Odlingssystemets effekt på kolinlagring i mark

Thomas Kätterer

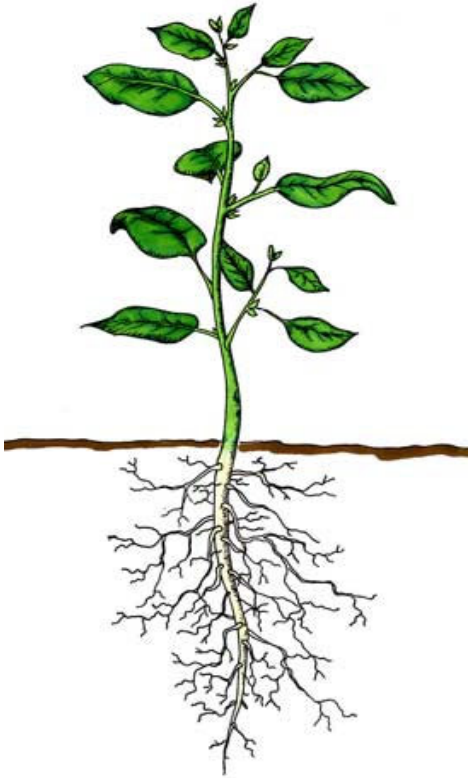
Sveriges Lantbruksuniversitet

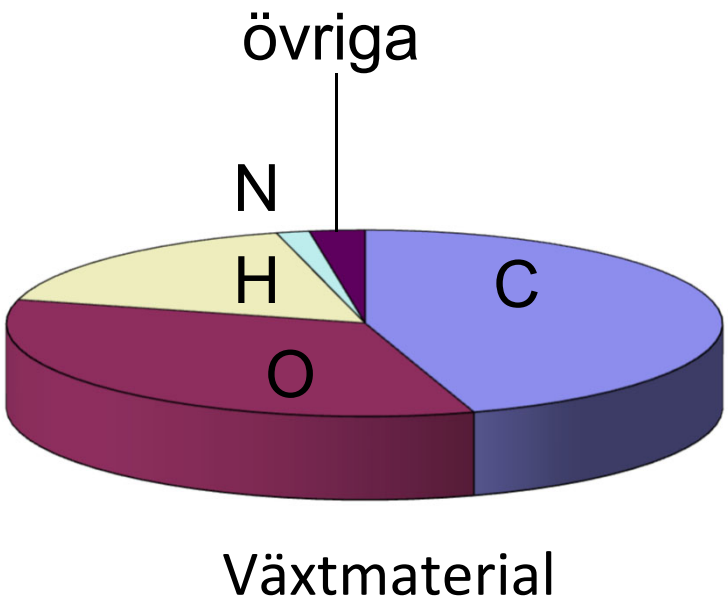
Greppa, jorbruket och klimatet 22 april 2021

Disposition

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

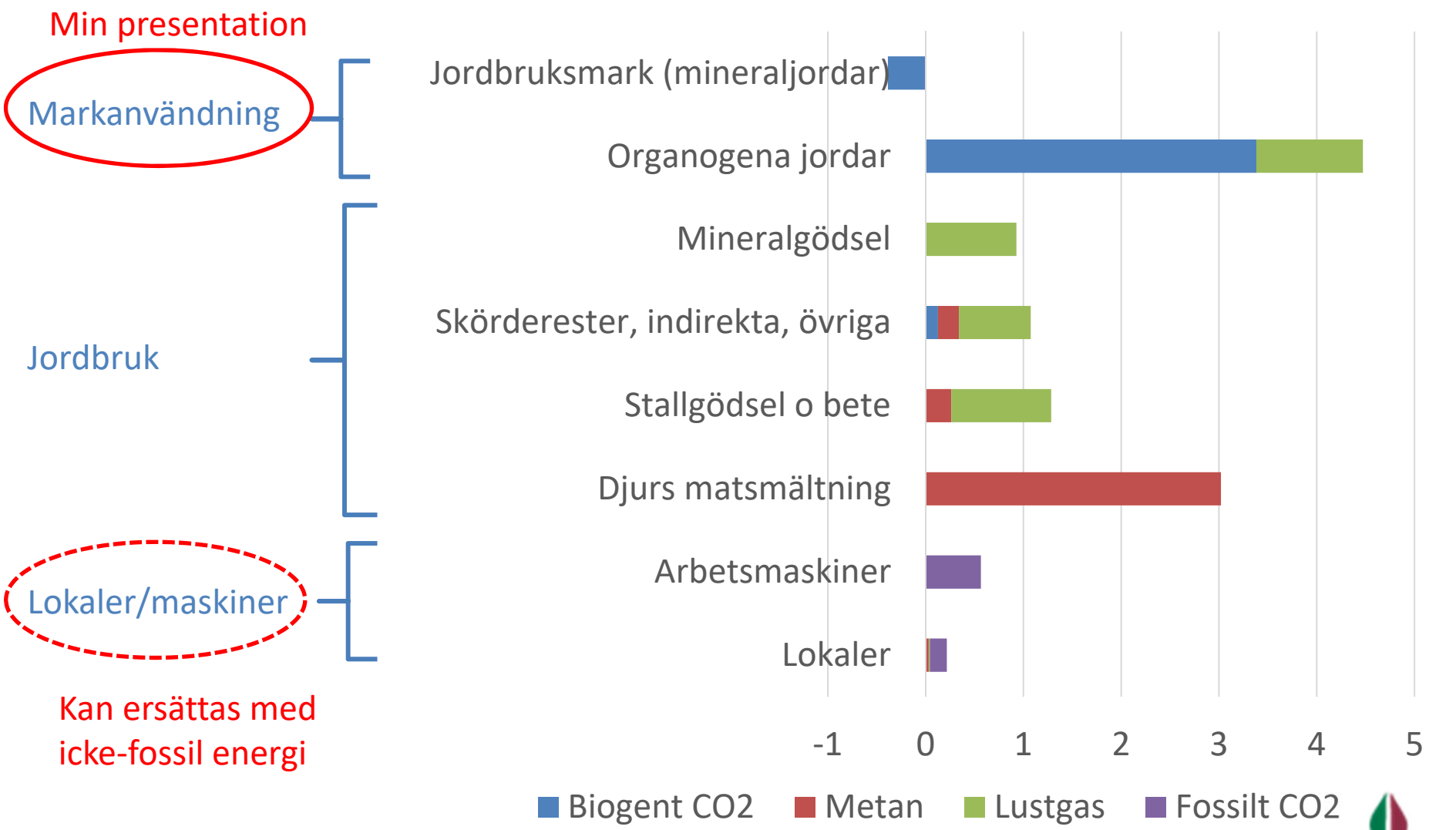
Att höja kolhalten i jordbruksmark är en kostnadseffektiv klimatåtgärd. Det ökar ocká bördigheten





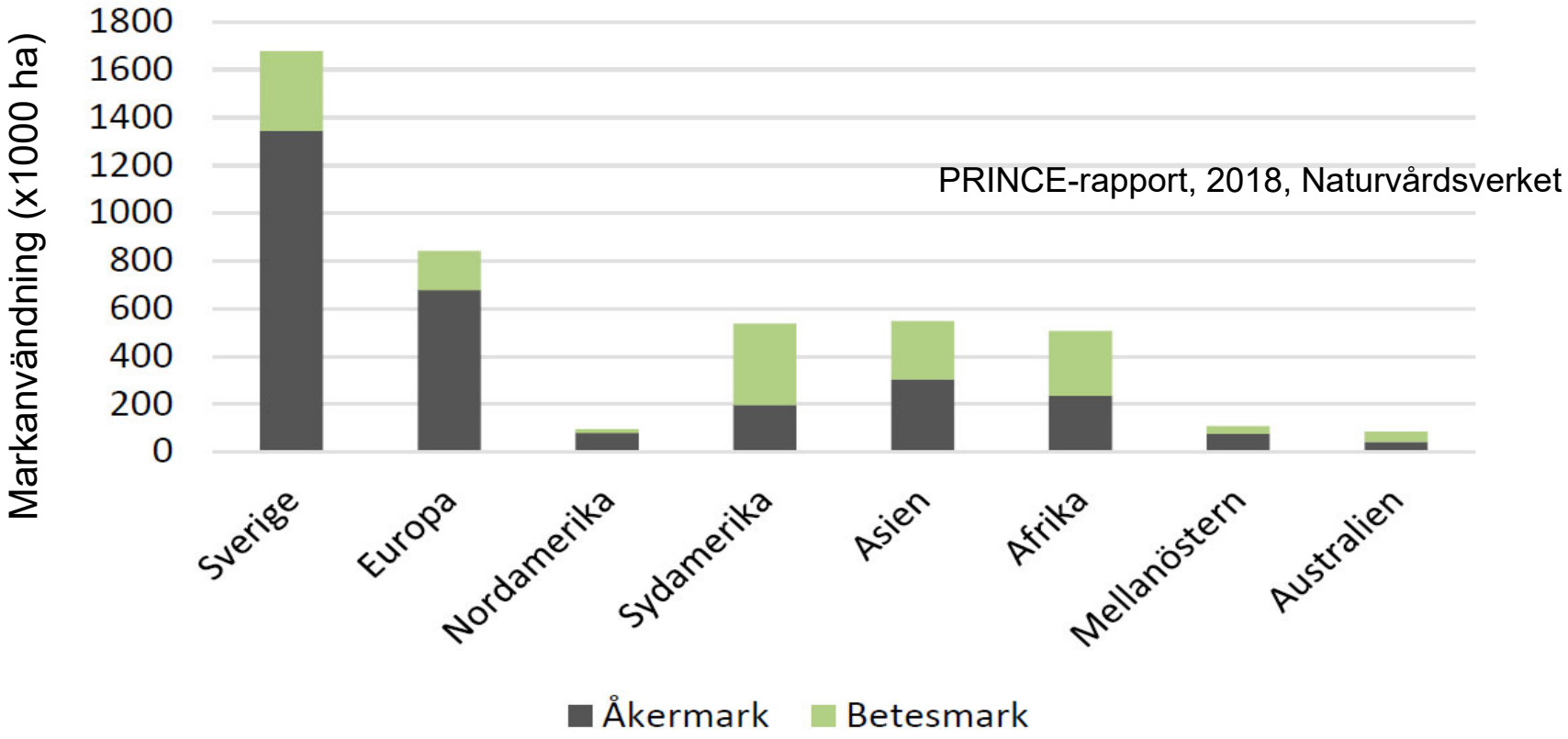
- **Mull innehåller ca. 58% kol (42% i växter)**
- **Matjorden innehåller 5-10 kg C per m^2 (0-25 cm)**
- **1 kg C motsvarar 3,67 kg CO_2 (molvikt CO_2 vs. C; 44/12)**

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



Enligt NIR 2017, Naturvårdsverket

Figur 7.2 Markanvändning (x 1000 hektar) av svensk matkonsumtion år 2011 på världens regioner



PRINCE-rapport, 2018, Naturvårdsverket

Hälften av våra livsmedel (ekonomisk värde) importeras
Drygt 60% av klimatpåverkan sker utomlands
Livsmedel som produceras i Sverige har i regel lägre klimatpåverkan än importerade

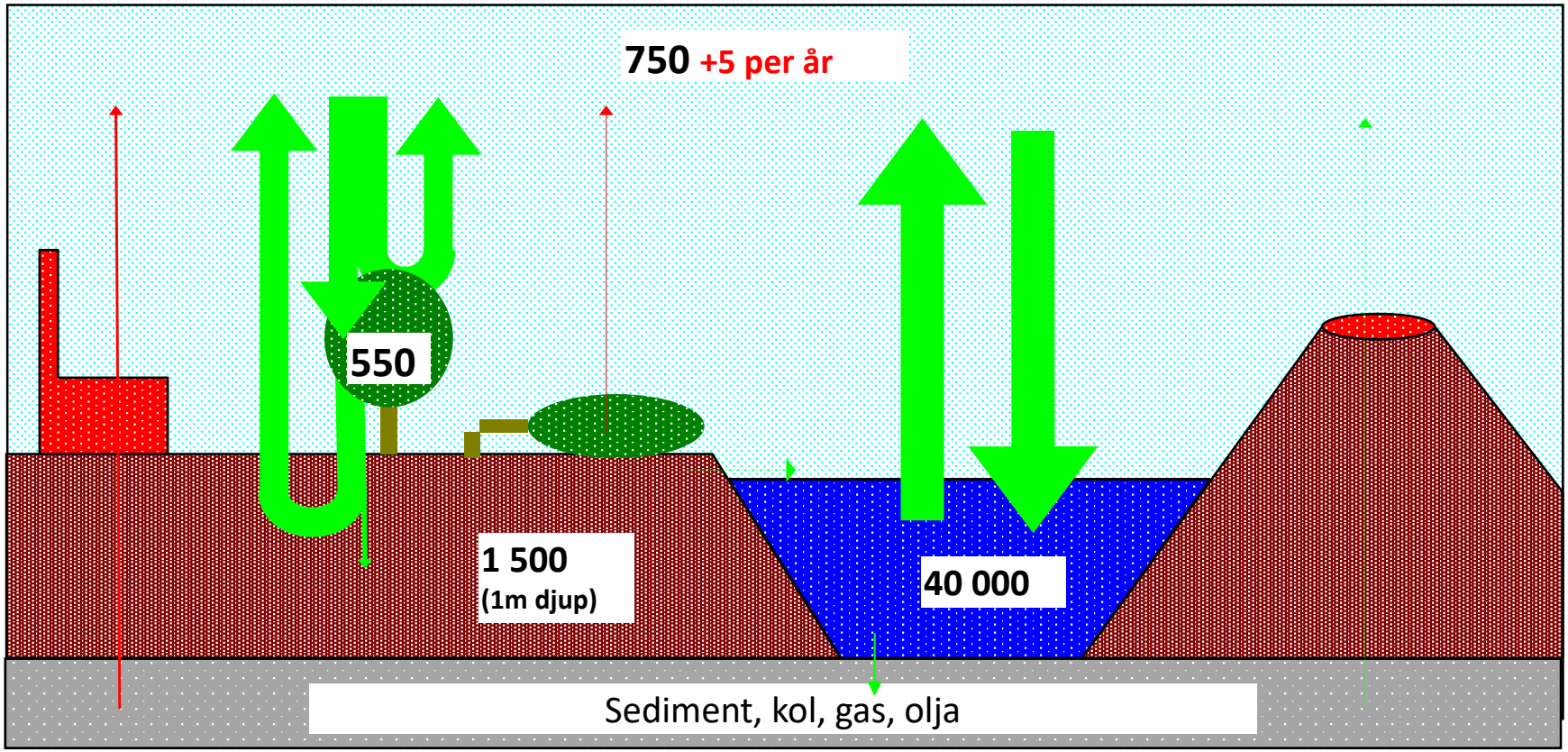
Är jordbruket är en klimatbov?

- 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 motsvarar ca 8 M ton CO2*, dvs. ca 80% of jordbrukets nettoemissioner

*Beräkningar: Kersti Linderholm

SLU

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



Kätterer, 1998

Antropogena källor och sänkor av CO_2

5,7 Pg/yr; 14%

+

34,4 Pg/yr; 86%

18,6 Pg/yr

46%

12,5 Pg/yr

31%

9,2 Pg/yr

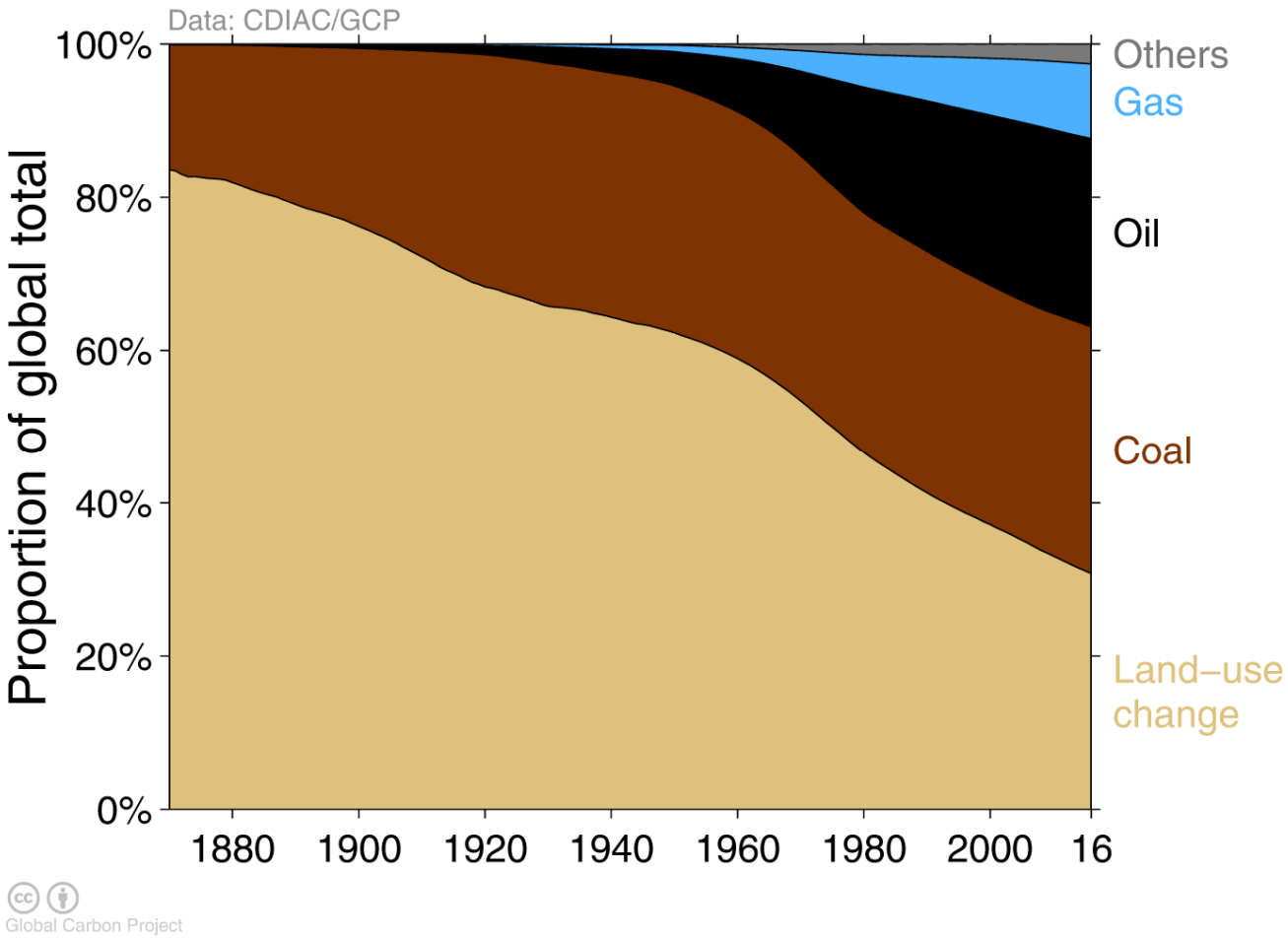
23%

Budget Imbalance: 0,4%
(the difference between estimated sources & sinks)

Source: ; Source: Friedlingstein et al 2020; Global Carbon Budget 2020

Historical cumulative emissions by source

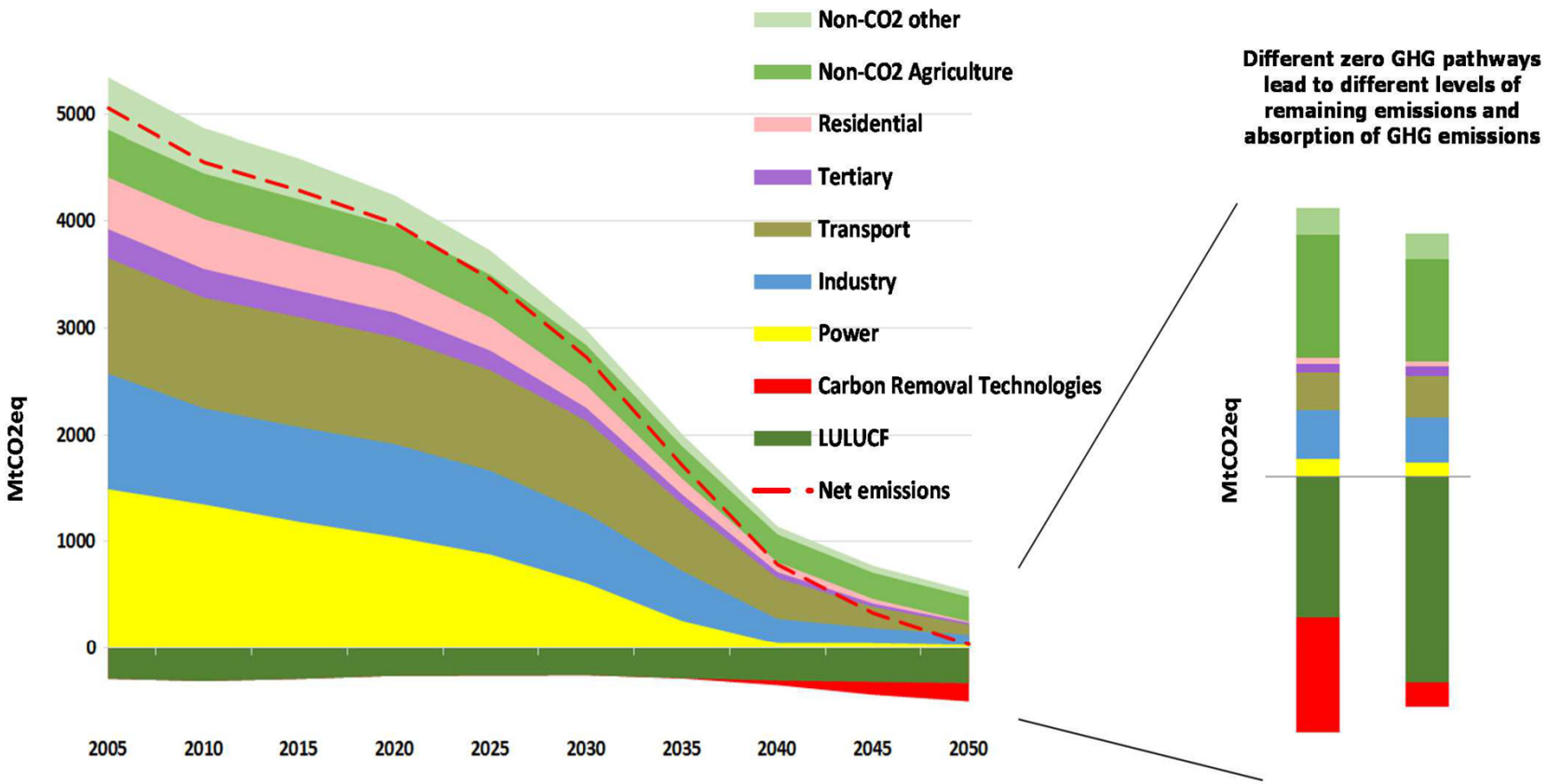
Land-use change represents about 31% of cumulative emissions over 1870–2016, coal 32%, oil 25%, gas 10%, and others 3%



Others: Emissions from cement production and gas flaring

Source: CDIAC; Houghton and Nassikas 2017; Hansis et al 2015; Le Quéré et al 2017; Global Carbon Budget 2017

Vision for a Clean Europe by 2050



European Commission

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

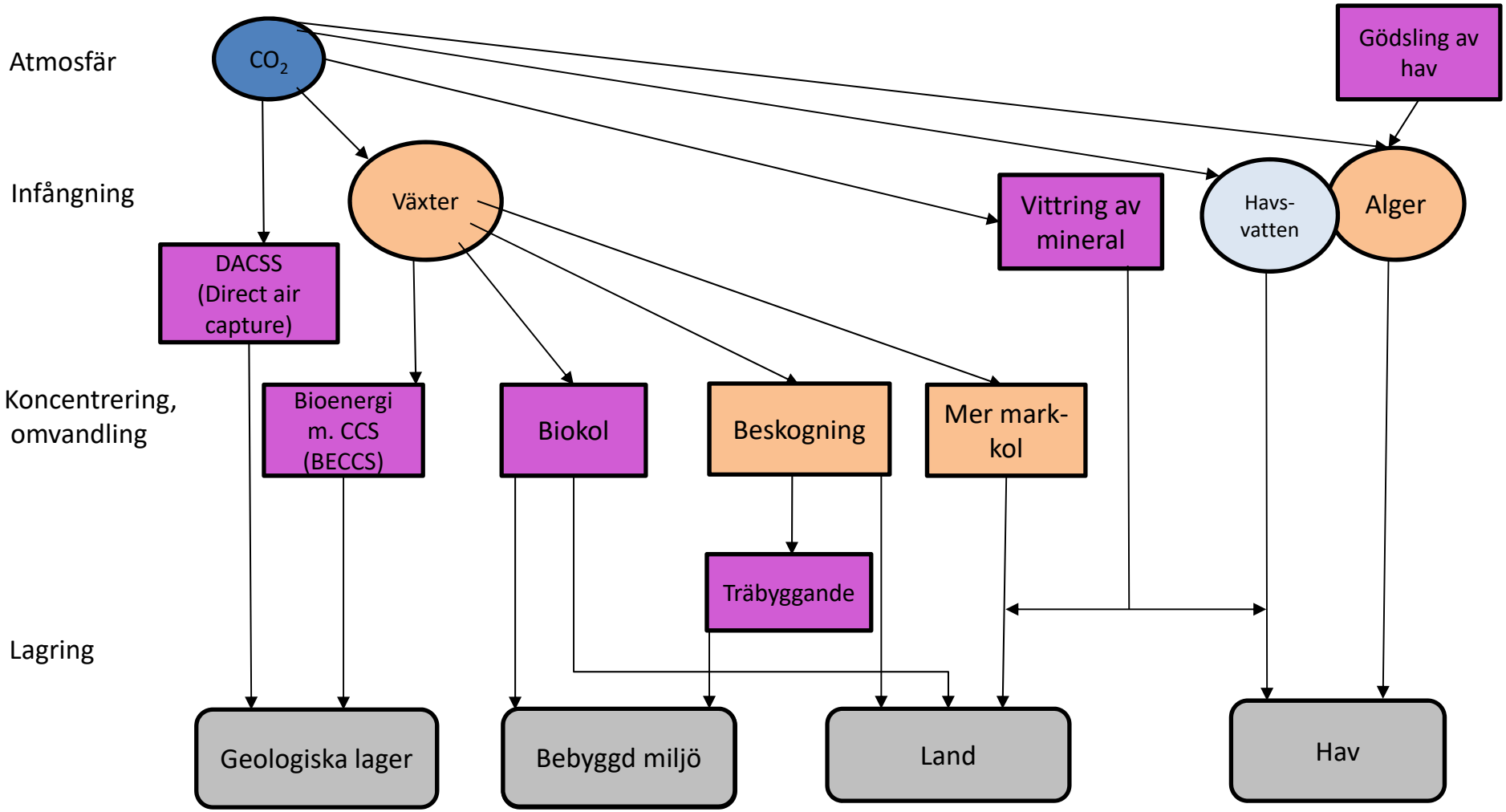
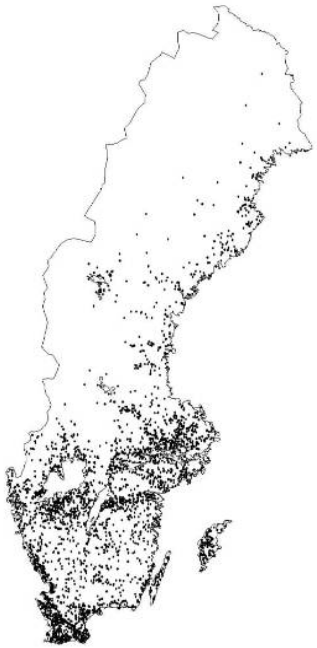


Bild från C Sundberg

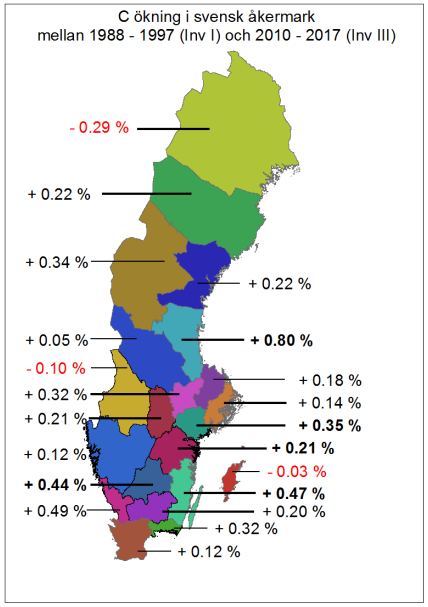
Kol i svensk jordbruksmark

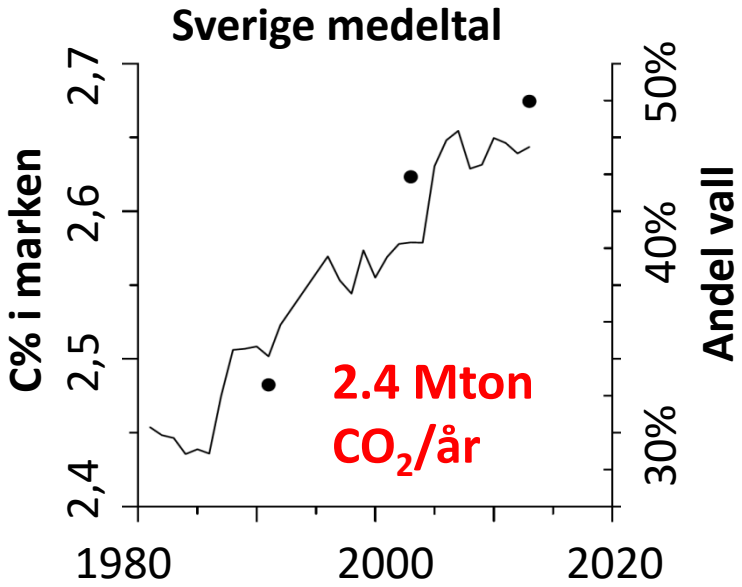
Poeplau et al. 2015 Biogeosciences 12: 3241–3251

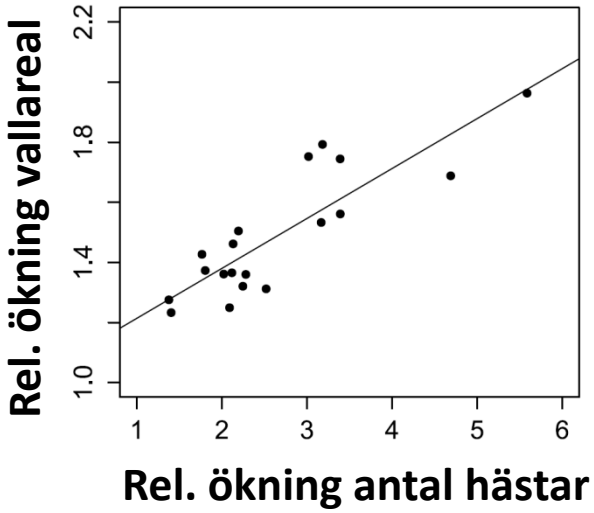


Markinventering:
I (1988-97),
II (2001-07),
III (2010-17)

Signifikant ökning i 5 län

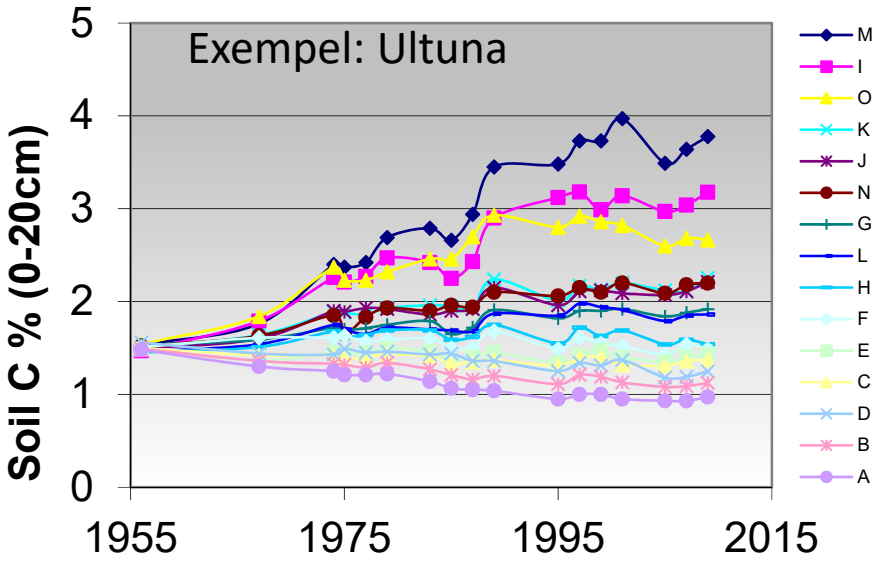




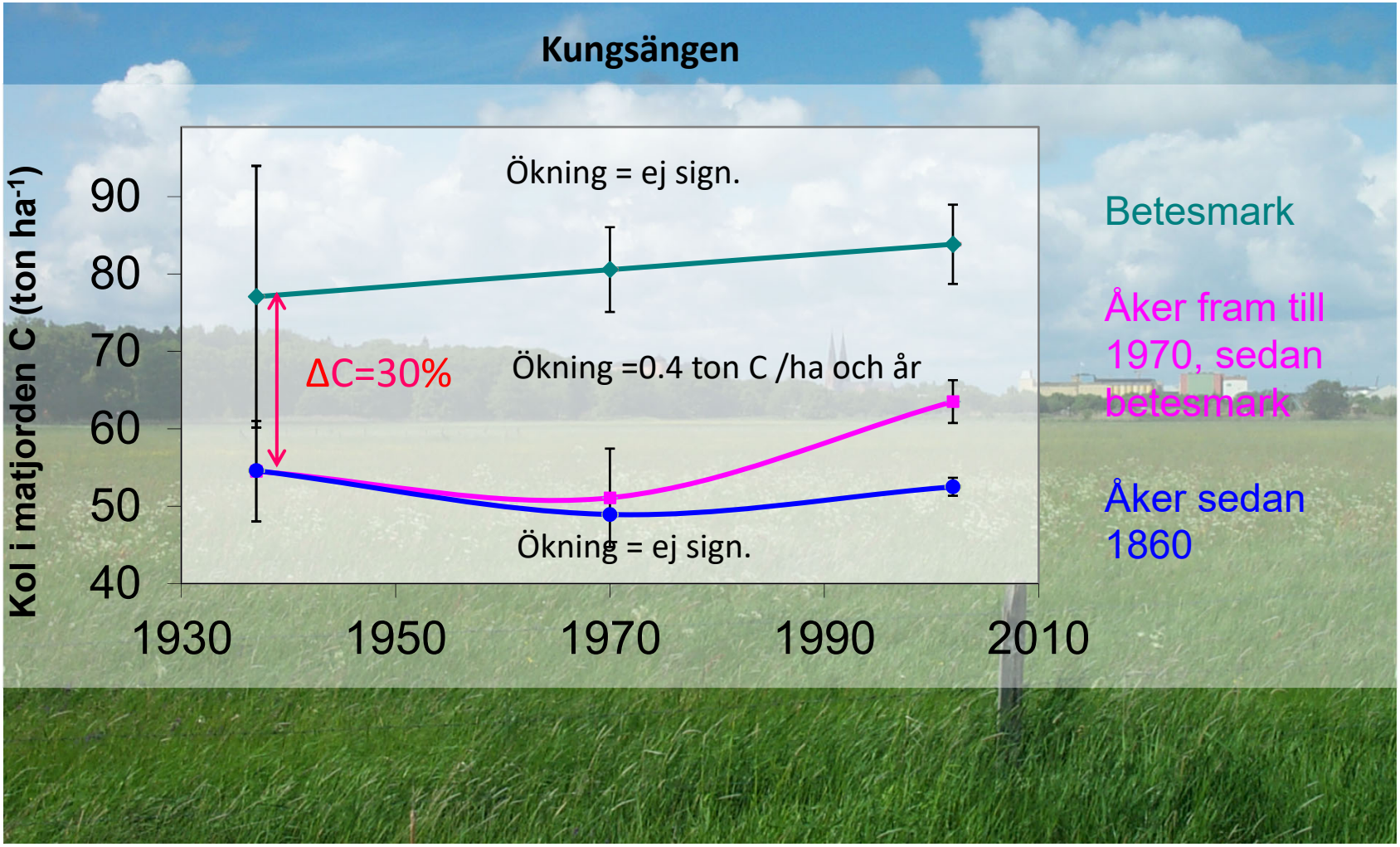


Årliga förändringar i kolförråd är små. Därför är långliggande fältförsök viktiga för att kvantifiera effekter av odlingsåtgärder på marken

- 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



Kätterer et al. 2004. NCAE 70:179-187

Sker det en kolfastläggning i svenska betesmarker?

1 ton C per ha och år

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect

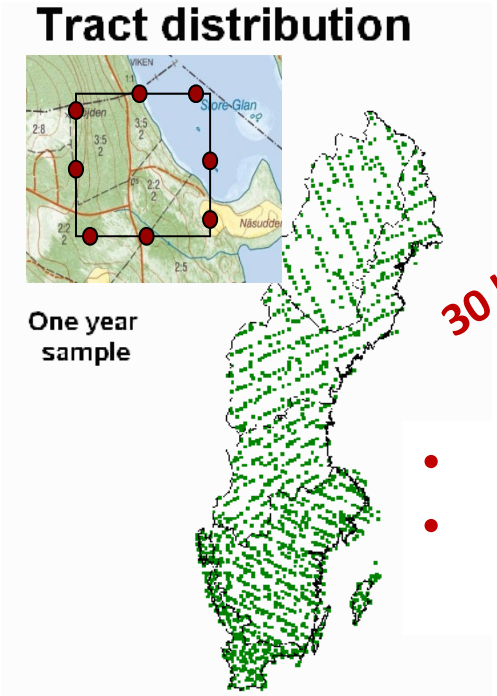
Agriculture, Ecosystems and Environment 121 (2007) 121–134

Agriculture Ecosystems & Environment

www.elsevier.com/locate/agee

Full accounting of the greenhouse gas (CO_2, N_2O, CH_4) 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. Martin [i], Z. Nagy [f], A. Neftel [c], A. Raschi [k], S. Baronti [k], R.M. Rees [l], U. Skiba [d], P. Stefani [m], G. Manca [j], M. Sutton [d], Z. Tuba [f], R. Valentini [m]



30 kg C per ha och år

Nationell markinventering

30 000 permanenta rutor

383 rutor på betesmark

Förändringar i kolförråd 1990-2006 (Karltun 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

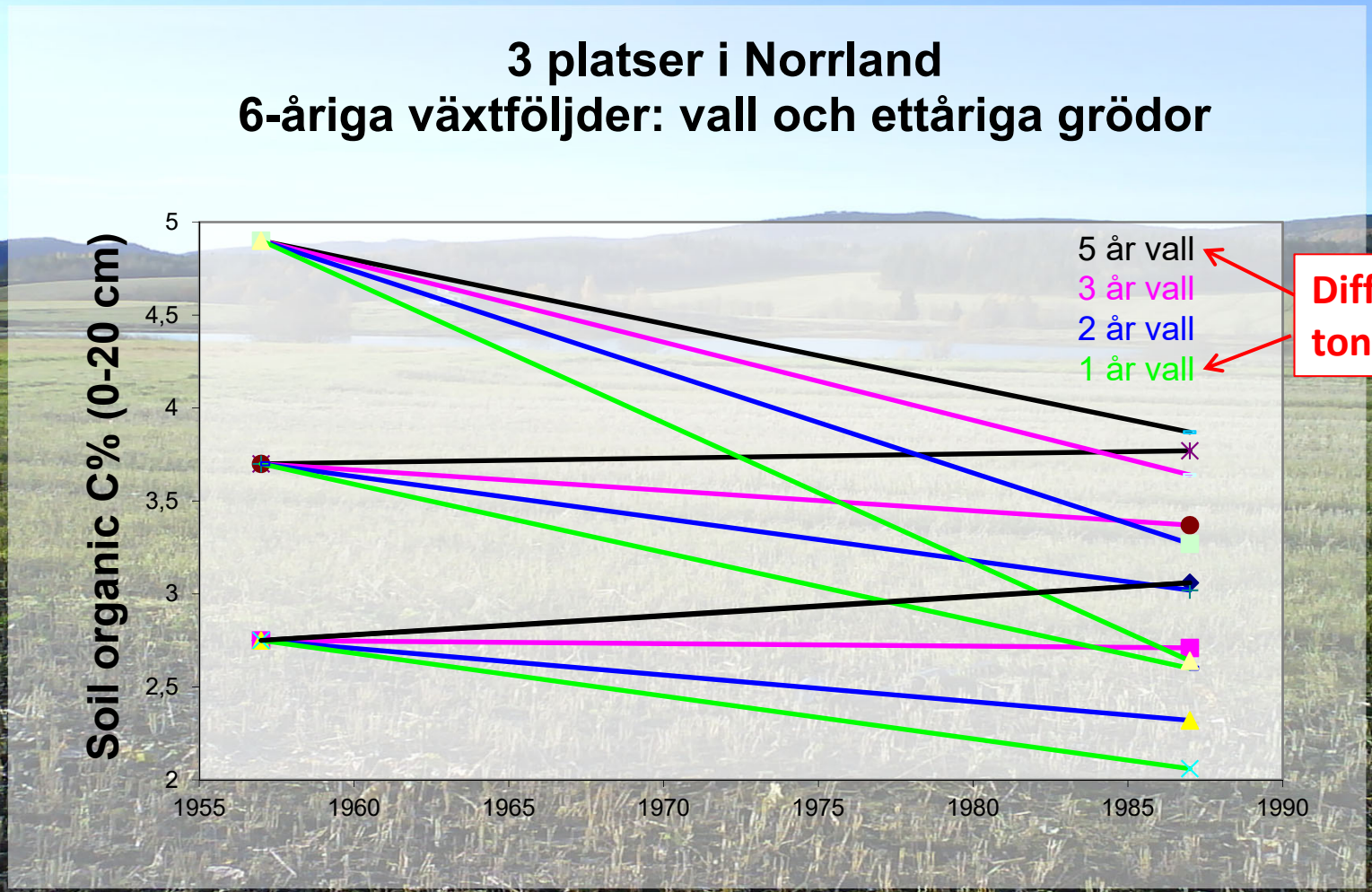
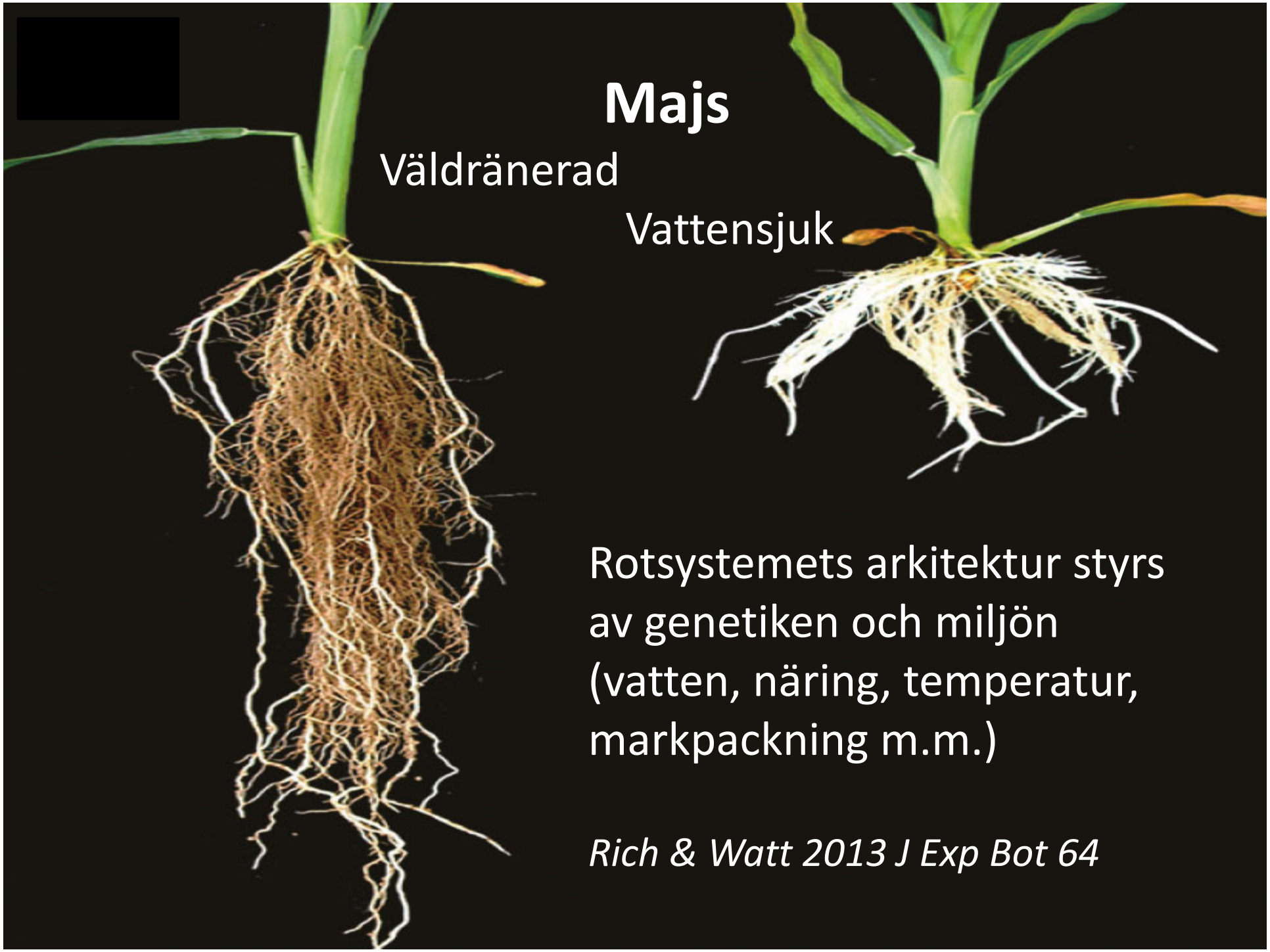


Foto: L Andersson

Ericson & Mattsson, 2000; Bolinder et al., 2010, 2012

Varför ökar kolinlagringen i vallar?

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

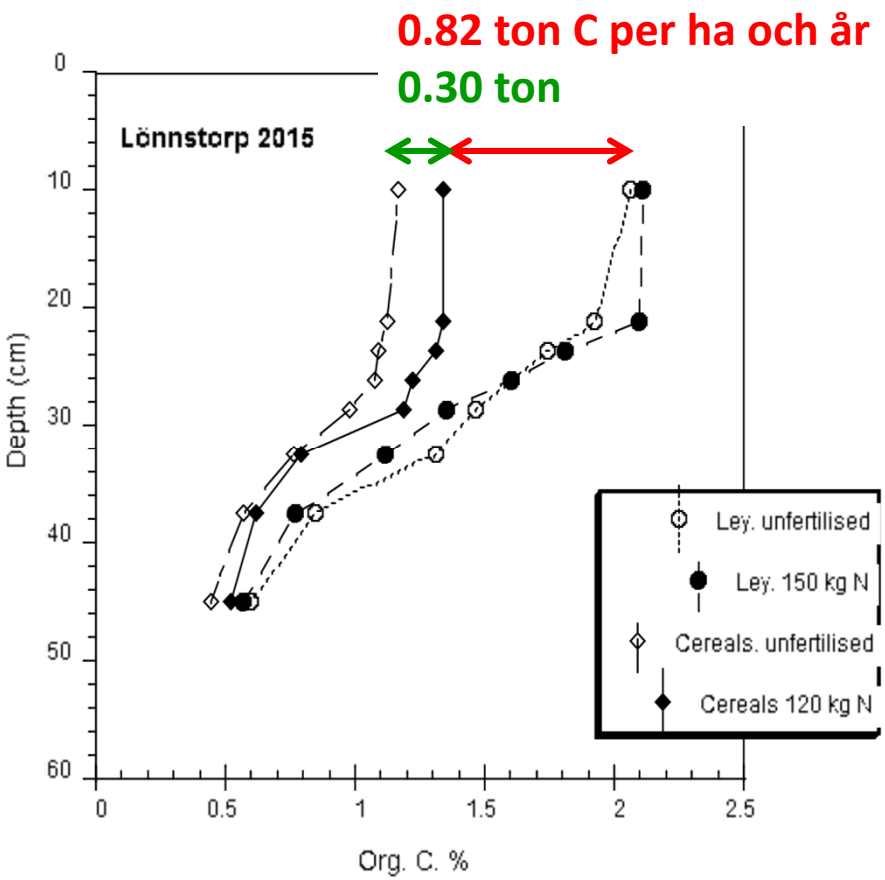

Majs
Väldränerad
Vattensjuk
Rotsystemets arkitektur styrs av genetiken och miljön (vatten, näring, temperatur, markpackning m.m.)
Rich & Watt 2013 J Exp Bot 64

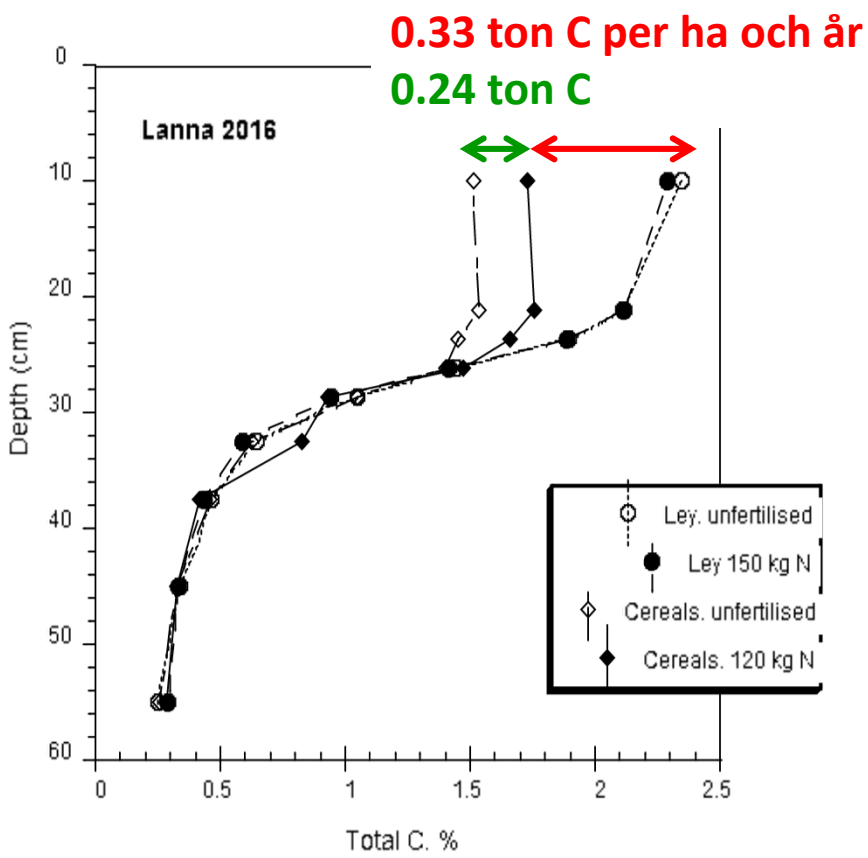
Markkol under långvarig vall och stråsäd efter 35 år

Samma försöksupplägg på 2 platser

Effekt av växtföljd: treårig 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

G. Klarin

M. Krokstorp

Resultat från svenska försök (16-24 år)

Poeplau et al., Geoderma Regional 2015

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

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

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

K. Sjelin

Potentiell kylningseffekt av mellangrödor genom kolinlagring och ökad albedo

Lugato *et al* 2020 *Environ. Res. Lett.* **15** 094075

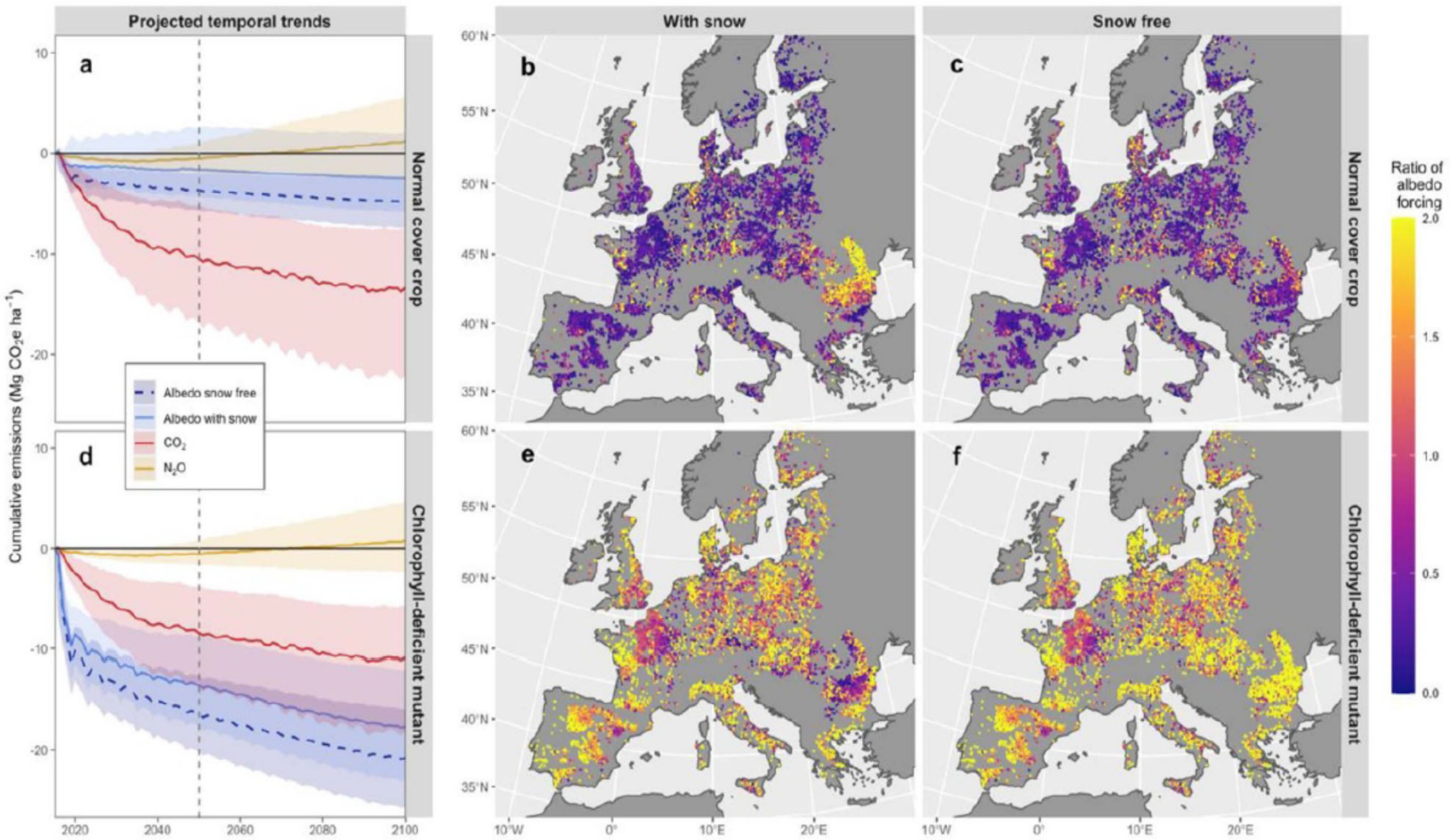
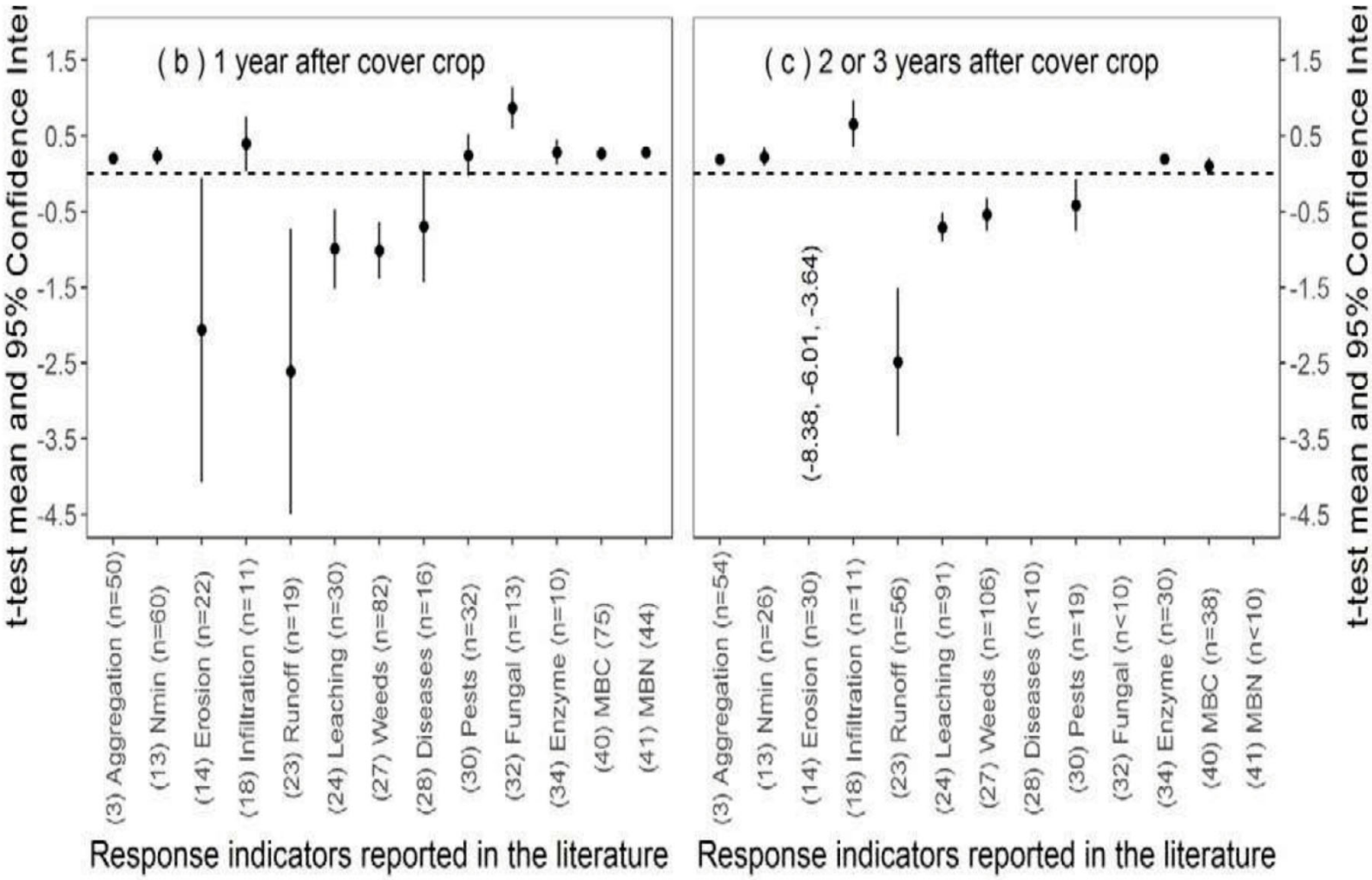


Figure 2. Mitigation potential of cover crops introduction. (a), (d) Cumulative trend of biophysical (albedo-driven) and biogeochemical (CO and NO) emissions (Mg CO e ha) over the 21st century, using either a normal crop (a) or a chlorophyll-deficient cover crop (d). The thick lines are the average of 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 (*αfr)* 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)

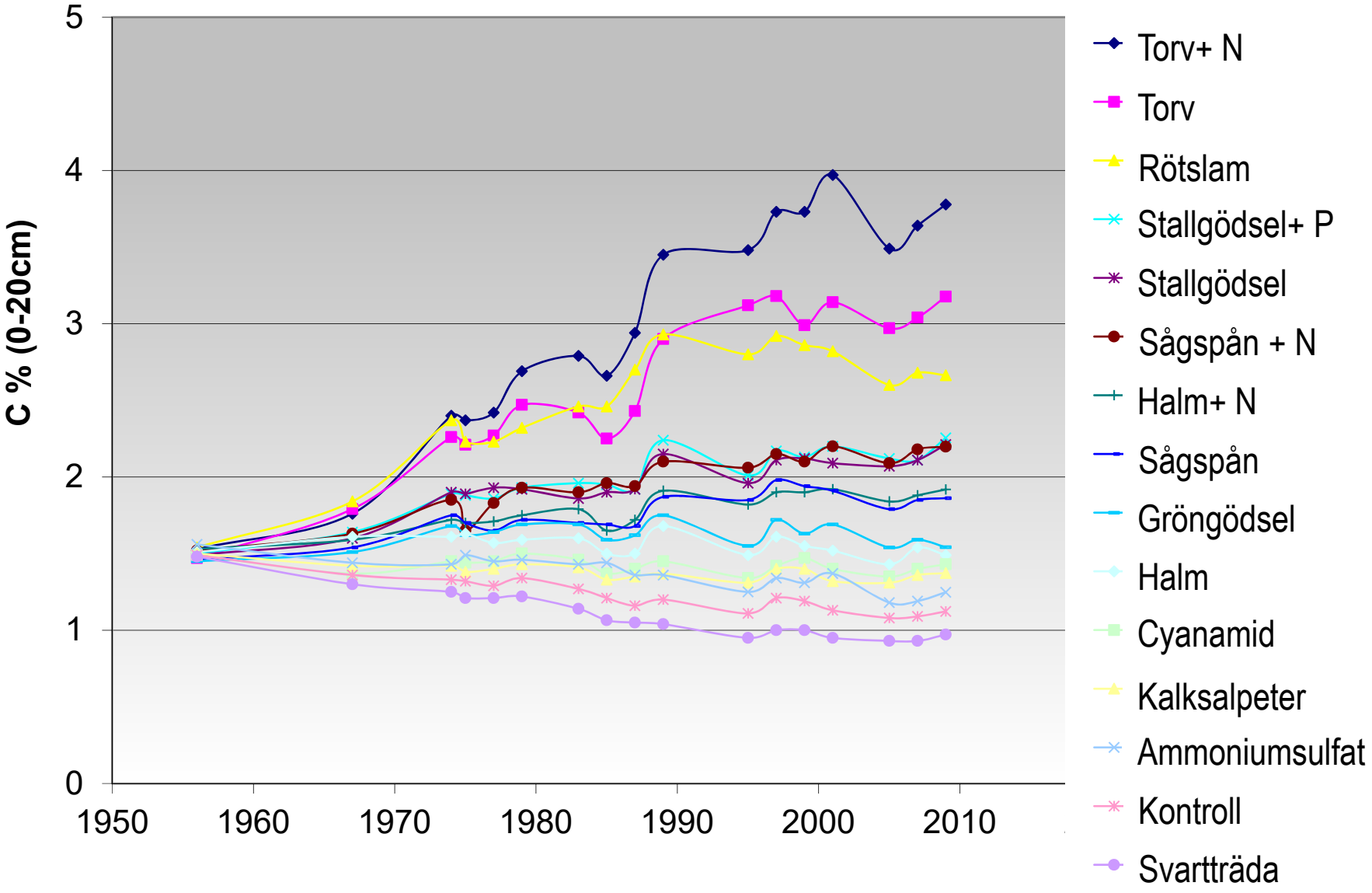
Bolidens sandmagasin i Aitik, utanför Gällivare

Sedan 2002 har 600 000 ton rötslam används för vegetationsetablering

Undvik bar mark

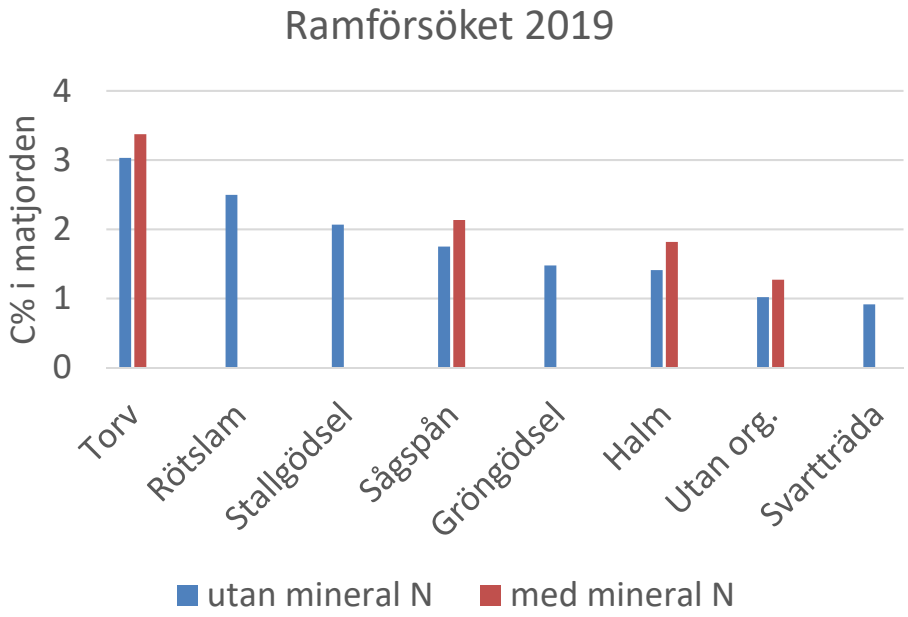
Ultuna Ramförsök, sedan 1956

Markkol i ramförsöket



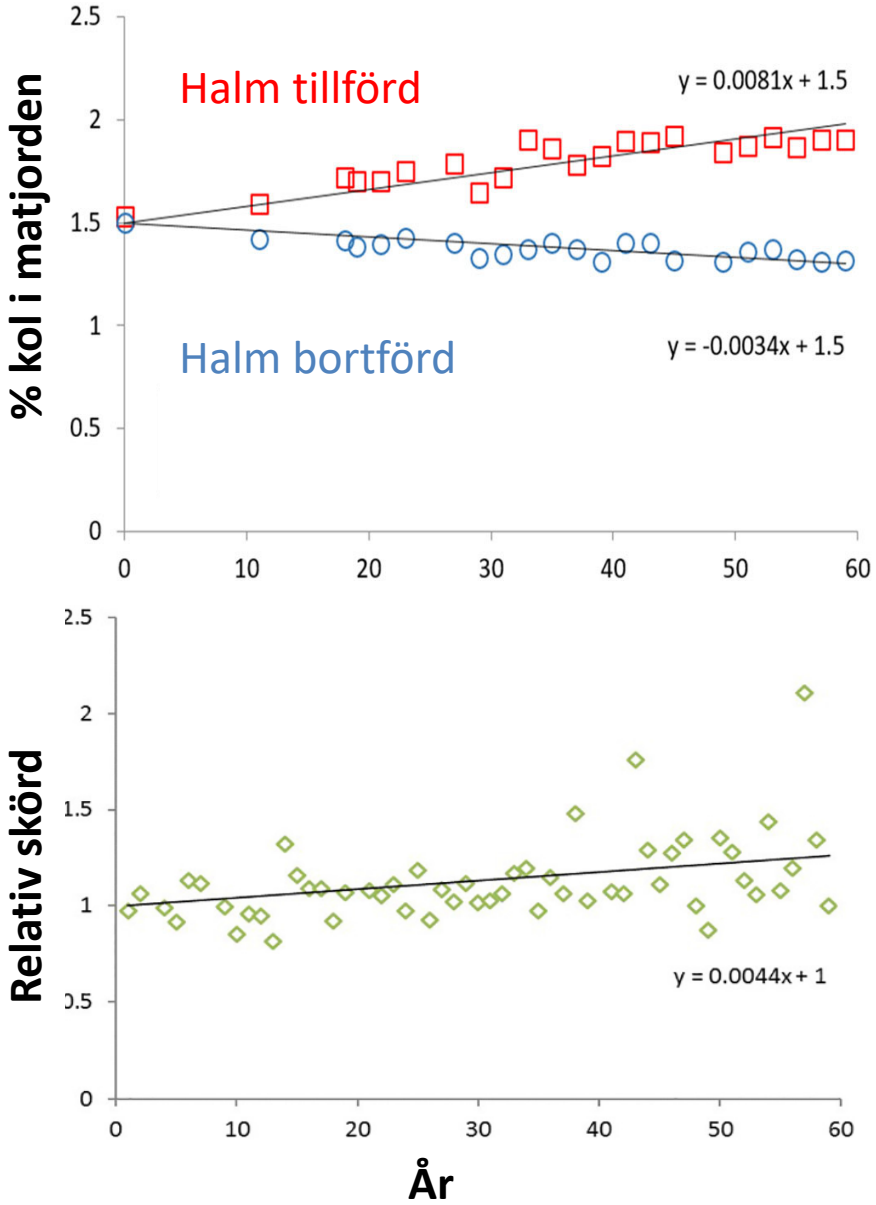
Kätterer et al. (2011) Agriculture, Ecosystem and Environment 141, 184-192

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

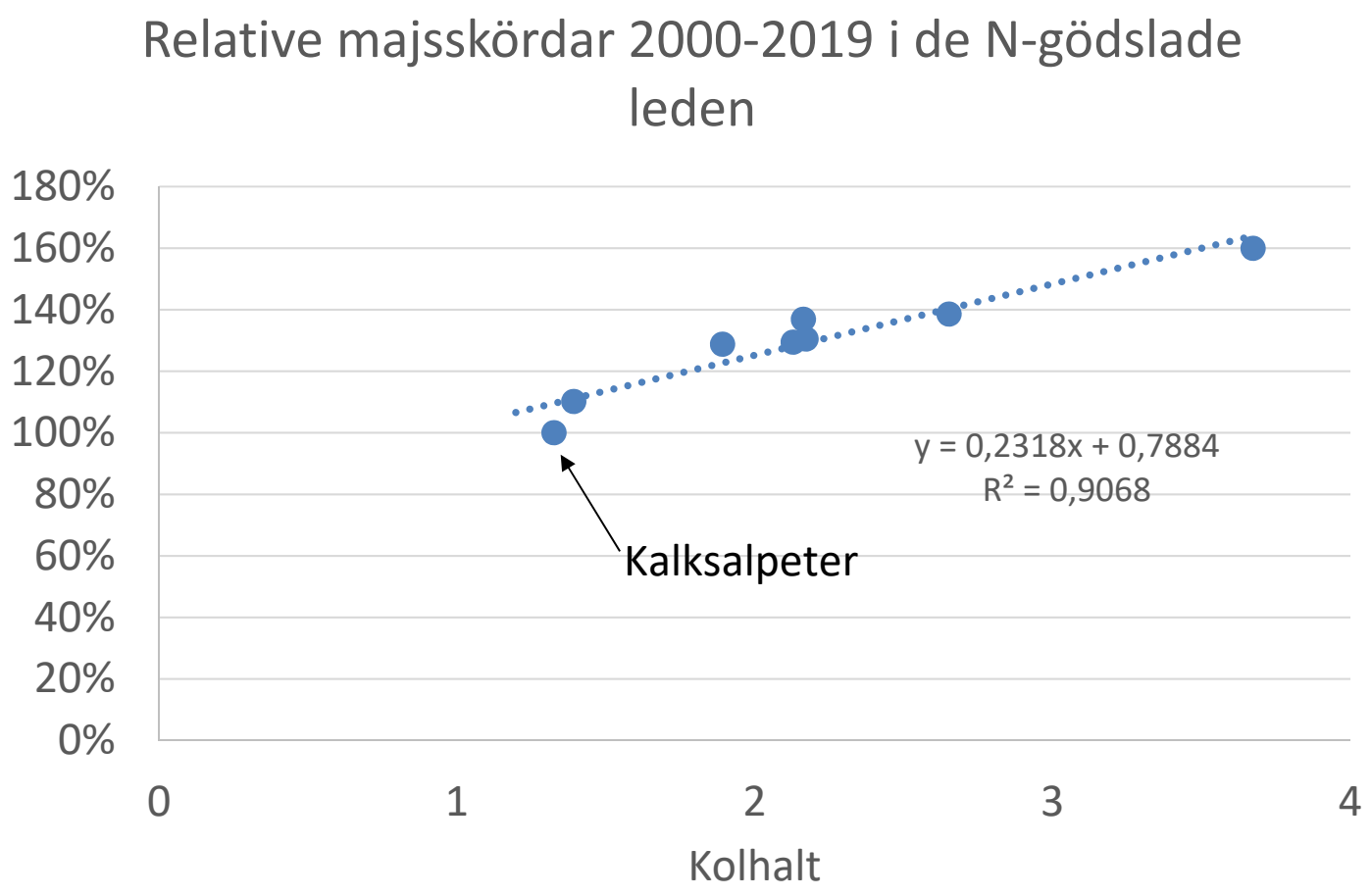


Ultuna ramförsök:

26% högre skördar efter 60 år

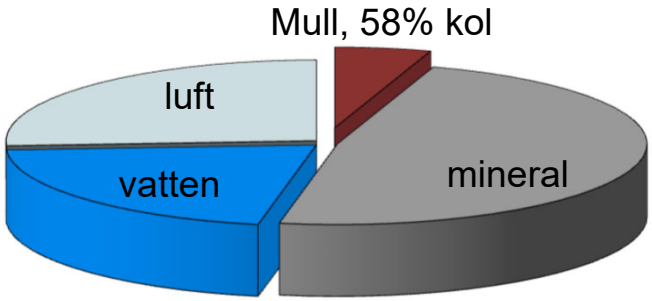
Henryson m fl. 2018. Agric Sys 164:185-192.

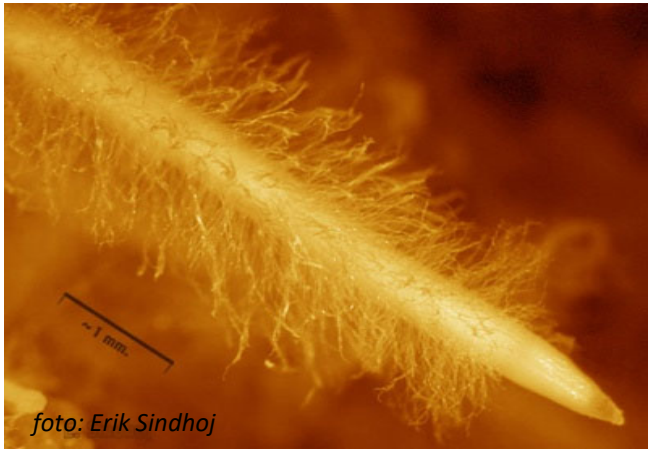
Produktionen ökar med kolhalten i Ramförsöket

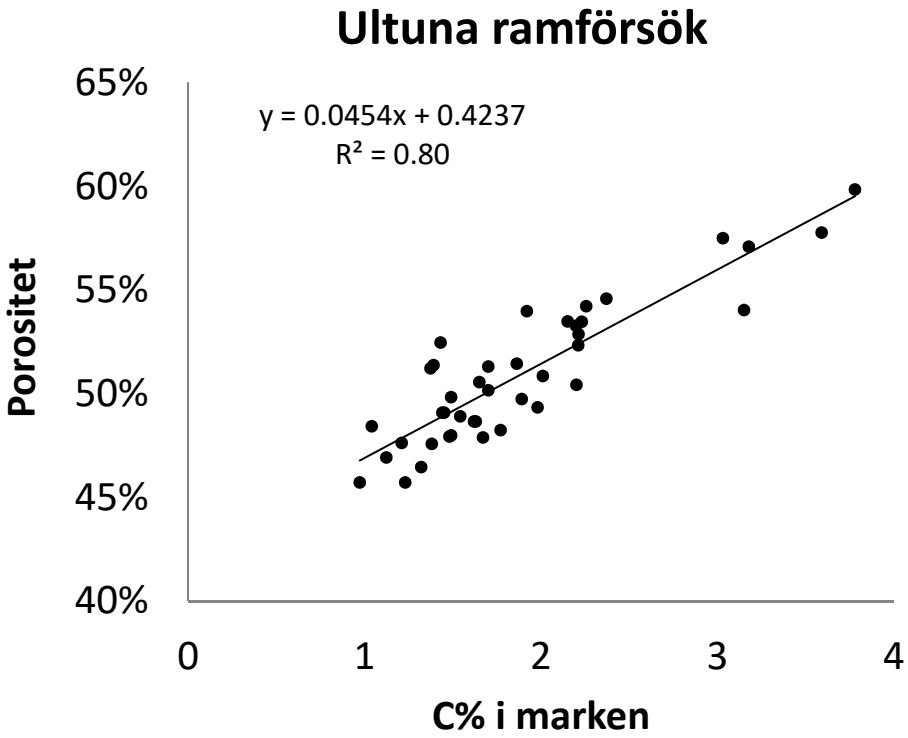


23% skördeökning om kolhalten ökar med 1 procentenhet

Markens porositet ökar med kolhalten



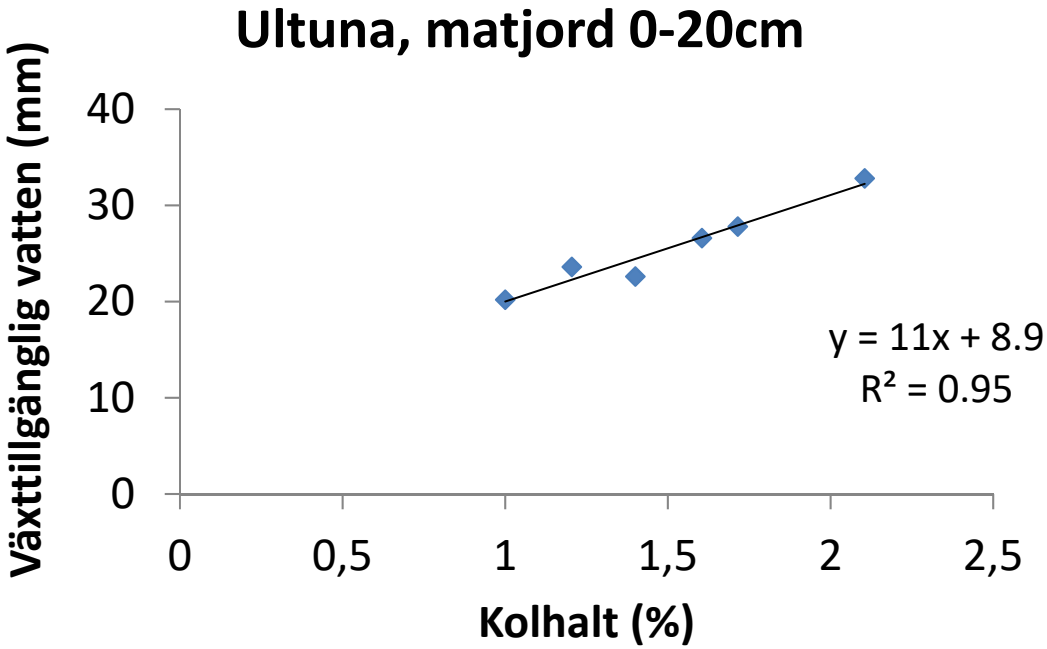




Lucker mark gynnar rotutvecklingen och leder till ökad utnyttjande av vatten och näring

Kätterer et al. 2011. AGEE

Växternas tillgång till vatten ökar med kolhalten



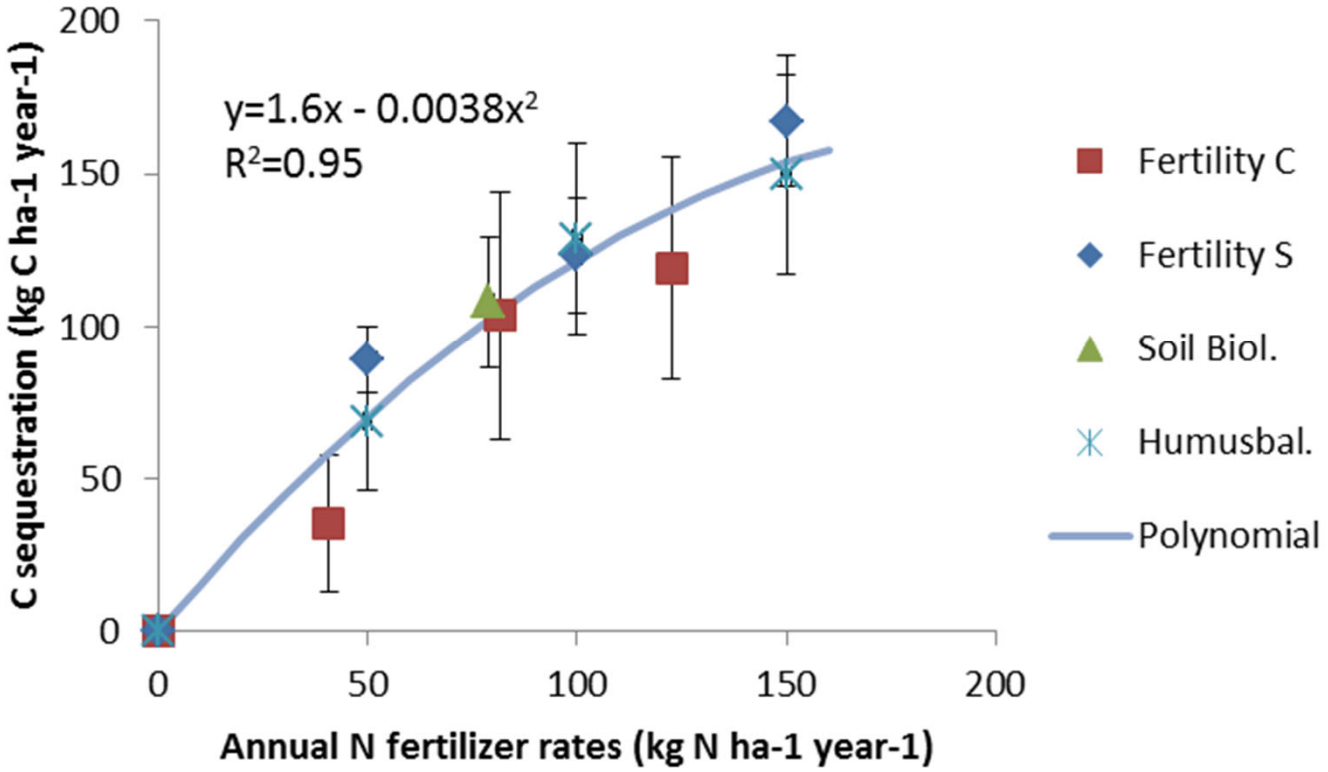
En ökning av kolhalten med en procentenhet

- Ökar mängden växttillgänglig vatten med 11 mm
- Ökar infiltrationen
- Minskar erosionen

Kätterer et al. 2006 Acta Agric Scand. Sec. B 56: 263-276.
Kirchmann & Gerzabek 1999. J. Pant Nutr Soil Sci 162: 493-498

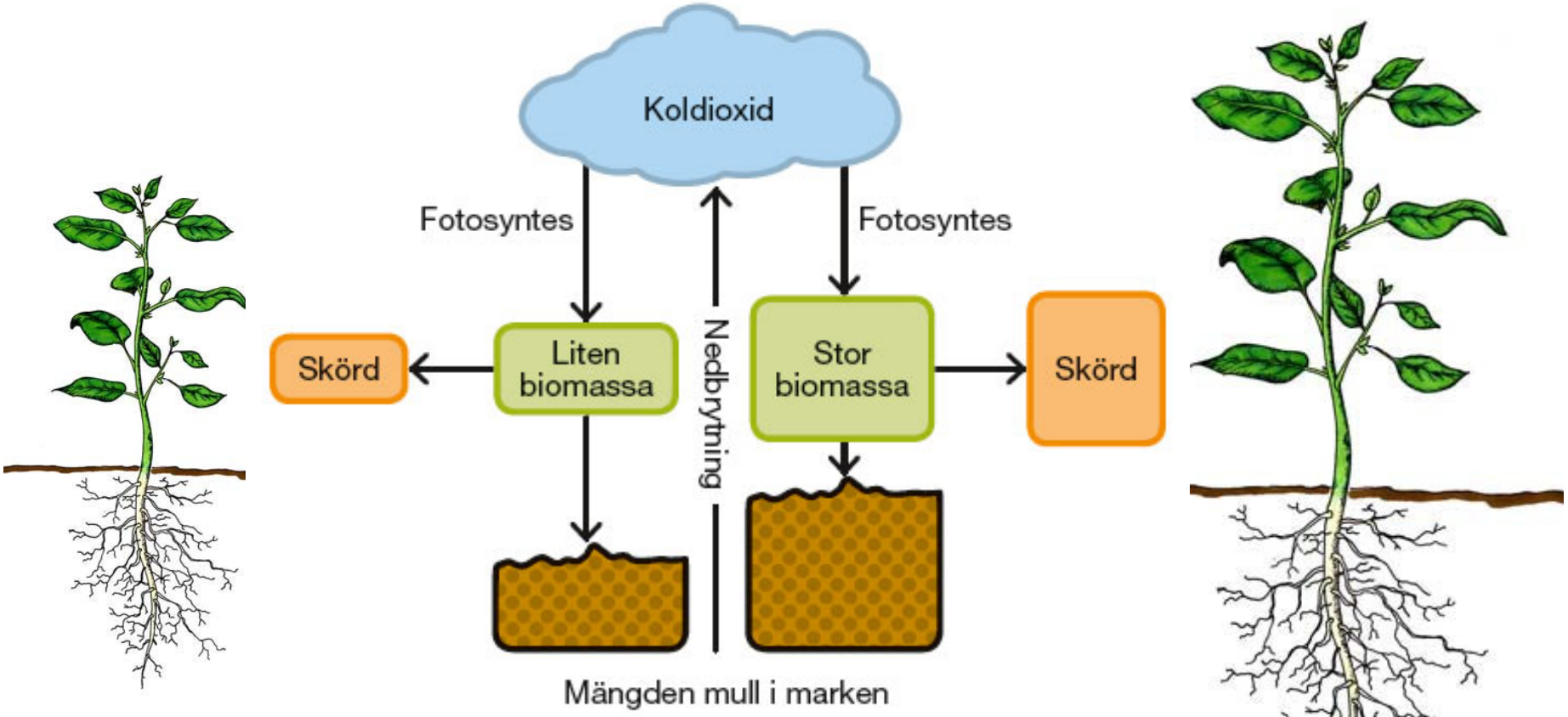
Resultat från 16 långliggande försök (4 serier):

Varje kilo N höjer kolförrådet i marken med drygt 1 kg C i matjorden (0-20 cm)



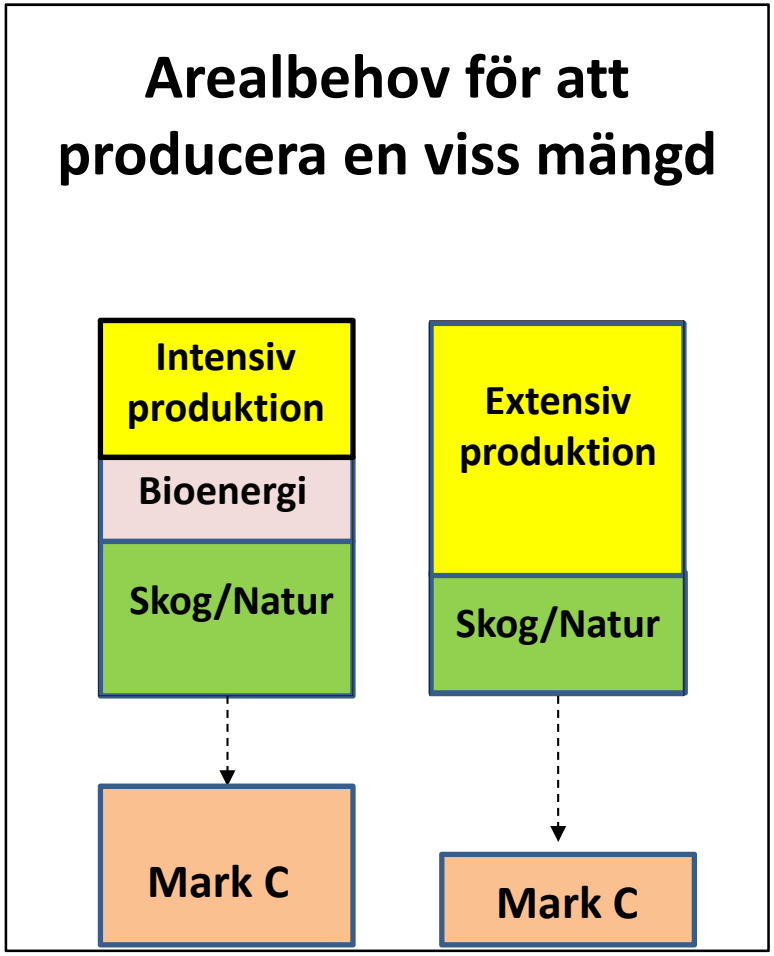
Tillkommer: kolfastläggning i alven: cirka 0.5 kg C kg^{-1} N

Hög produktion leder till hög kolförråd och vice versa



Låga skördar ökar arealbehovet

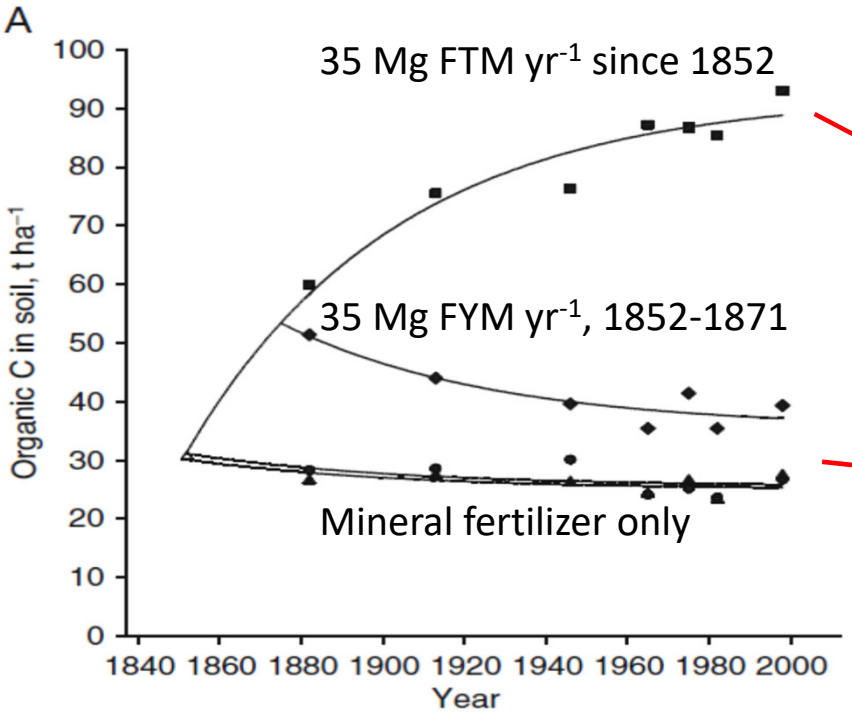
-> avskogning -> lägre kolförråd i marken även någon annanstans

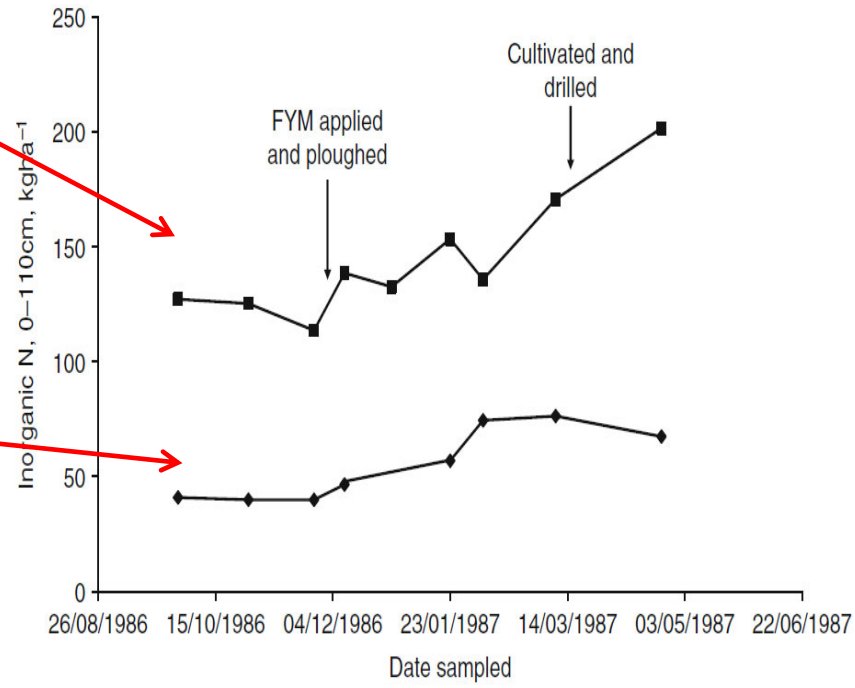


Produktionen per yta måsta öka för att försörja en växande befolkning

Hög mullhalt 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

Johnston m.fl., 2009; Powlson et al, 1989

Effekt av reducerad jordbearbetning på kolförrådet

Haddaway *et al. Environ Evid (2017) 6:30*
DOI 10.1186/s13750-017-0108-9

Environmental Evidence

SYSTEMATIC REVIEW Open Access

How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review

Neal R. Haddaway[1*], Katarina Hedlund[2], Louise E. Jackson[3], Thomas Kätterer[4], Emanuele Lugato[5], Ingrid K. Thomsen[6], Helene B. Jørgensen[2] and Per-Erik Isberg[7]

Earth-Science Reviews 177 (2018) 613–622

Contents lists available at ScienceDirect

Earth-Science Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/earscirev

Invited review

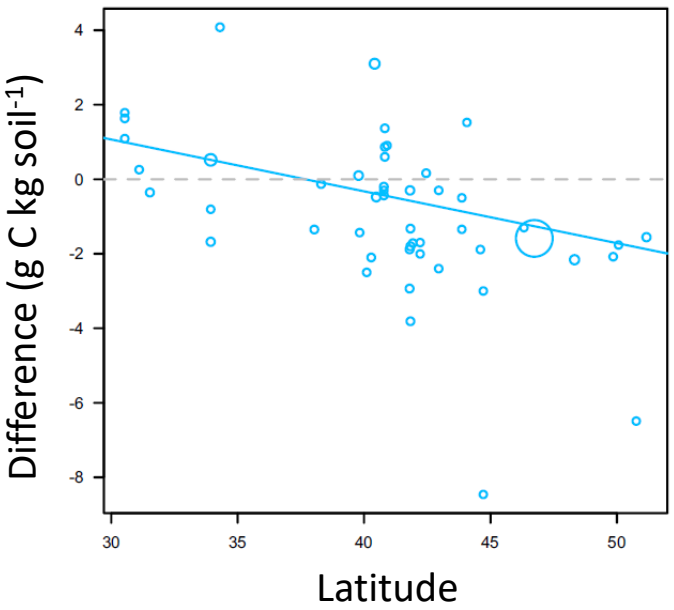
Tillage intensity affects total SOC stocks in boreo-temperate regions only in the topsoil—A systematic review using an ESM approach

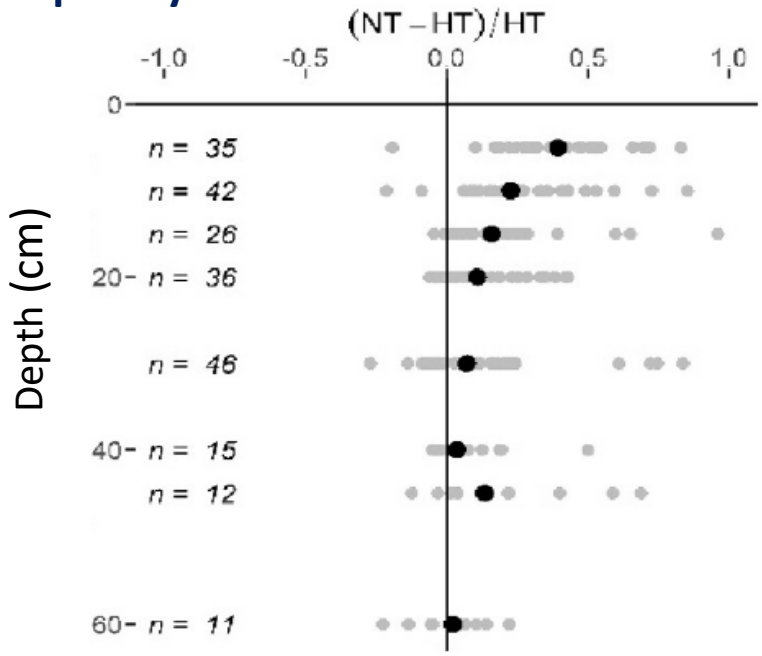
Katharina H.E. Meurer[a,*], Neal R. Haddaway[b], Martin A. Bolinder[a], Thomas Kätterer[a]

351 studies >10 years:
In average 4.6 Mg/ha (0.78-8.43) higher SOC stocks in topsoil (0-30 cm) under no-till compared to high intensity tillage

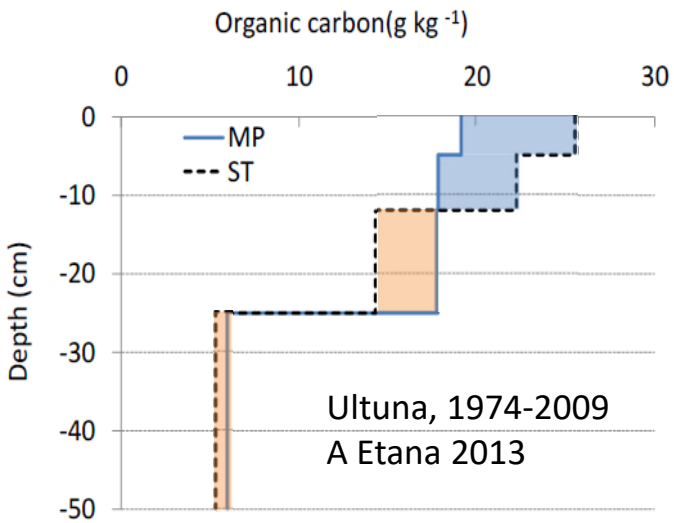
Subset of 101 studies reporting both BD and SOC% in several layers:

Non-significant effects of tillage on cumulative SOC stocks when considering deeper layers

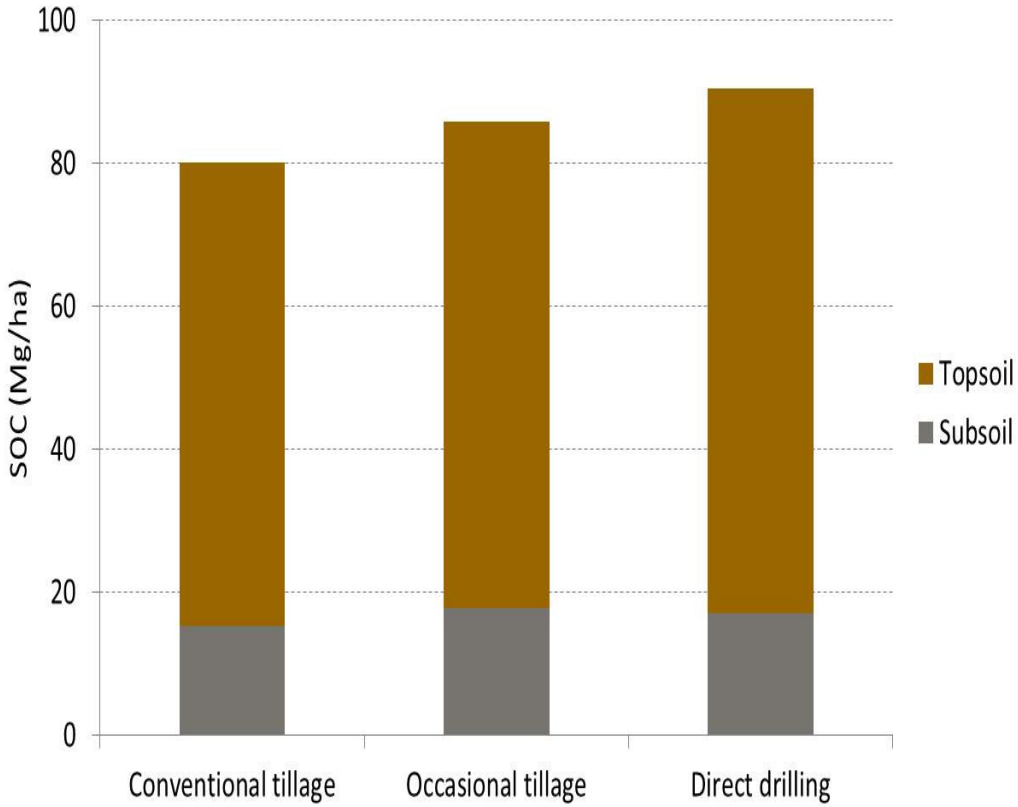




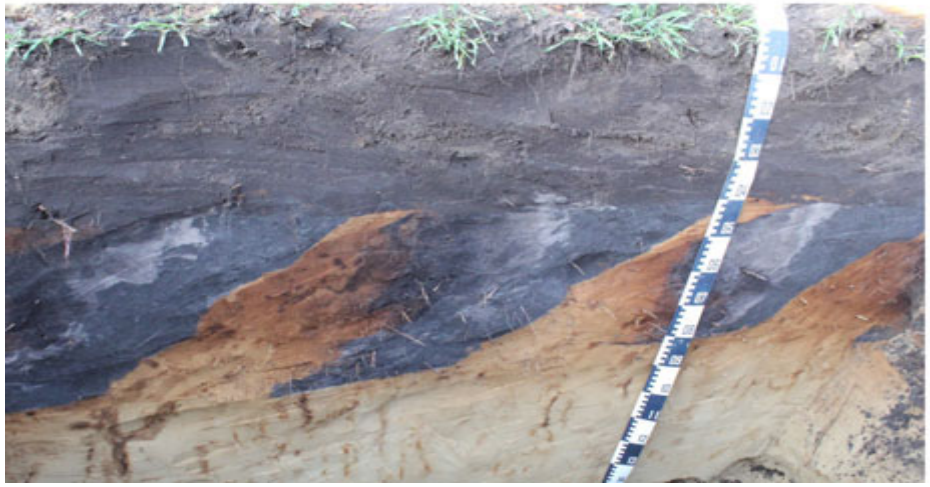
Positiv effekt av reducerade bearbetning i vissa försök, tex. Lanna, protagen till 50 cm ekvivalent djup (Ararso Etana, SLU)



Vanligt resultat i försök:
Positiva effekter i de översta 10 cm, negative effekter längre ner



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



Alcántara et al., GCB 2016

Analysis of literature reviews on SOC changes in long-term field trials

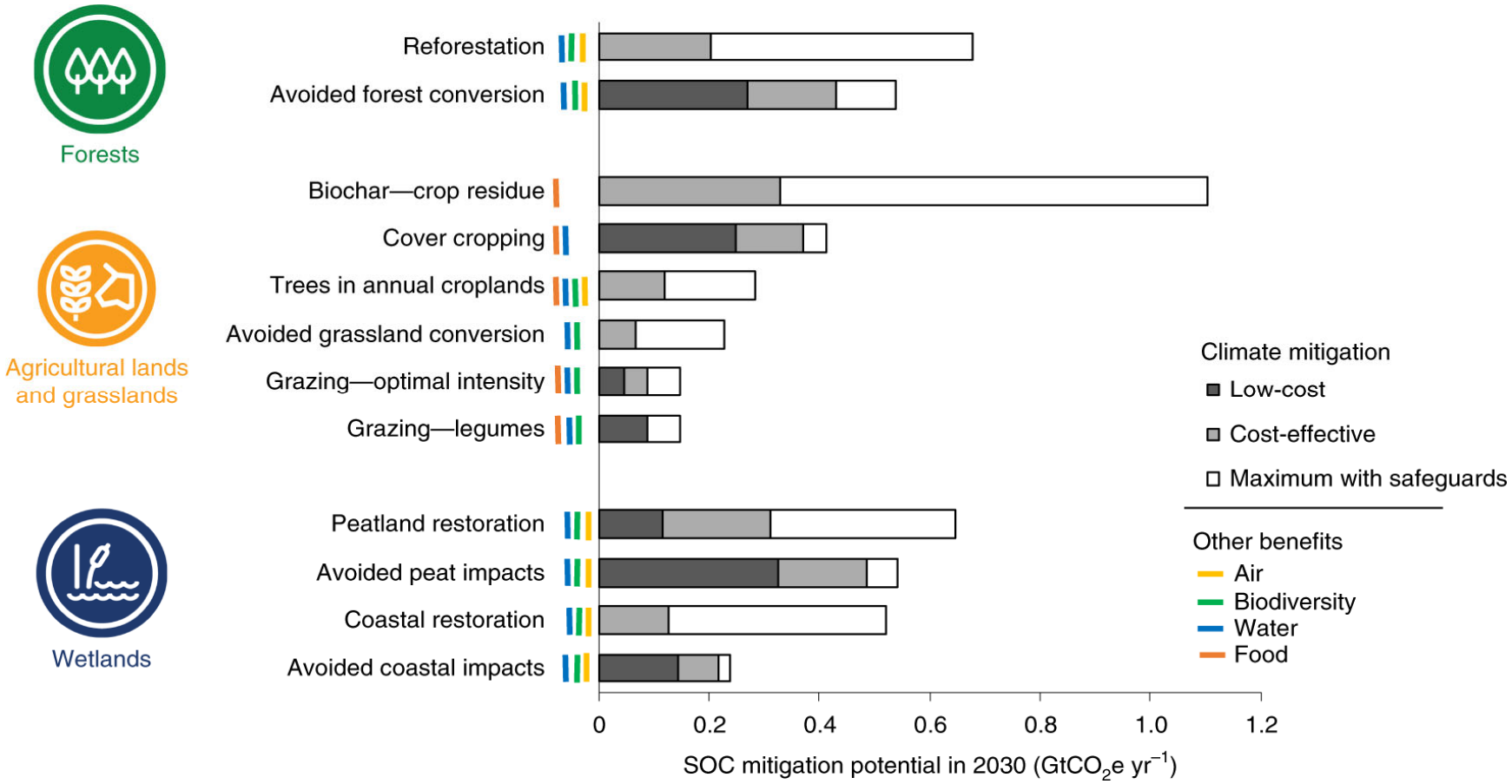
Management	N (trials)	SOC change ($Mg\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)
Perennial vs. annual crops	15	**0.52**
Recycled organic matter (ROM)	217	**0.41**
Cover crops	176	**0.33**
N-fertilization	183	**0.23**
Crop residue retention	279	**0.12**
Lower tillage intensity	101	**<0.1**

Huge variation between studies – further research on C stabilization mechanisms is needed

Bolinder et al., 2020. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
https://doi.org/10.1007/s11027-020-09916-3

SLU

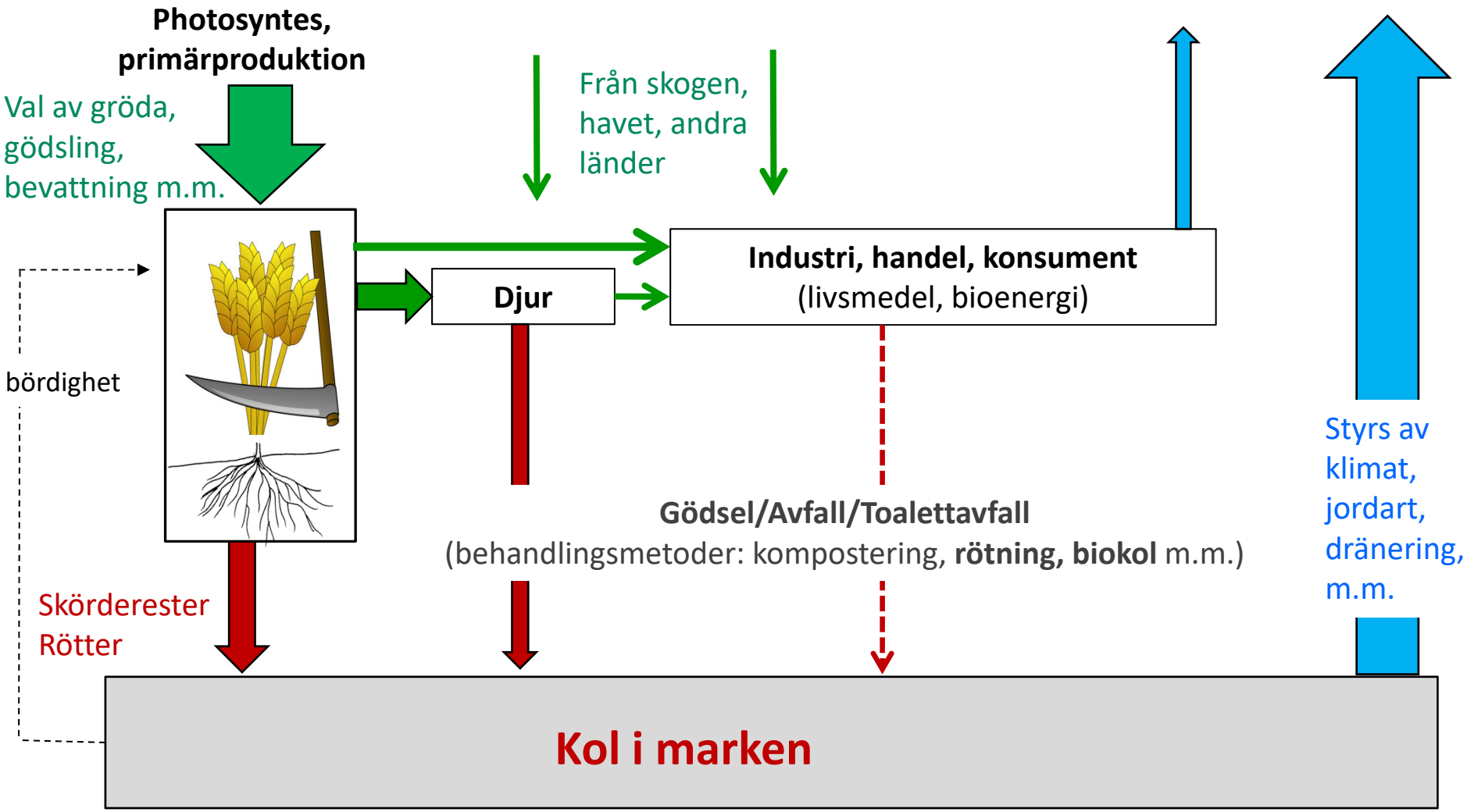
Global potential



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 $(MgCO_2e)^{-1}\ yr^{-1}$). The dark-grey portions of the bars indicate low-cost mitigation levels (<US$10 $(MgCO_2e)^{-1}\ yr^{-1}$). 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.

Bossio et al. NATURE SUSTAINABILITY | VOL 3 | MAY 2020 | 391–398 |

Markens kolbalans kan påverkas, främst genom primärproduktion

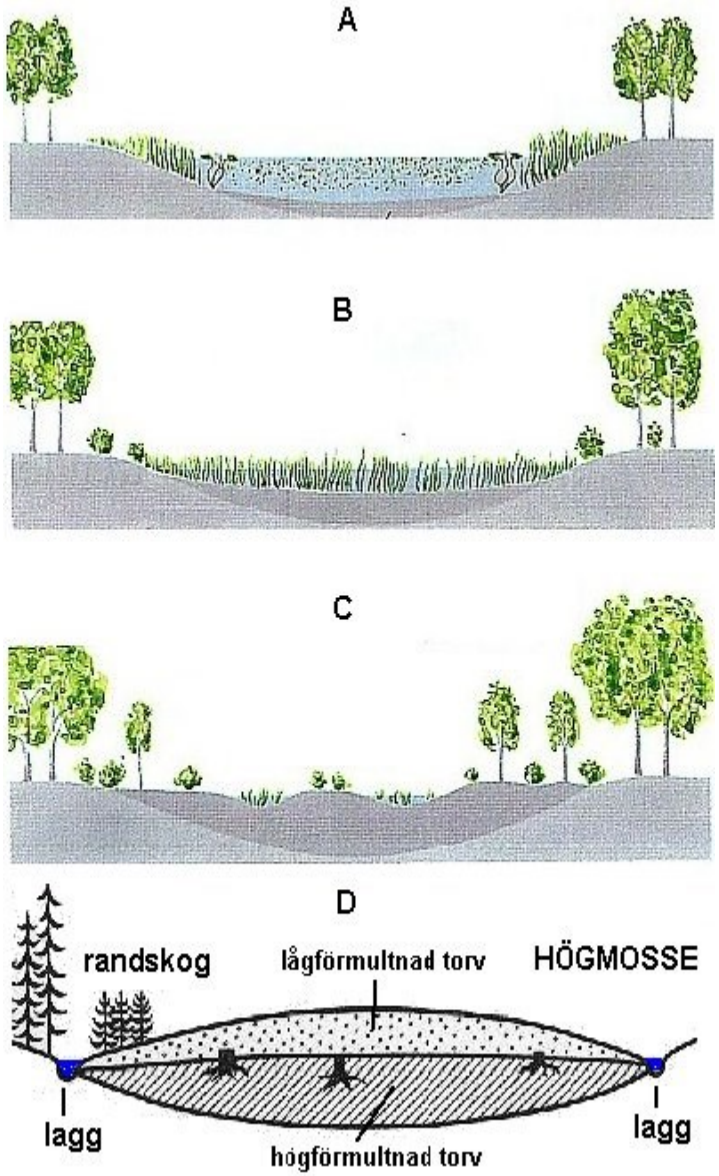


Kätterer et al., 2012. Acta Agric. Scand.; Kirchmann et al., 2015 Den ekologiska drömmen

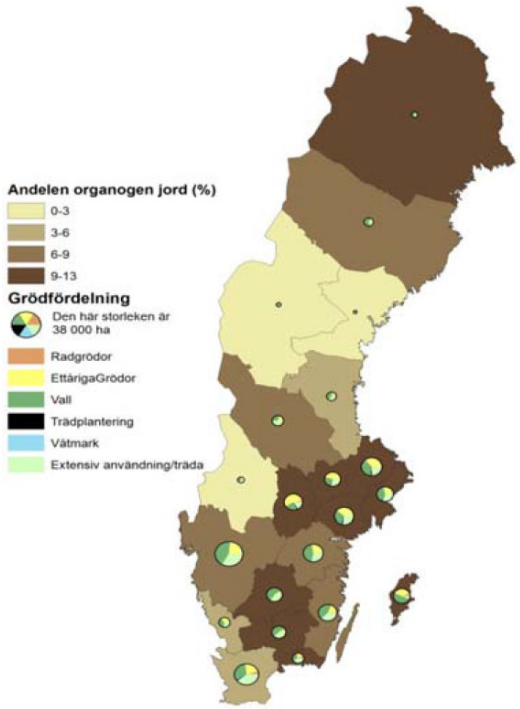
Dränerade mulljordar – stor källa för CO_2 och N_2O

2 m subsidens på 100 år
(Bälinge, Uppland)

Organogena jordar



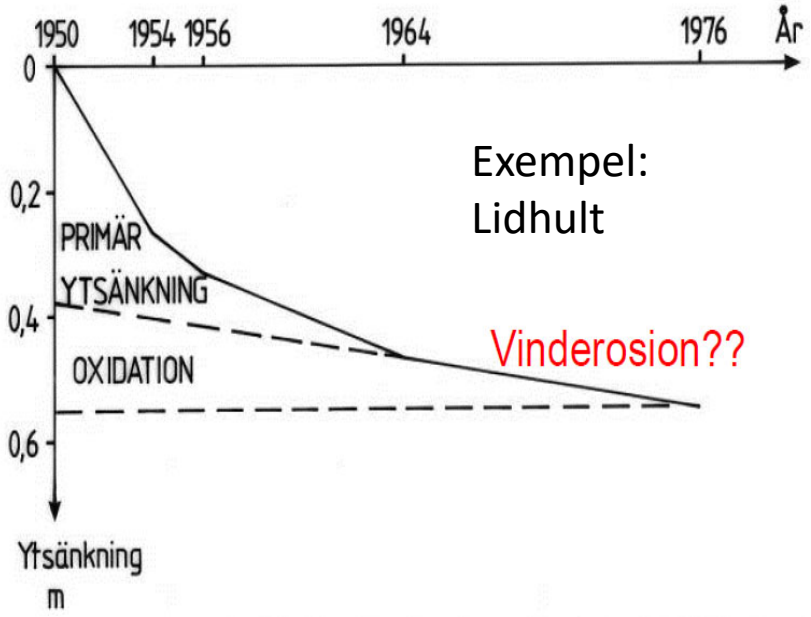
- 25% av Sverige landyta (Fredriksson, 1996)
- Ca. 8% av jordbruksmarken
- Från 0,7 Mha 1946 till 0,23 Mha idag
- Kärrtorv – näringrik
- Mosstorv – näringsfattig



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

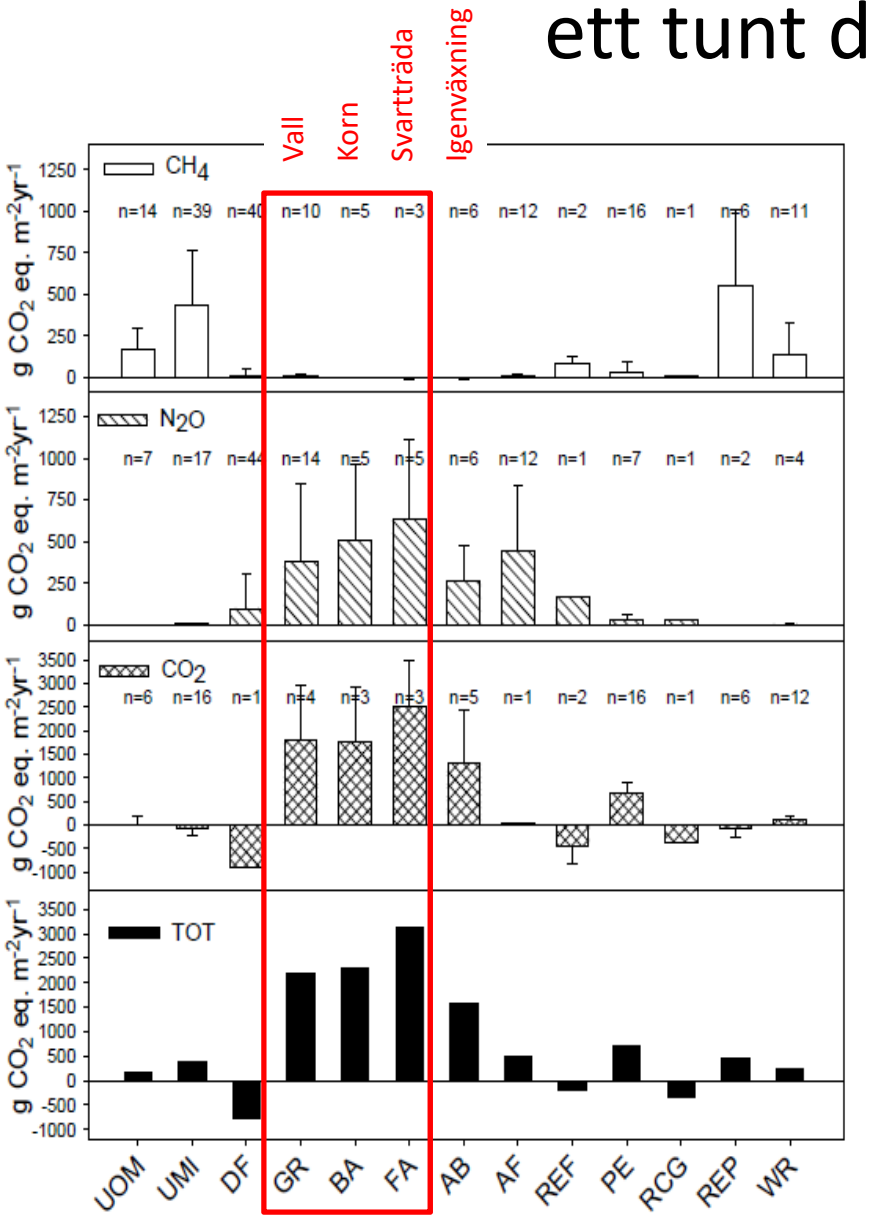
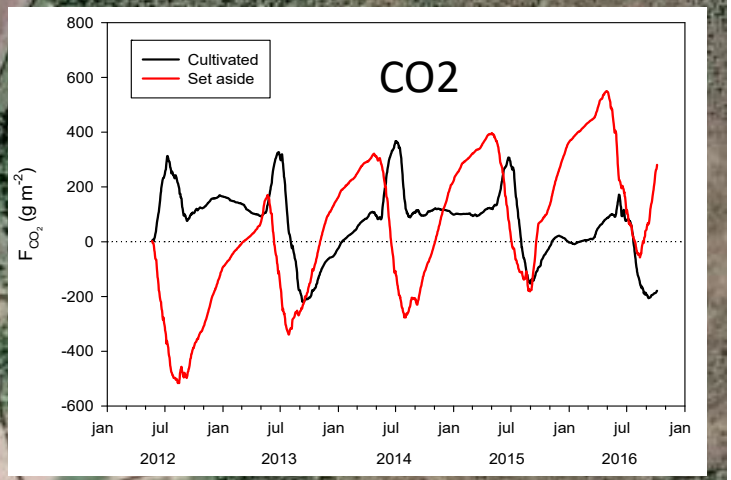


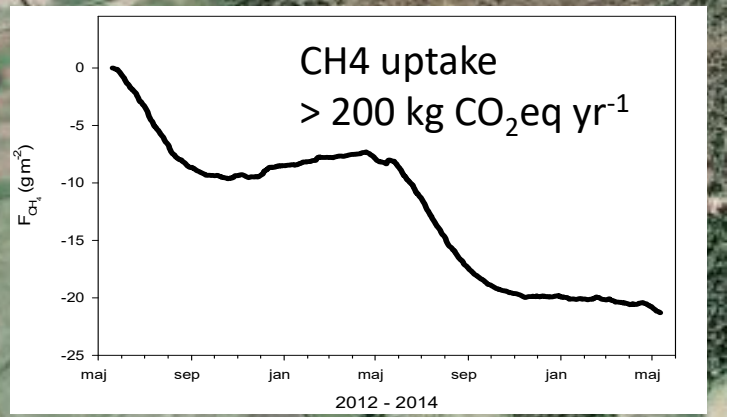
Fig. 1. The mean values of reported annual net fluxes of CH_4, N_2O and CO_2 exchange and the net effect of these gases as g CO_2 equivalents m^{-2} (100-year time horizon) from different peatland categories in the Nordic countries (UOM = undrained ombrotrophic peatlands and UMI = undrained minerotrophic 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

Maljanen et al. 2019 Biogeosciences, 7, 2711-2738

Dränerade mulljordar (Harbo, Uppland)





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:
Hur kan vi 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 skörderester och rester från samhället påverkar stabiliteten av kolet (biokol, rötrester, kompost, slam)
- Forskning, teknikutveckling, rådgivning och utbildning behövs för att utveckla uthålliga och klimatsmarta system

Tack för din uppmärksamhet!

Foto: Igelösa, G Börjesson