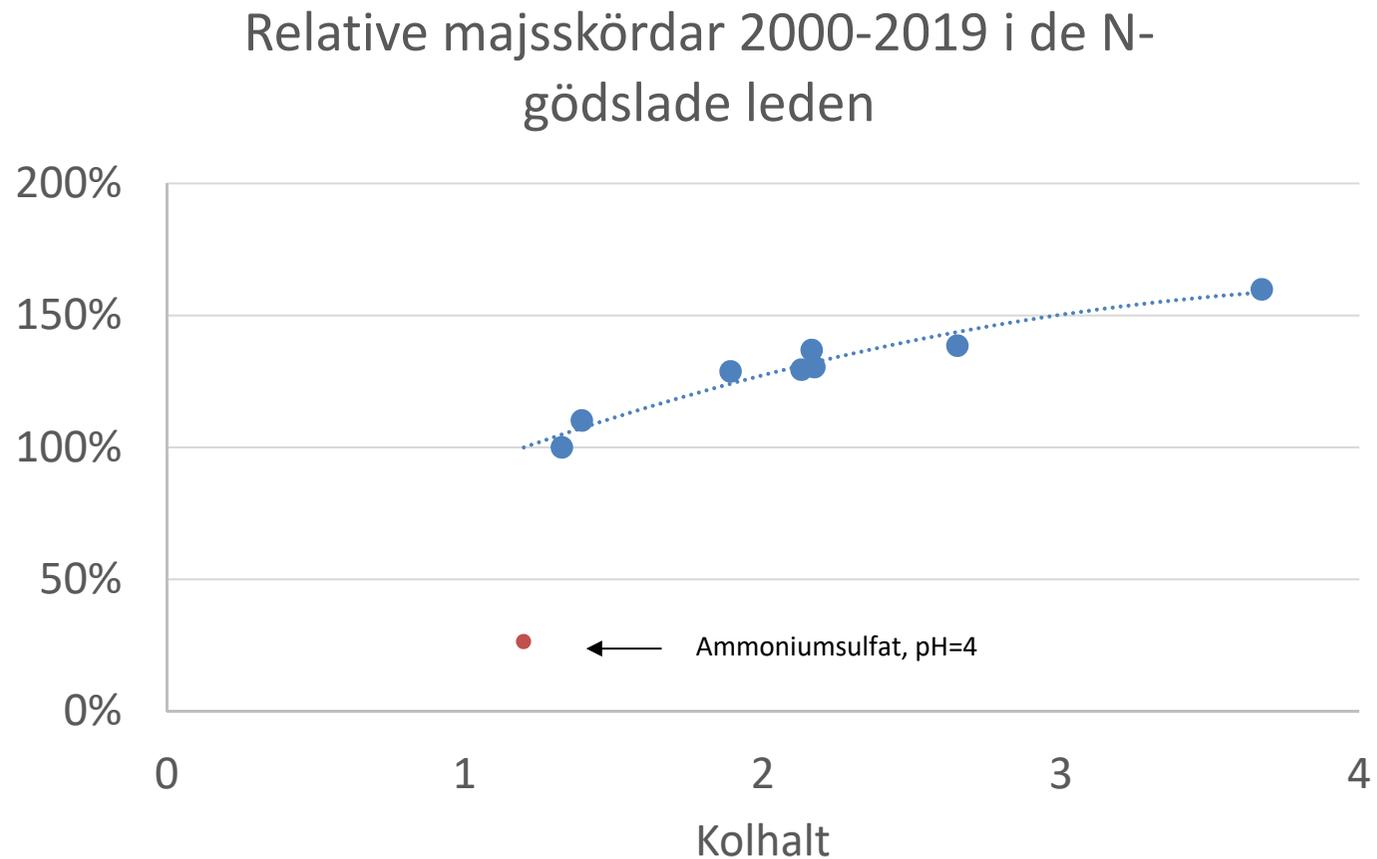
Skördepotentialen ökar med mullhalten



Ultuna ramförsök:

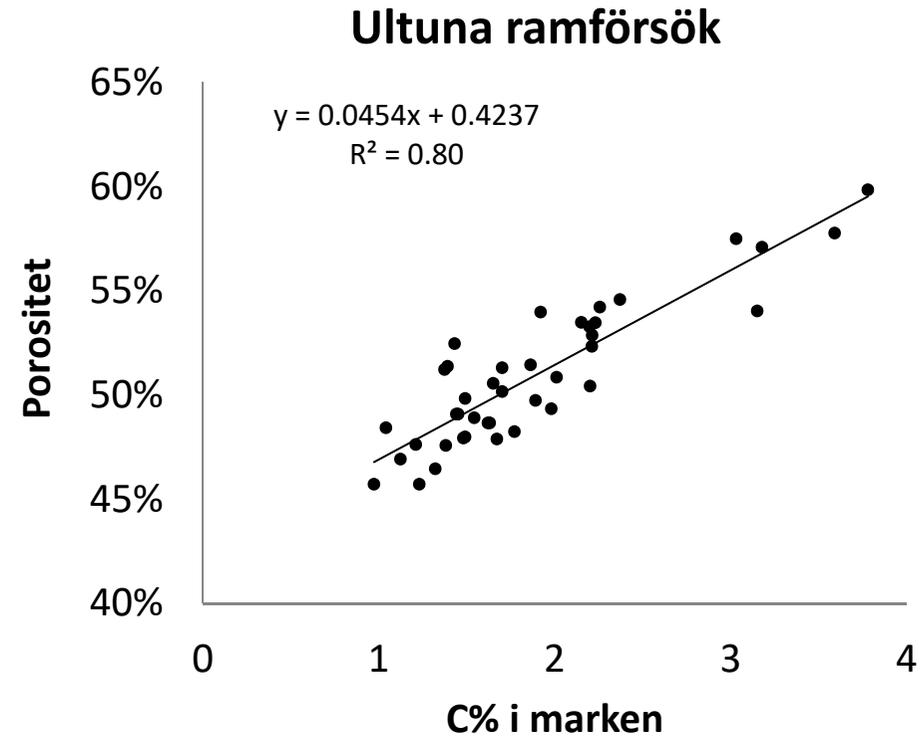
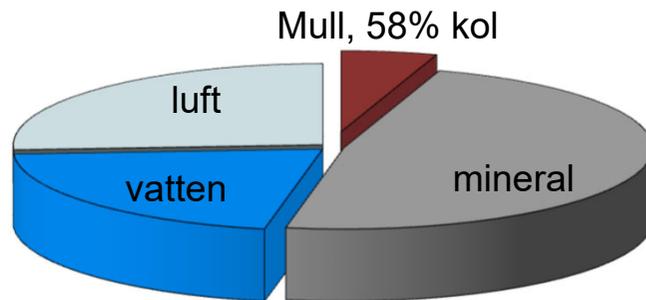
- **26% högre skördar efter 60 år**
- **Skörden ökade med 3,8 procentenheter för varje 0.1 procentenhet ökning av kolhalten i marken.**

Produktionen ökar med kolhalten i Ramförsöket



Upp till 60% skillnader i skörd

Markens porositet ökar med kolhalten

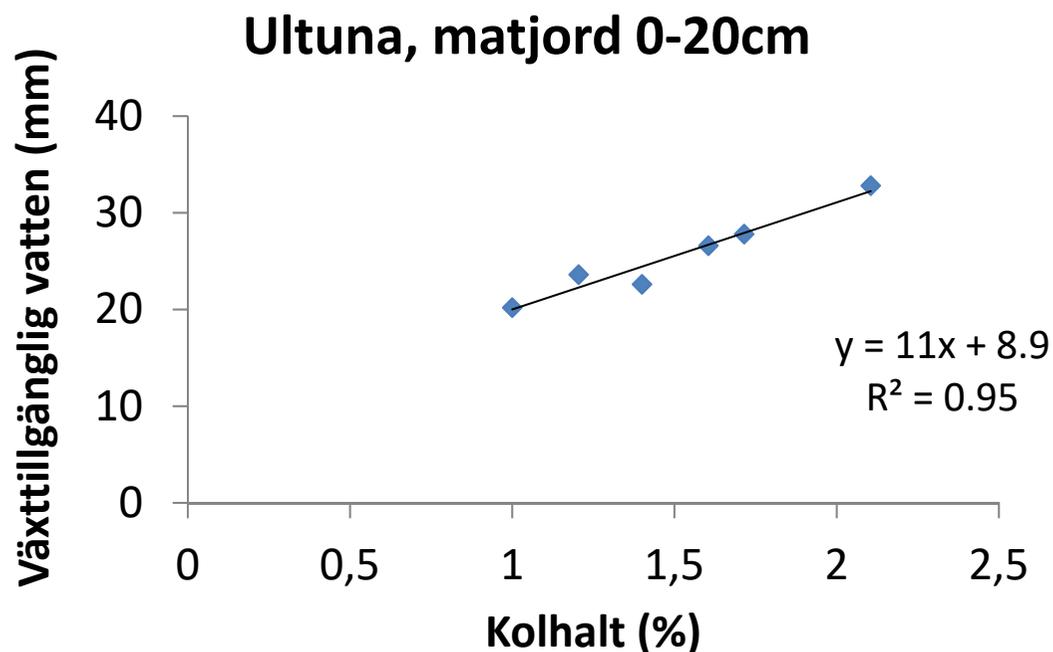


Lucker mark gynnar rotutvecklingen och leder till ökad utnyttjande av vatten och näring

Kätterer et al. 2011. AGEE



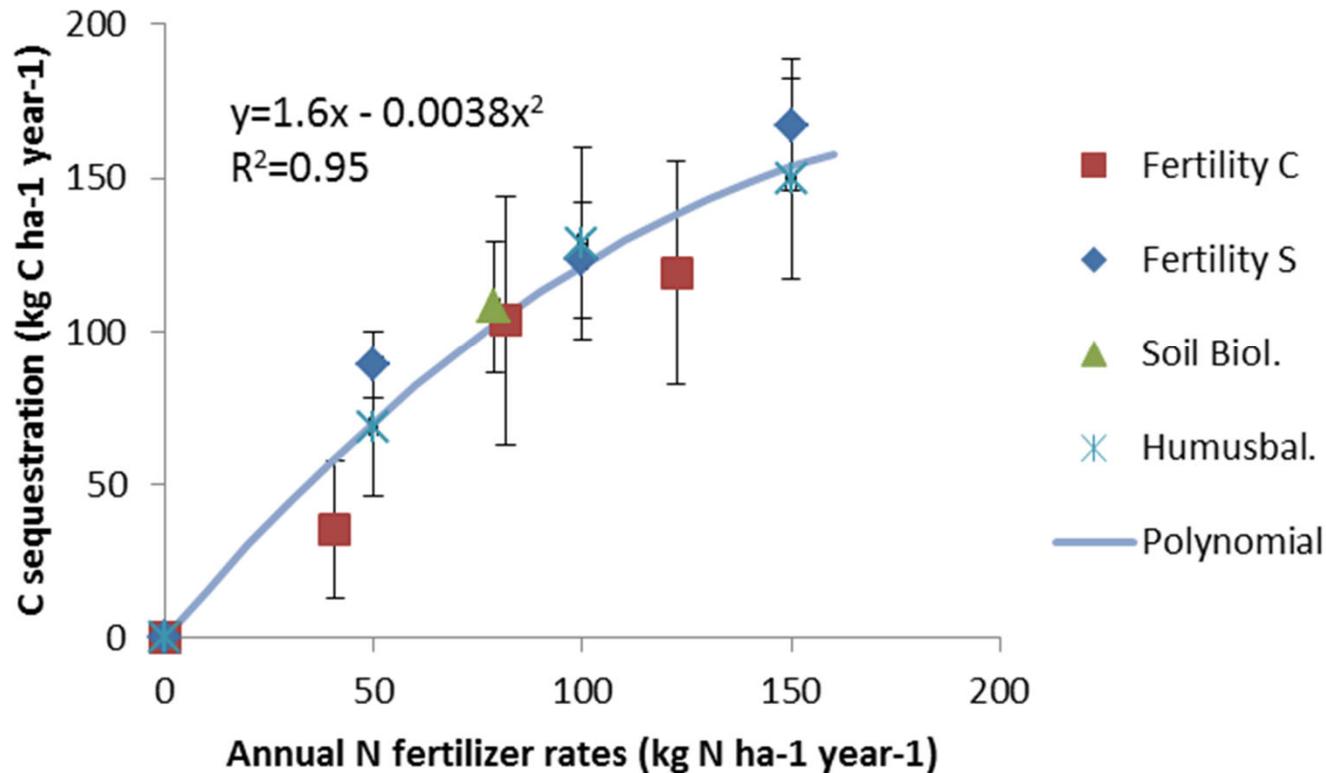
Växternas tillgång till vatten ökar med kolhalten



En ökning av kolhalten med en procentenhet

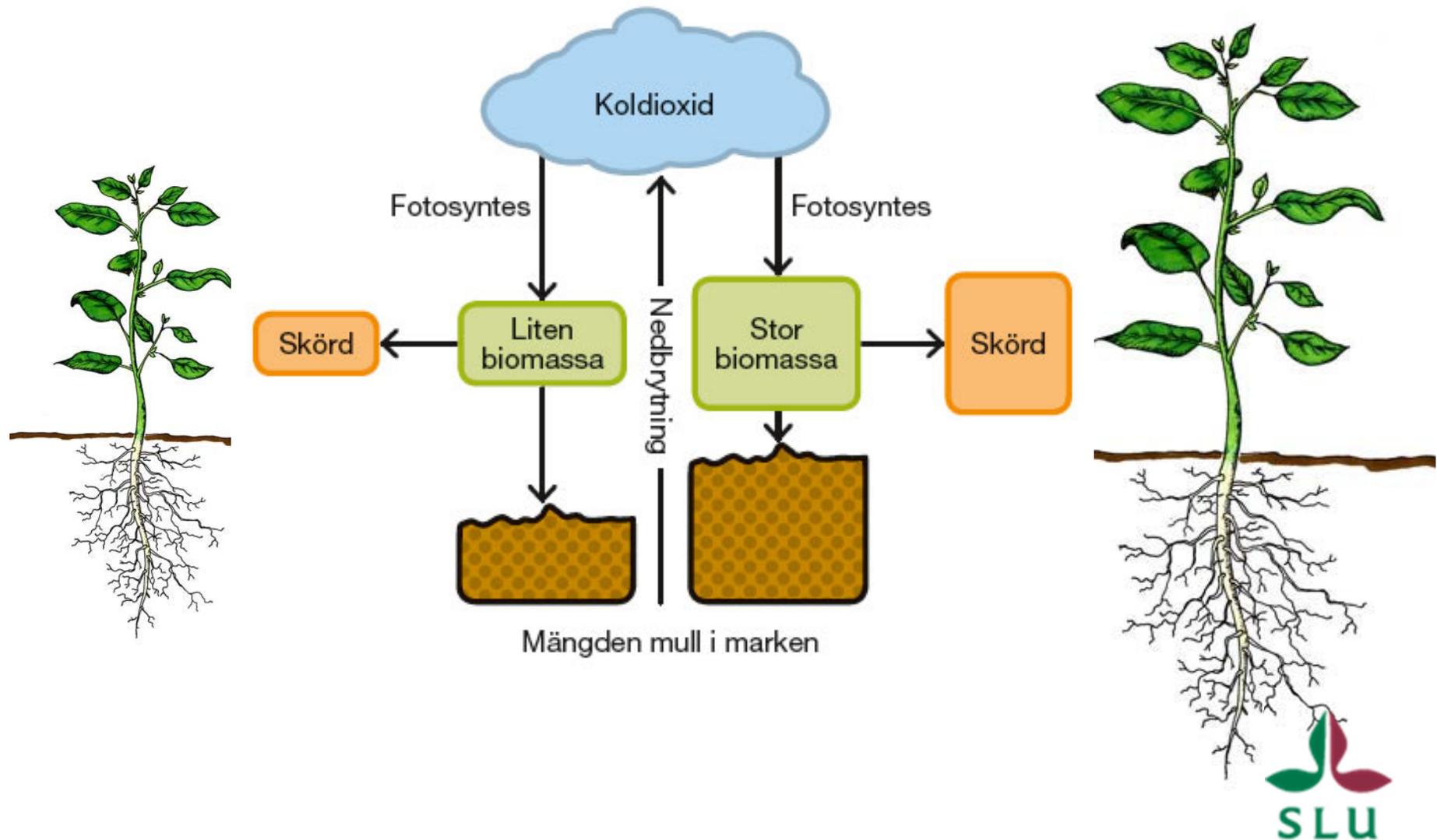
- Ökar mängden växttillgänglig vatten med 5-15 mm
- Ökar infiltrationen
- Minskar erosionen

Resultat från 16 långliggande försök (4 serier):
**Varje kilo N höjer kolförrådet i marken med
drygt 1 kg C i matjorden (0-20 cm)**



Tillkommer: kolfastläggning i alven: cirka 0.5 kg C kg⁻¹ N

Hög produktion leder till hög kolförråd och vice versa

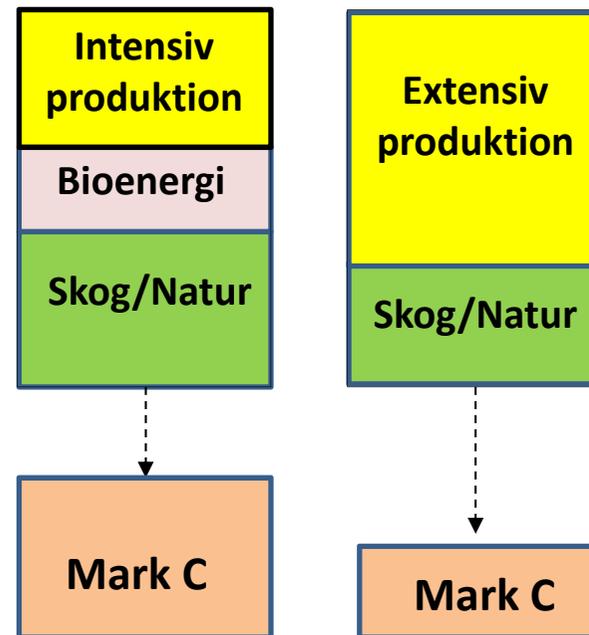


Låga skördar ökar arealbehovet

-> avskogning -> lägre kolförråd i marken även någon annanstans



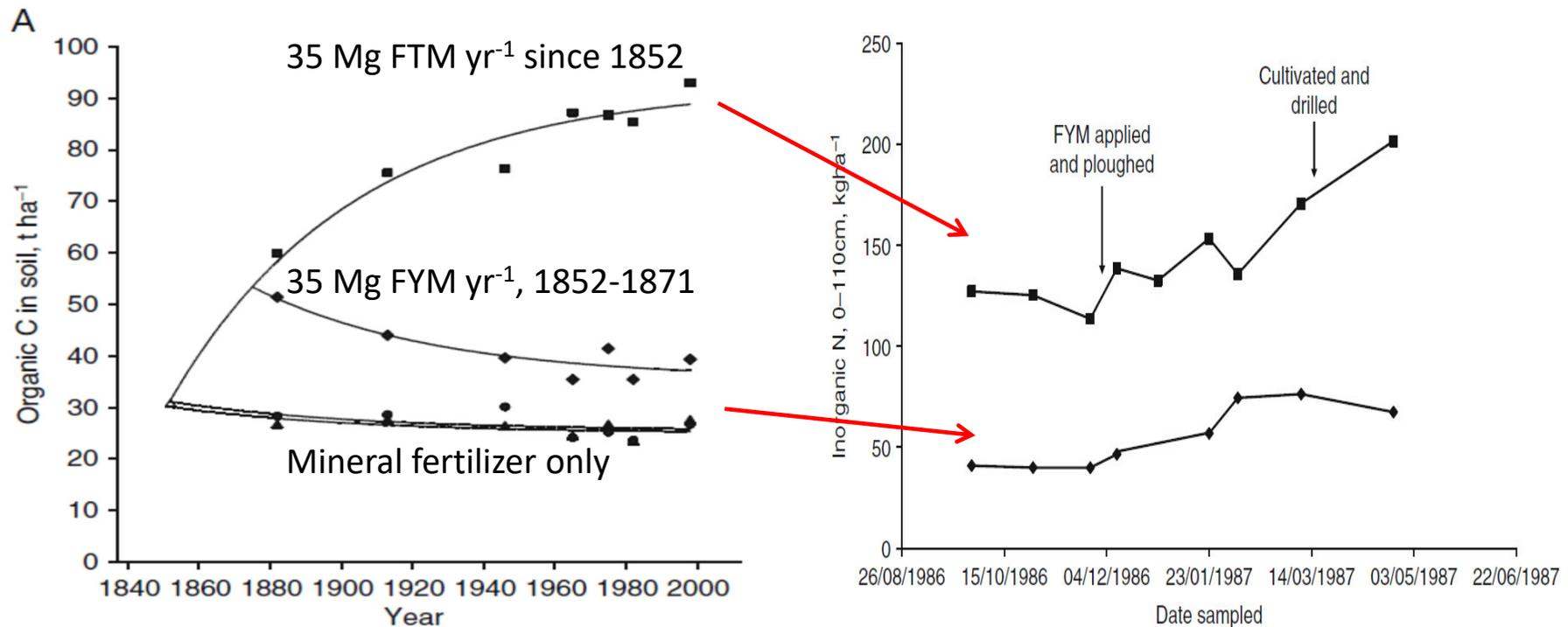
Arealbehov för att producera en viss mängd



Produktionen per yta måste öka för att försörja en växande befolkning

Hög multhalt har mest fördelar – men inte bara

Hoosfield Continuous Barely, Rothamsted



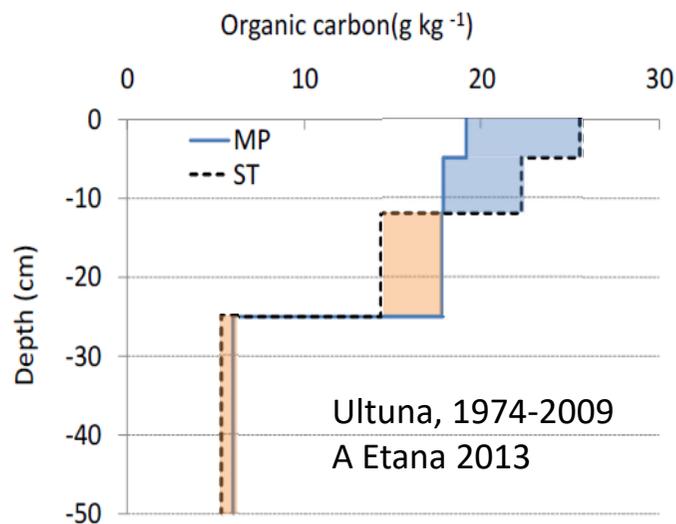
3 x högre kolhalt → 3 x nitrat under höst/vinter → 3 x risk för N-läckage och lustgasavgång

Reducerad jordbearbetning?

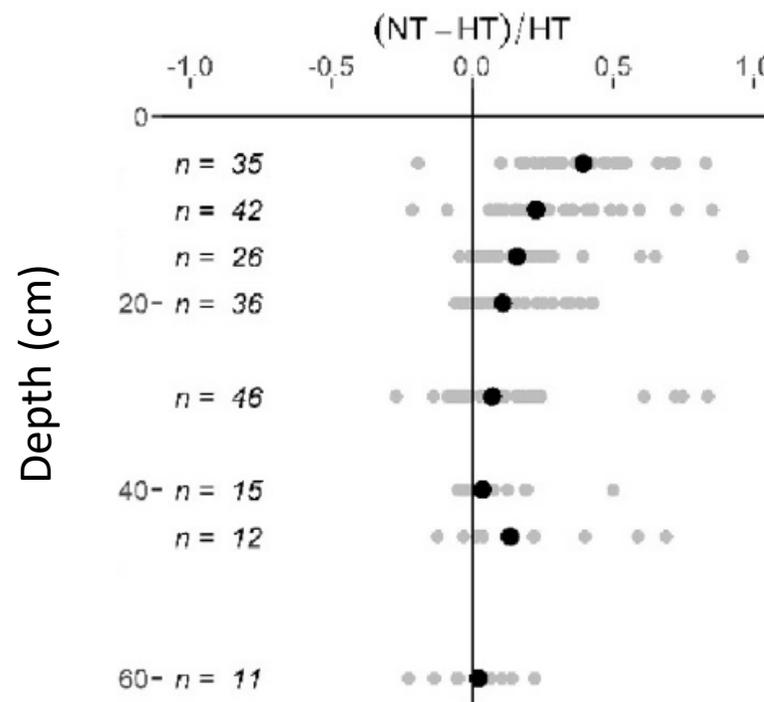


Resultat från 101 försök (>10 år) i tempererad klimat:
Över hela profilen (0-60 cm) ingen significant effekt
av "No Till" (NT) jämfört med plöjning (HT). Figuren
visar ackumulerade kolförråd.

Meurer mlf., 2018. Earth-Science Reviews



Ytlig bearbetning jämfört med plöjning
ledde till högre kolhalt i översta lagret
men lägre i djupare lager



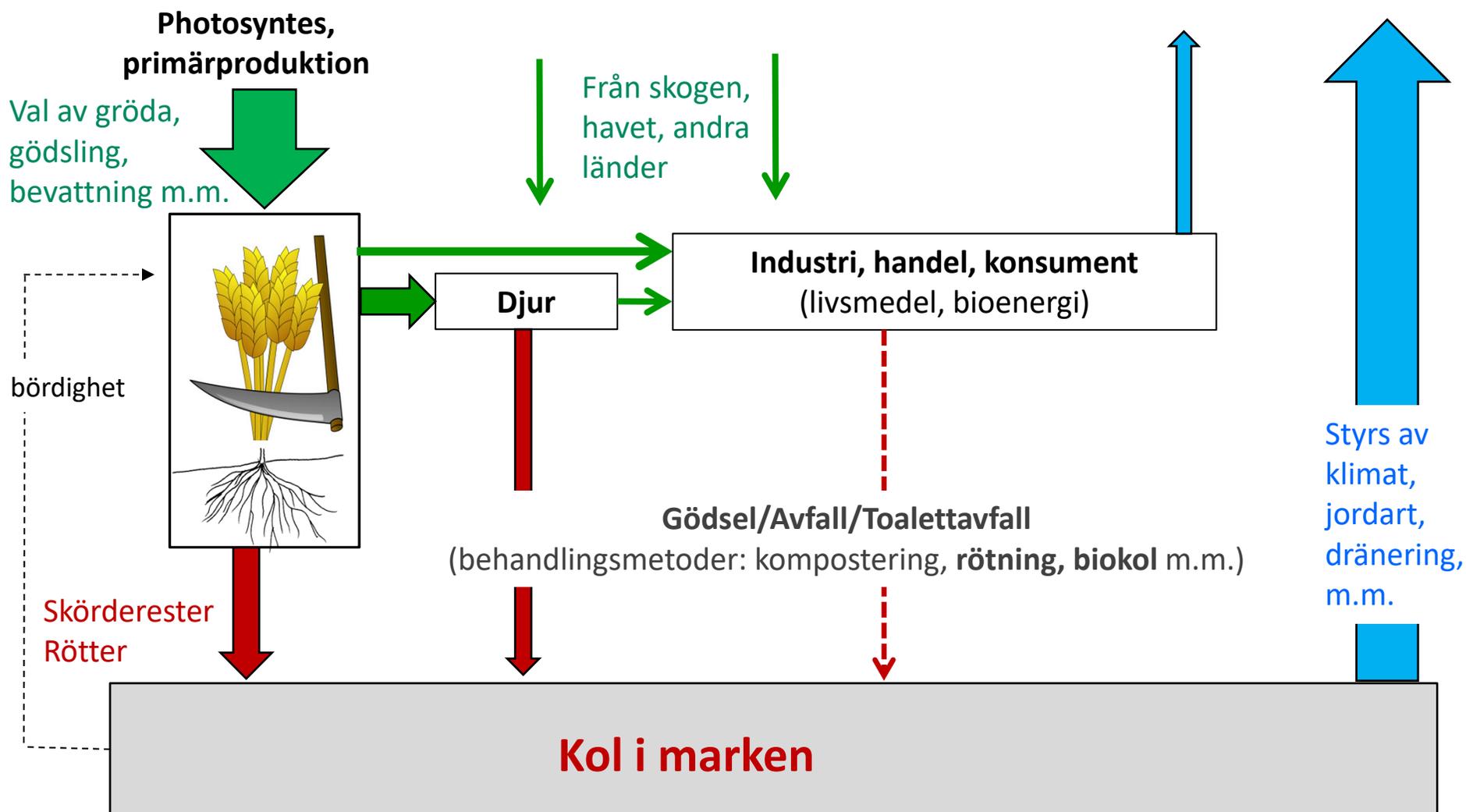
Stor variation!

Djupplöjning till 1 meter ökade kolförrådet med 42% i genomsnitt över 10 lokaler i Tyskland efter 35-50 år



Alcántara et al., GCB 2016

Markens kolbalans kan påverkas, främst genom primärproduktion

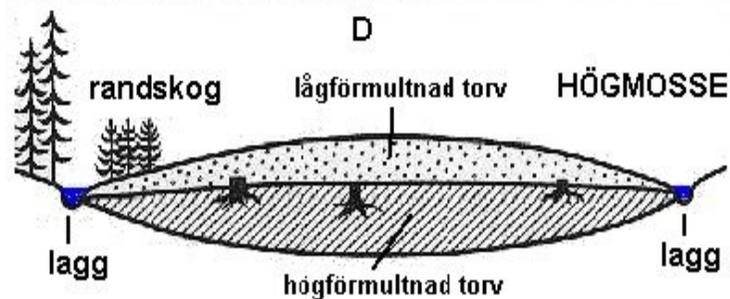
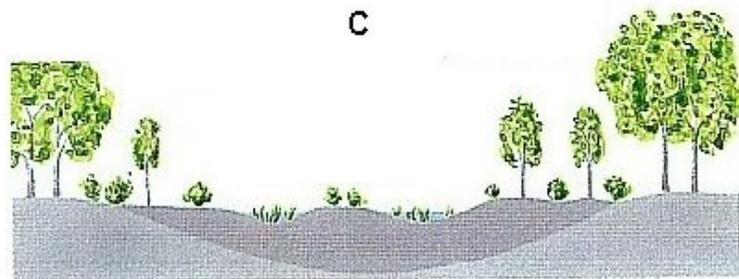
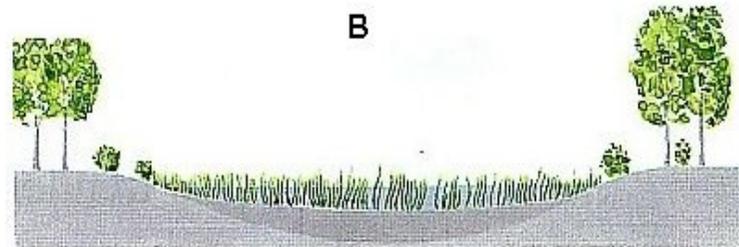
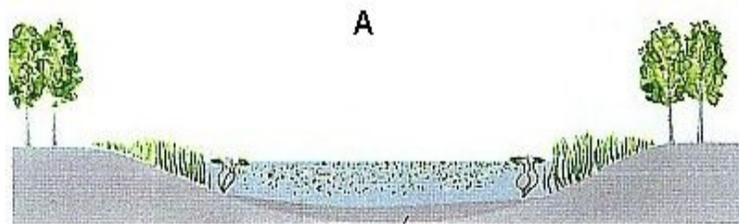


Dränerade mulljordar – stor källa för CO₂ och N₂O

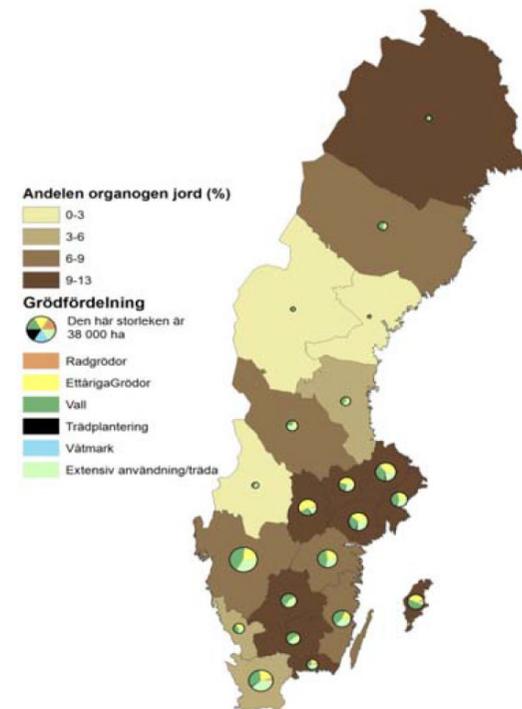


2 m subsidens på 100 år
(Bälinge, Uppland)

Organogena jordar



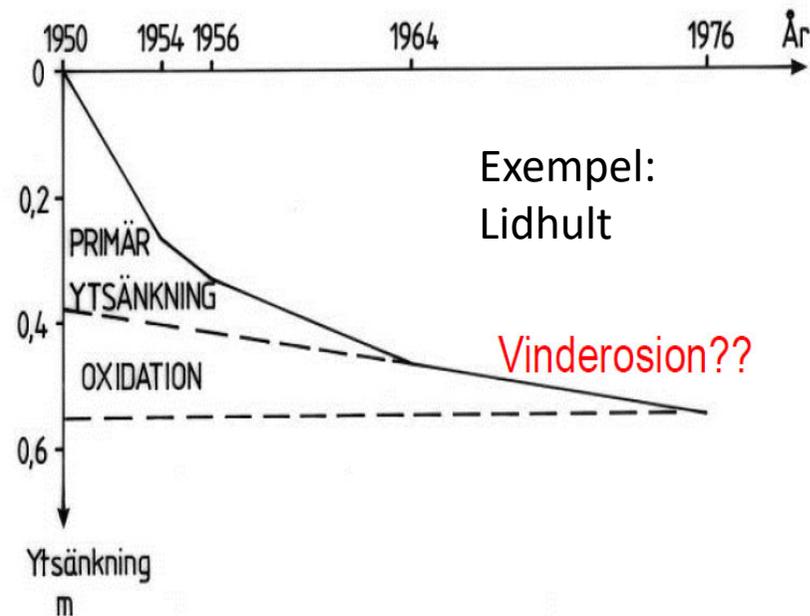
- 25% av Sverige landyta
- Ca. 8% av jordbruksmarken
- Från 0,7 Mha 1946 till 0,23 Mha idag
- Kärrtorv – näringrik
- Mosstorv – näringsfattig



Subsidens i dränerade jordbruksjordar i långliggande försök

Plats	cm/år
Örke	0,7
Kälkestad (omdränerat)	0,7
Lidhult (mosstorv)	0,8
Martebo (nydränerat)	2,7
Majnegården	1,0
Ytterby	1,3
Kukkola (vall/stråsäd)	0,5
Kukkola (vall)	0,2
Majnegården (stråsäd)	0,8
Majnegården (betesvall)	0,2

Källa: Kerstin Berglund



- Stor variation i subsidens
- Osäkert hur mycket som beror på oxidation av organiskt material

Klimatrapporteringen av mulljordar bygger på ett tunt dataunderlag

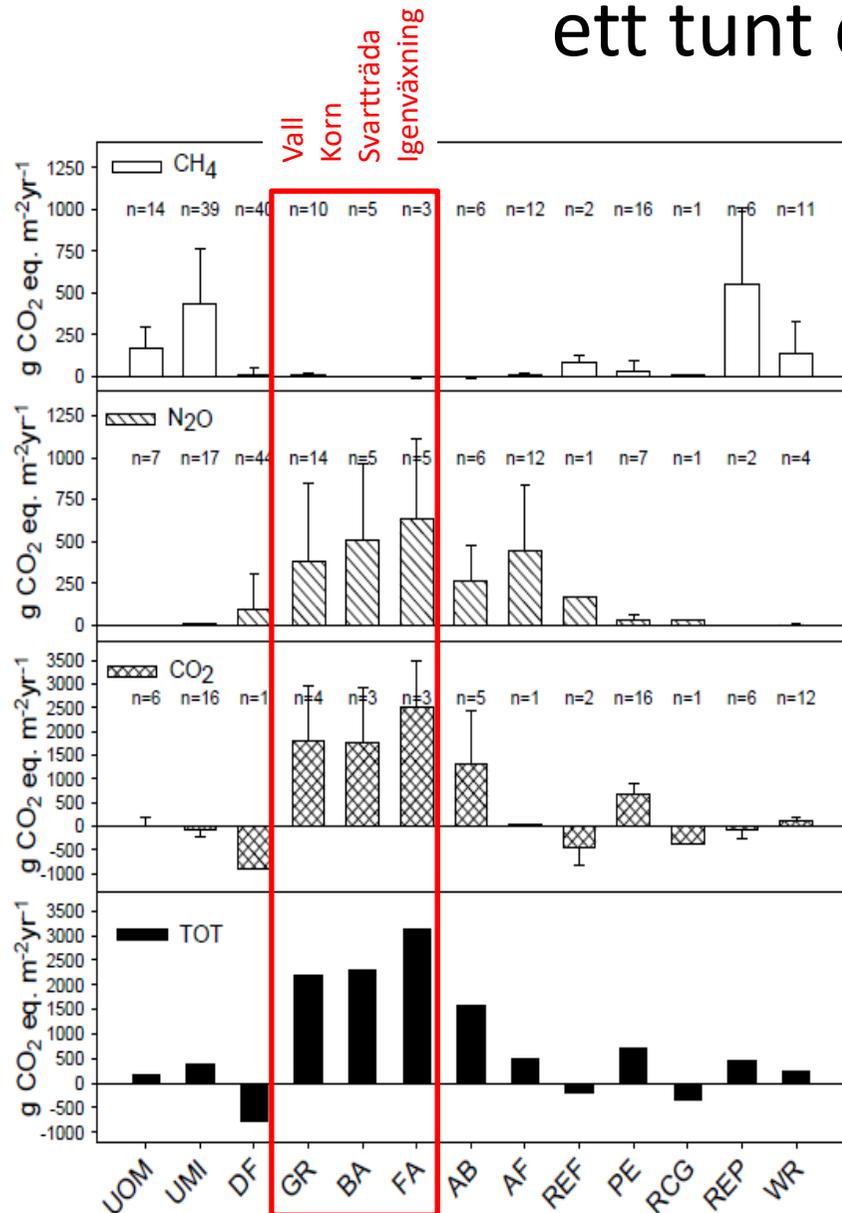


Fig. 1. The mean values of reported annual net fluxes of CH₄, N₂O and CO₂ exchange and the net effect of these gases as g CO₂ equivalents m⁻² (100-year time horizon) from different peatland categories in the Nordic countries (UOM=undrained ombrotrophic peatlands and UMI=undrained minerotrophic peatlands (from Saarnio et al., 2007), DF=ombrotrophic and minerotrophic sites drained for forestry, GR=drained for agriculture – grass, BA=agriculture – barley, FA=agriculture – fallow, AF=agriculture – afforested, AB=agriculture – abandoned, REF=forestry – restored, PE=drained for peat extraction, PEF=peat extraction – afforested, RCG=abandoned peat extraction – cultivation of reed canary grass, REP=drained for peat extraction – restored, WR=water reservoirs). A negative value indicates uptake by the ecosystem and a positive value net emission, *n* = number of sites, error bars indicate standard deviation between sites.

GR = grass
 BA = barley
 FA = fallow
 AB = abandoned

Dränerade mulljordar (Harbo, Uppland)

Spannmål

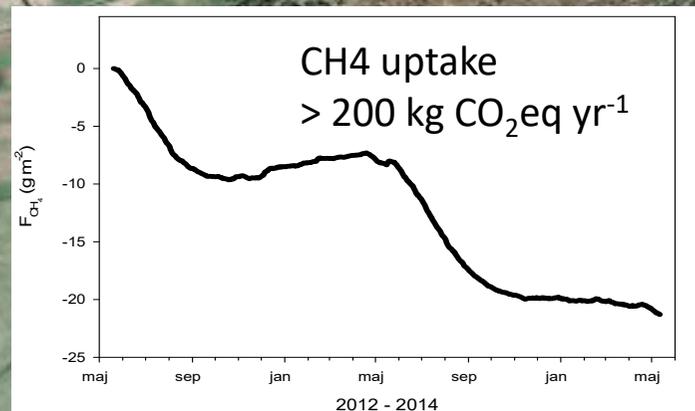
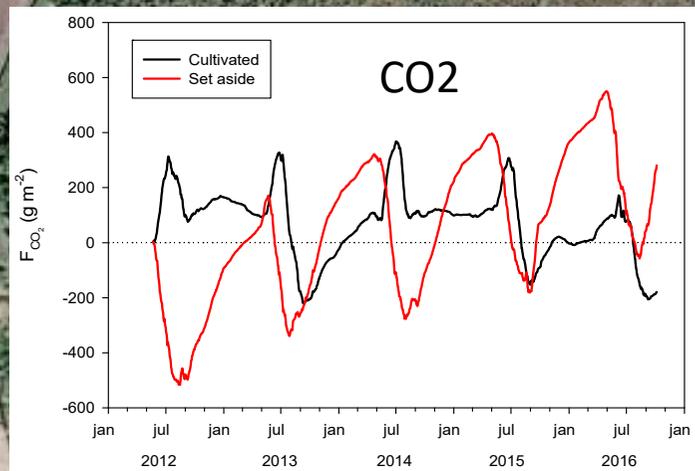
Grönträda

Årliga CO₂-utsläpp enligt klimatrapporten NIR är mycket högre än våra mätningar:

Åkermark: 22 t CO₂ ha⁻¹ år⁻¹

Betesmark: 9,5 t CO₂ ha⁻¹ år⁻¹

Vi behöver fler mätningar på mulljordar

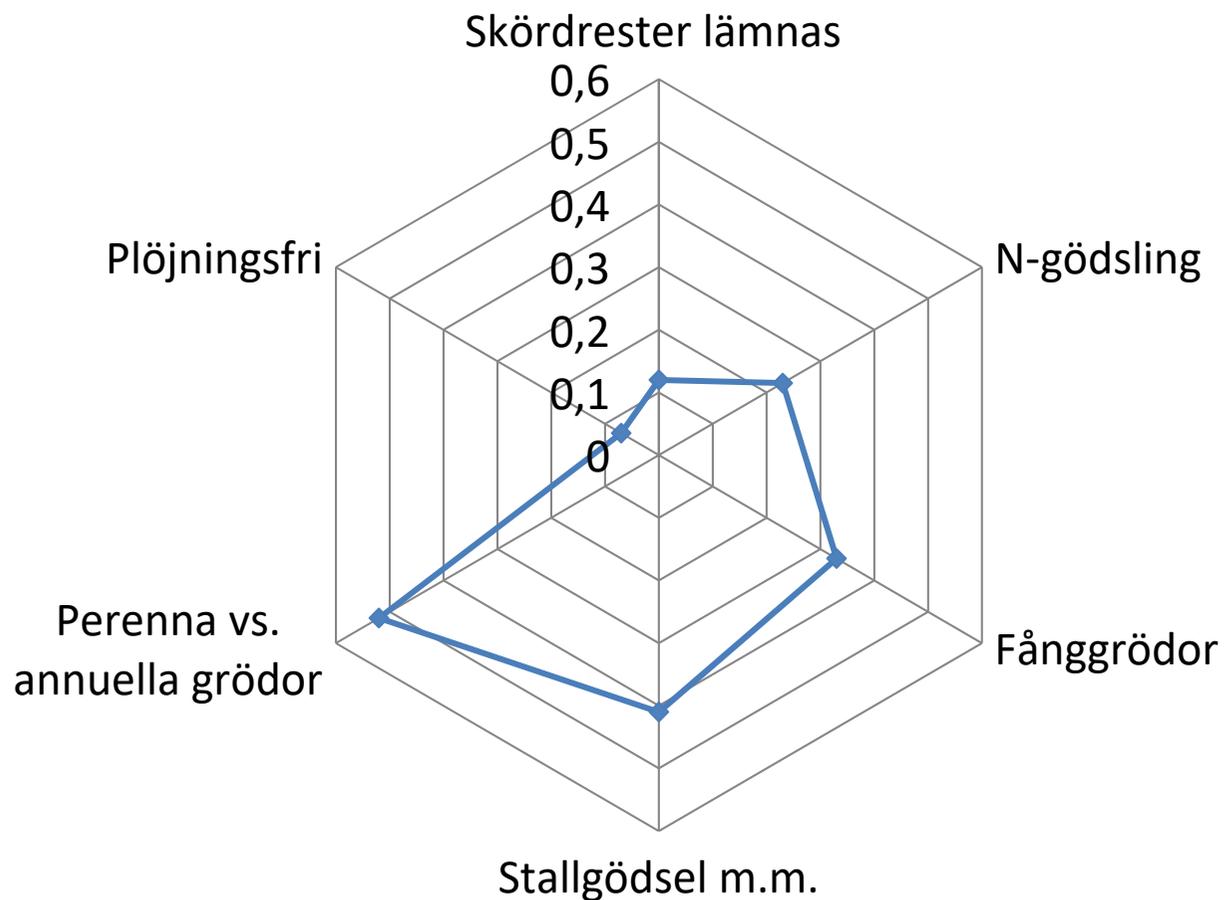


Hadden & Grelle, 2017

Sammanfattning:

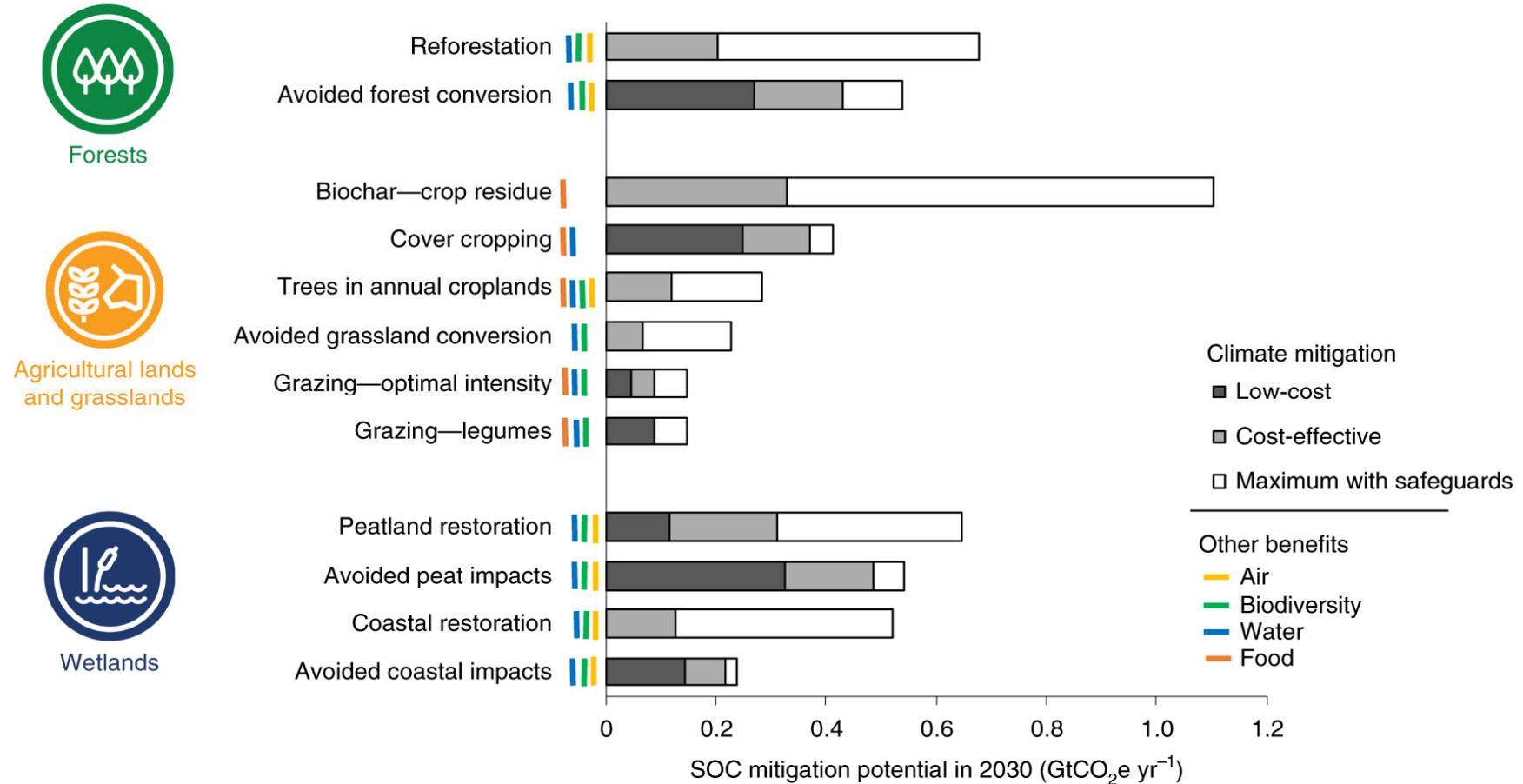
Åtgärder för kolinlagring i mineraljordar (ton C per ha och år)

– baserad på litterarstudier >1000 försök (Bolinder et al., 2020)



Oklart hur vi skall hantera mulljordarna?

Global potential



We estimate the annual maximum potential of climate mitigation with safeguards for the reference year 2030. The light-grey portions of the bars represent cost-effective mitigation levels assuming a global ambition to hold warming below 2 °C (<US\$100 (MgCO₂e)⁻¹ yr⁻¹). The dark-grey portions of the bars indicate low-cost mitigation levels (<US\$10 (MgCO₂e)⁻¹ yr⁻¹). Ecosystem service benefits linked with each pathway are indicated by coloured bars for biodiversity, water (filtration and flood control), food and air filtration. Most pathways also contribute biomass carbon (see Fig. 2), with the exception of pathways that are entirely SOC: biochar, cover cropping, both grazing options and avoided grassland conversion. More than half of the pathways (reforestation, cover cropping, biochar, trees in croplands, grazing, improved pasture options and coastal wetland restoration) represent enhanced SOC sinks, while the others are avoided SOC losses. The remaining 8 of the 20 pathways from Griscom et al.³² are not expected to have an impact on SOC and therefore have not been included in this figure. Icon credit: The Nature Conservancy.

Sammanfattning:

Hur kan öka kolförrådet i marken

- Stoppa avskogningen på södra halvkoltet – globalt störst effekt
- Hög produktion
- Rötter är viktiga för kolinlagring
- Grön mark året om (flerårig växter, fånggrödor, åkerkanter, agroforestry)
- Växtförädling – större rotbiomassa, svårnedbrytbara skörderester, flerårig stråsäd
- Behandling av skörderest och rester från samhället påverkar stabiliteten av kolet (biokol, rötrest, kompost, slam)
- Stallgödsel leder inte till kolfastläggning på nationell nivå eftersom den är en del av kretsloppet och 100% används redan idag
- Forskning, teknikutveckling, rådgivning och utbildning behövs



Tack för din uppmärksamhet!

Foto: Igelösa, G Börjesson