

Odlingssystemets effekt på kolinlagring i mark

Greppa, kurs 15 nov 2022

Thomas Kätterer, SLU

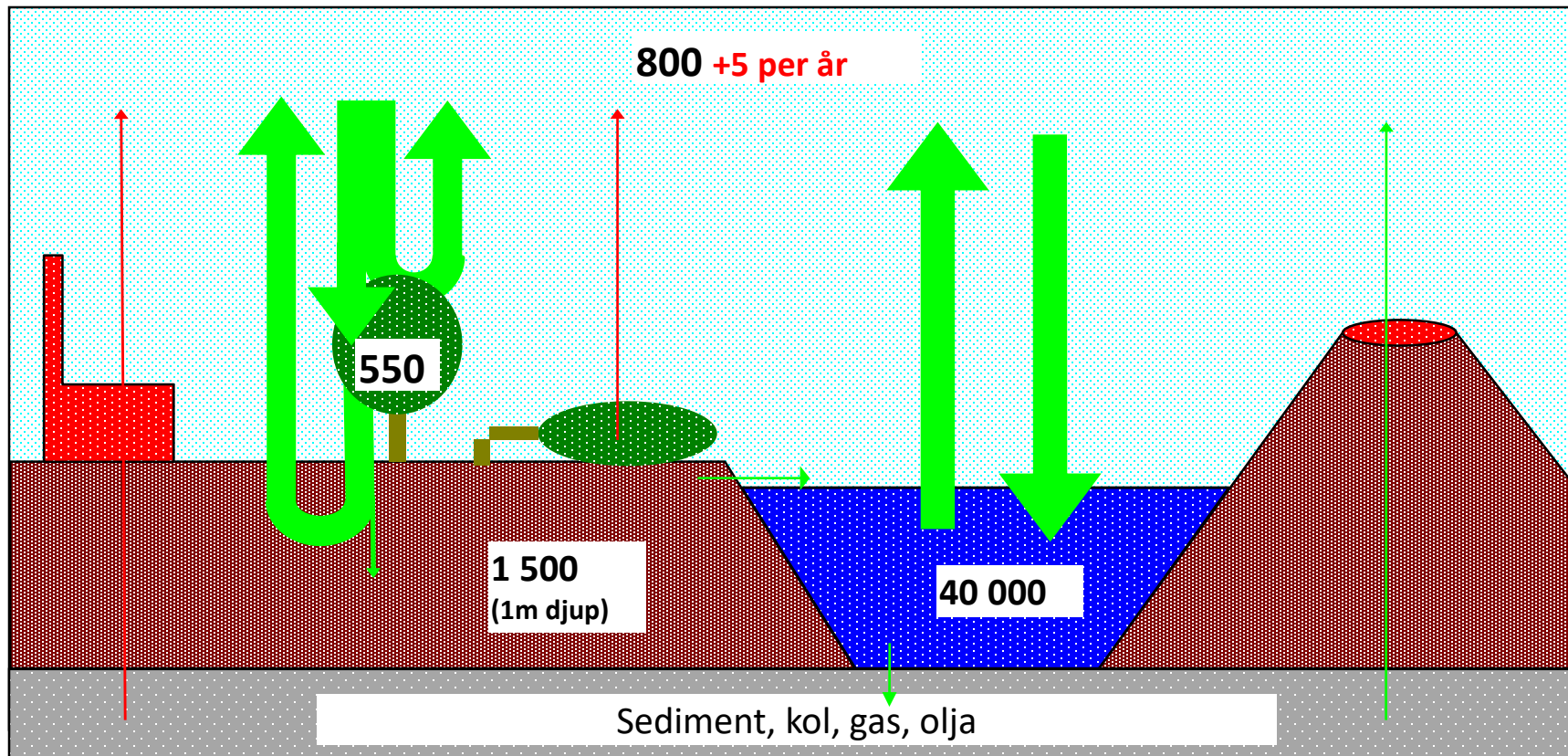
thomas.katterer@slu.se



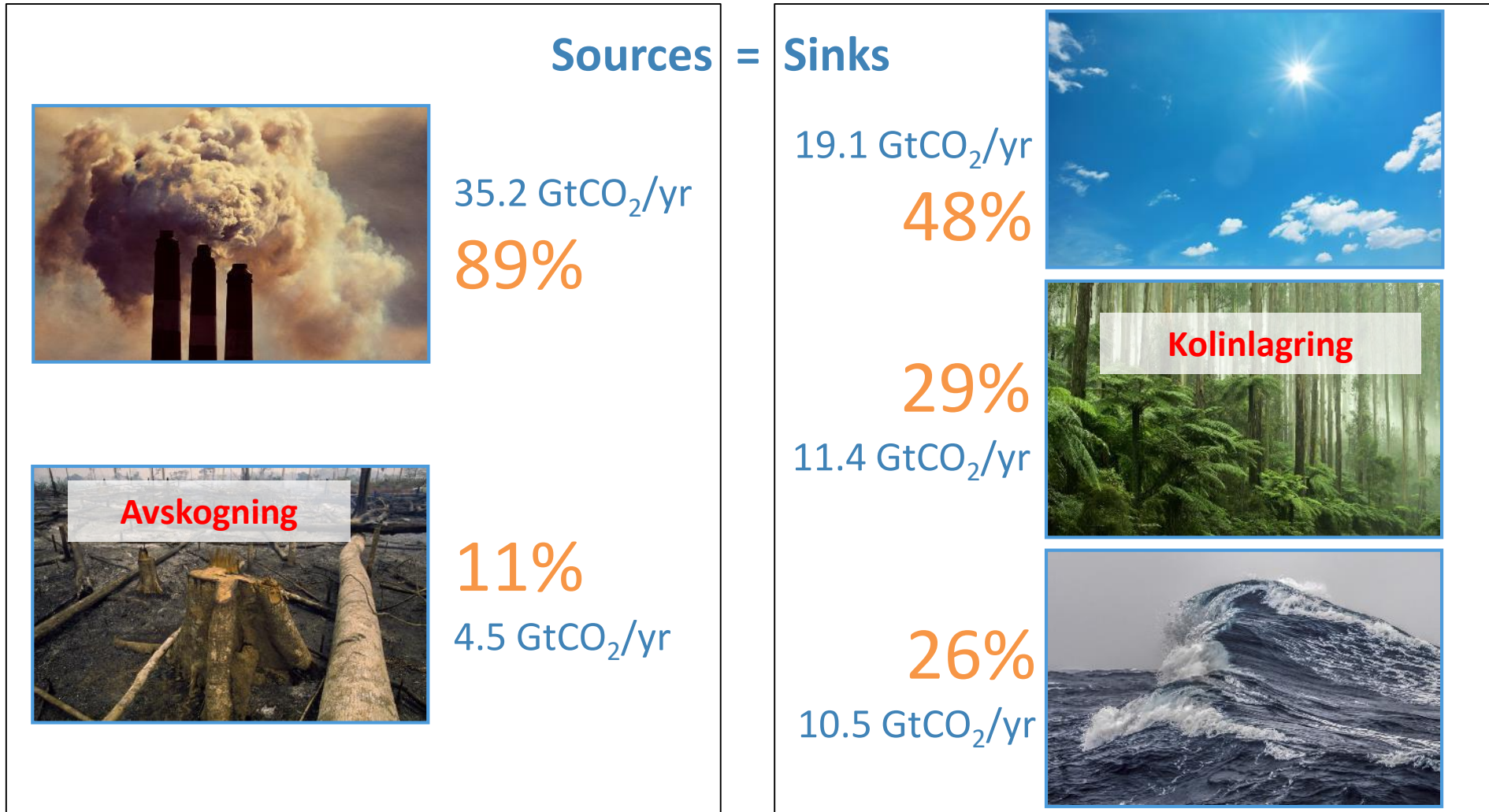
Disposition

- Markens roll i den globala kolcykeln
- Kolbalanser i svensk jordbruksmark
- Kolbalanser i långliggande försök
- Hur vi kan påverka kolinlagringen
- Hur vi kan verifiera en kolinlagring

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



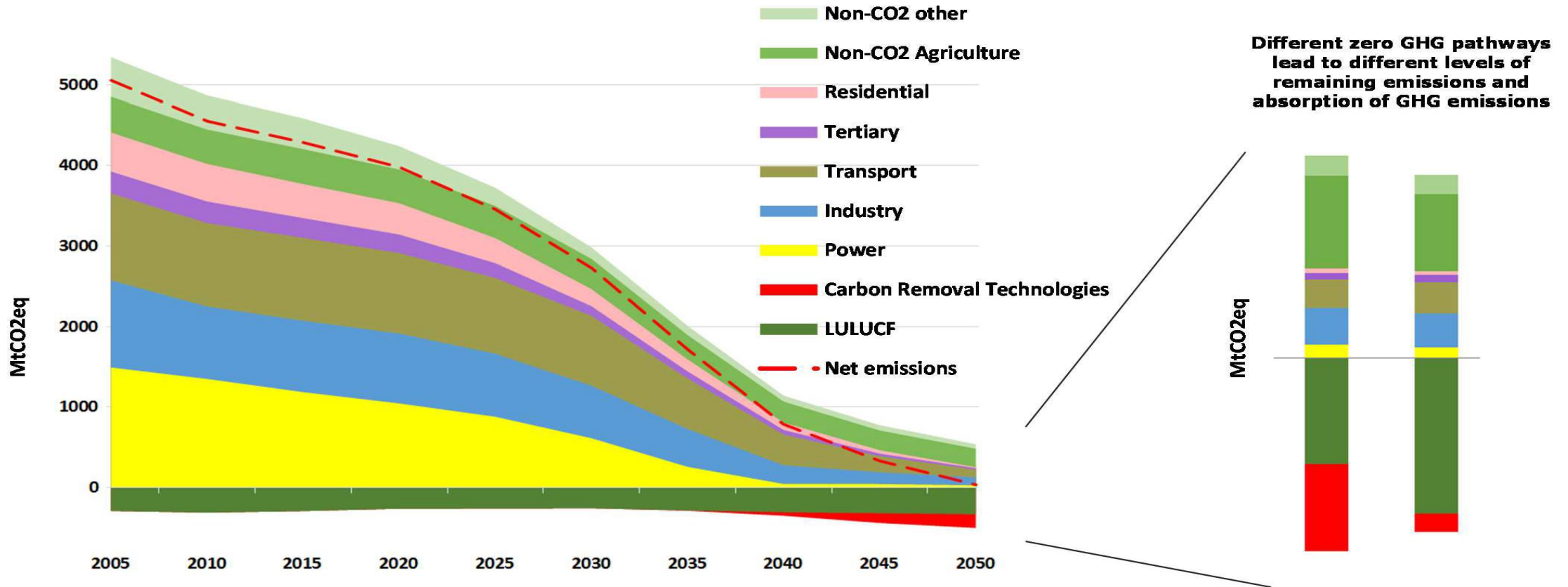
Fate of anthropogenic CO₂ emissions (2012–2021)



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

3%
-1.2 GtCO₂/yr

Vision for a Clean Europe by 2050



Kolinlagring i skog och mark

BECCS – CO₂ från bioenergi fångas in och lagras i berggrund

Jordbrukets territoriella utsläpp av växthusgaser (Mton CO₂-ekv.)

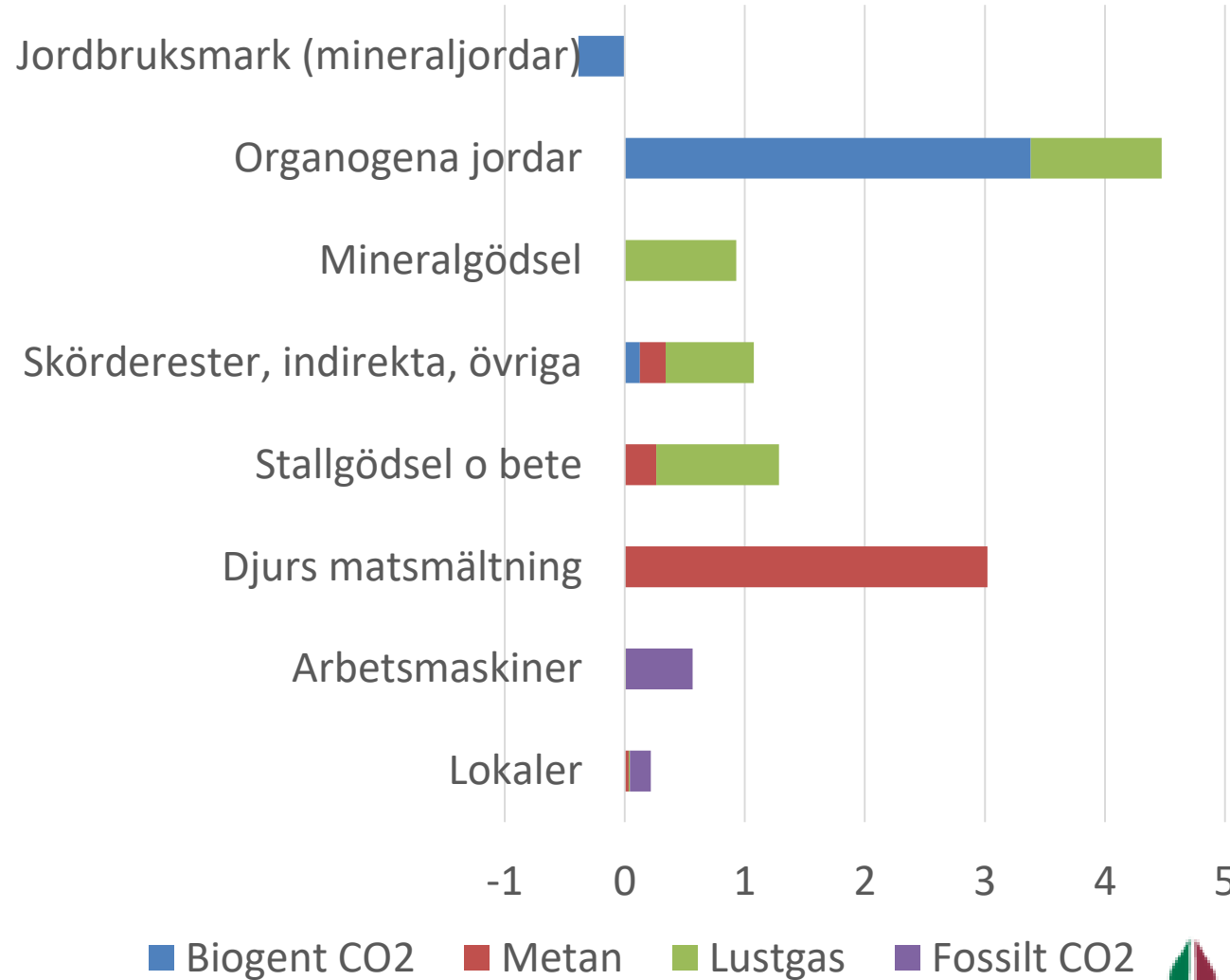
Min presentation

Markanvändning

Jordbruk

Lokaler/maskiner

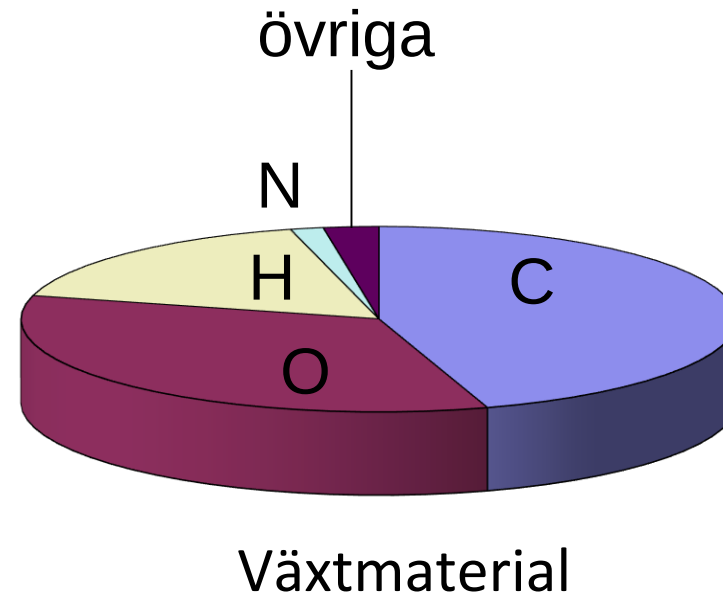
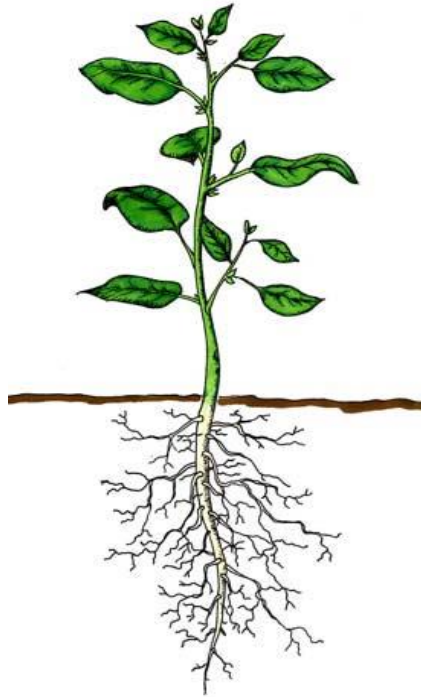
Kan ersättas med
icke-fossil energi



Är jordbrukare klimatbovar?

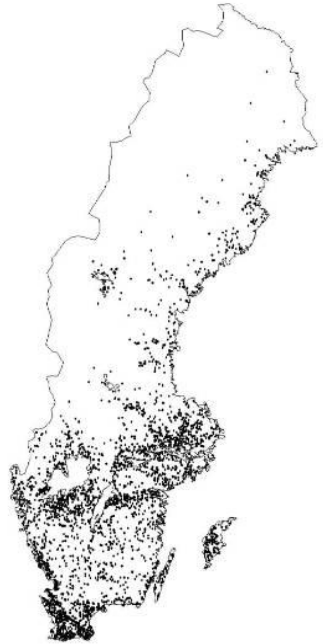
- Det beror på hur man drar systemgränserna
- Jordbruksprodukter har klimatpåverkan
- CO₂ binds i jordbruksprodukter men släpps ut av konsumenter
- Kolet i produkter som jordbruket levererar till samhället motsvarar ca 8 M ton CO₂-ekv*, dvs. ca 80% av jordbrukets nettoemissioner.

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



- Mull bildas av växter, djur och mikroorganismer
- Kolhalten ökar under nedbrytningsprocessen
- 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)

Ökande kolhalter i åkermark på mineraljord



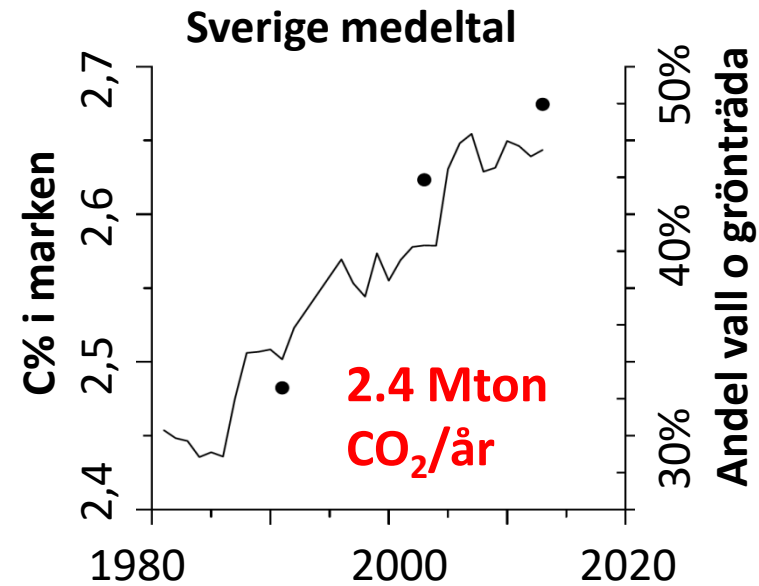
Markinventering:

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

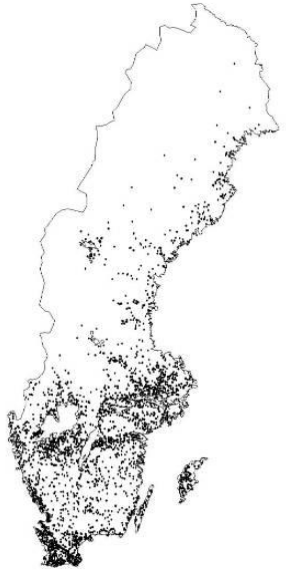
Förklaringar

Mera vall

Mera höstsäd, mindre vårsäd



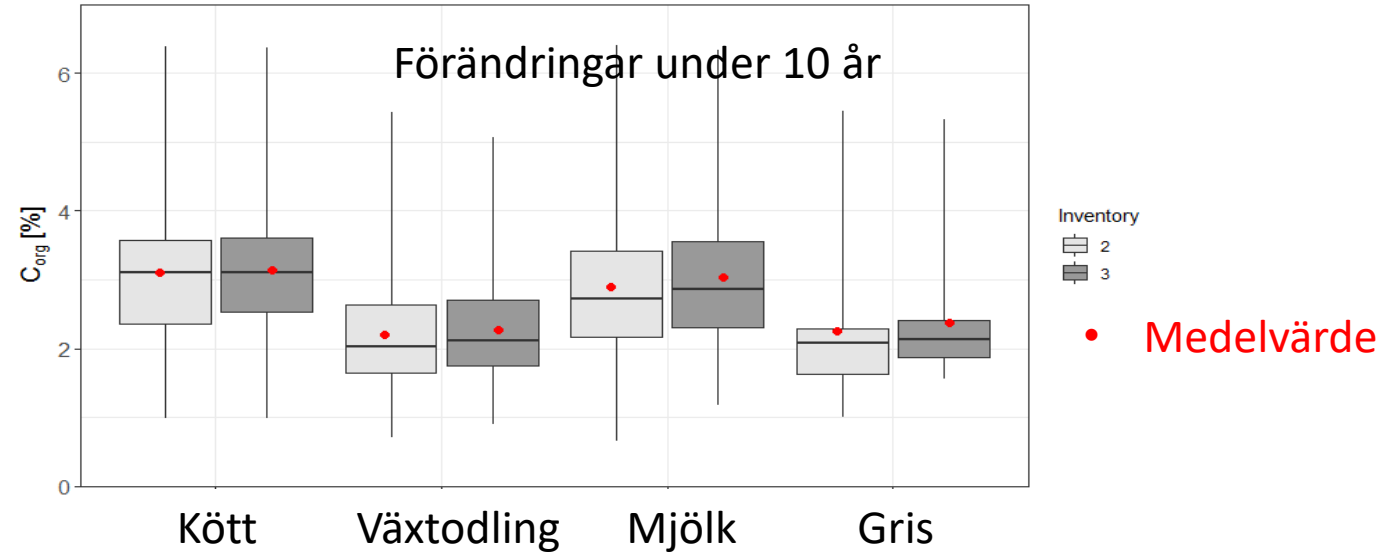
Förändringar i markkol mellan omdrev II och III på gårdar med olika driftsinriktning (enbart mineraljordar)



Markinventering:

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

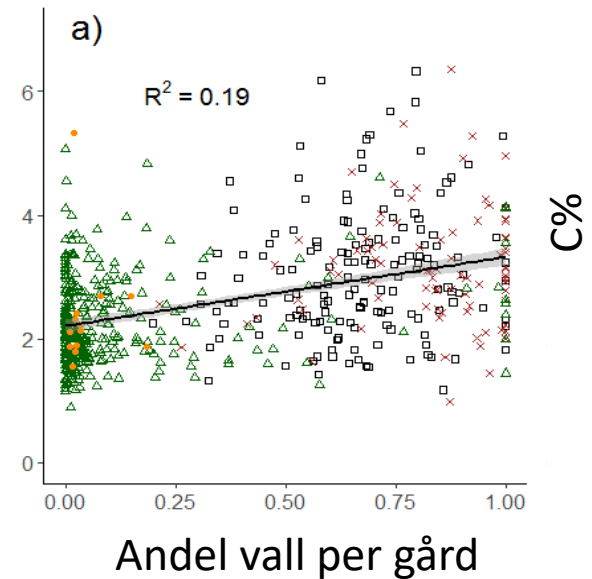
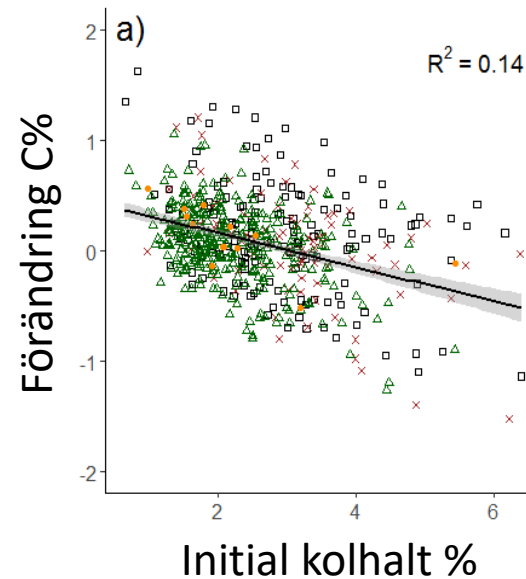
II och III: samma provpunkter
inom GPS noggrannhet på 1 meter



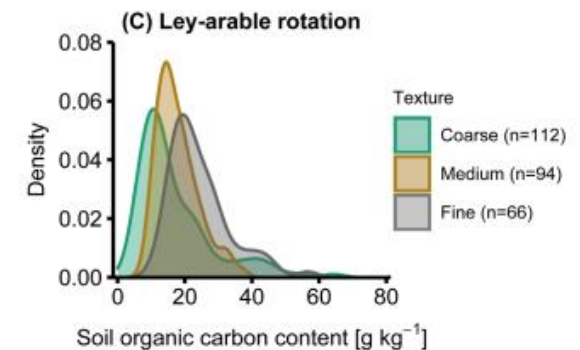
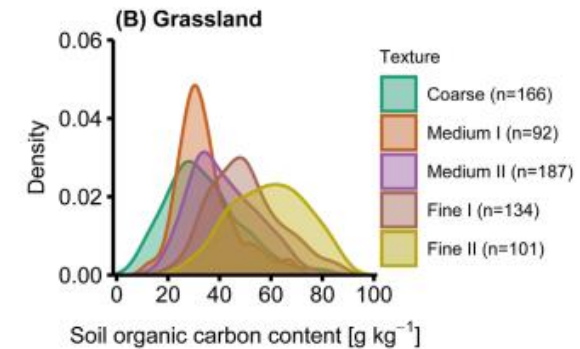
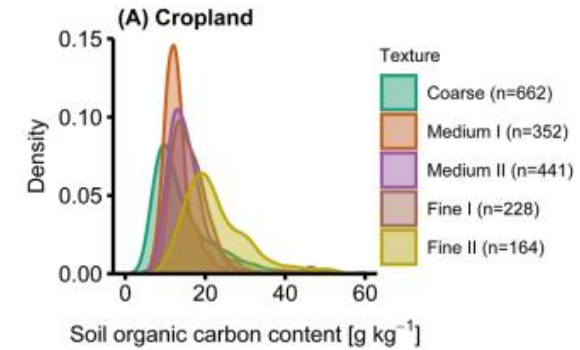
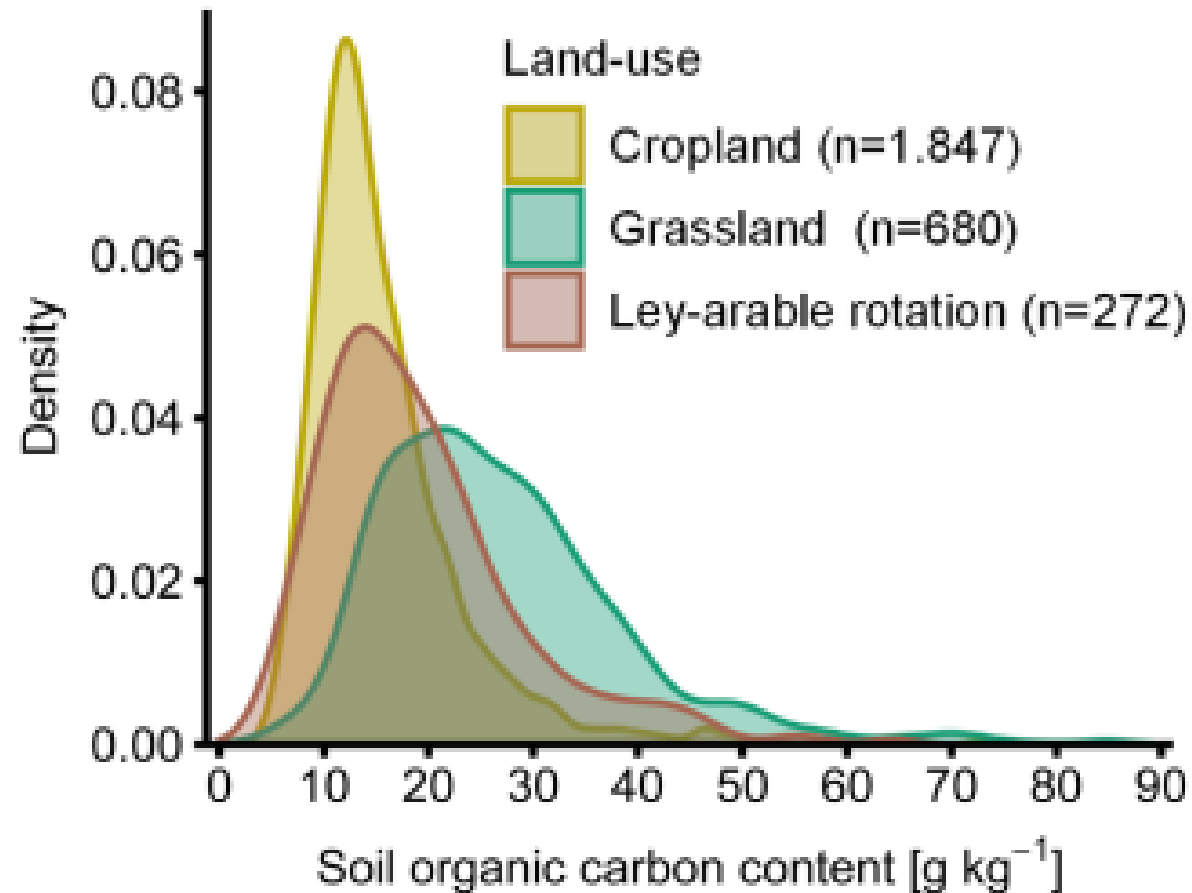
Generellt: ökande kolförråd

	Mean SOC stock inventory II	Mean SOC stock inventory III	Mean annual SOC change	Number of observations
Dairy farms	76.8	80.8	0.38	159
Beef farms	81.3	82.8	0.14	86
Crop farms	62.0	64.1	0.21	318
Pig farms	62.0	65.9	n.s	13

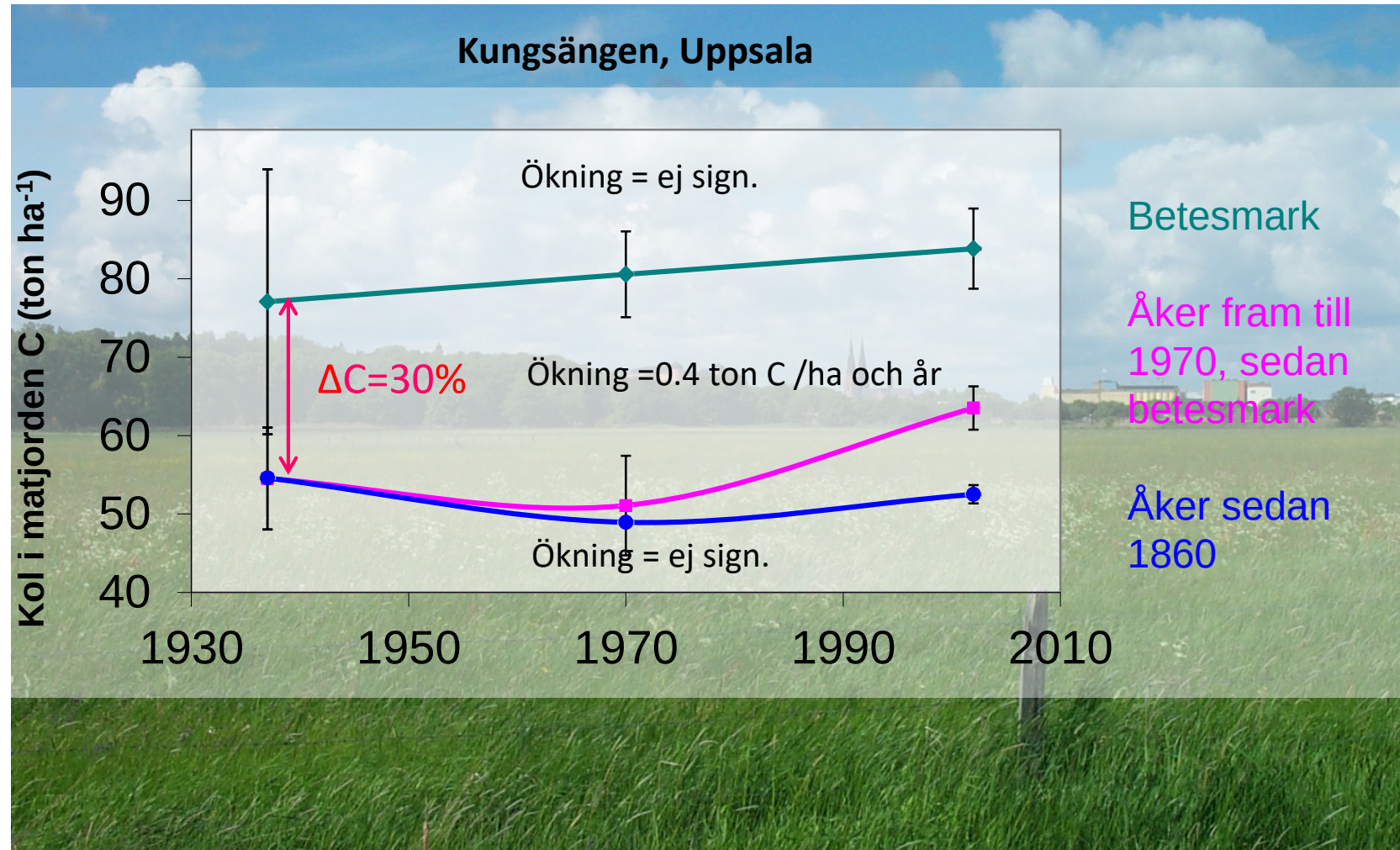
Henryson et al., 2022



Kolhalter i tyska jordbruksjordar

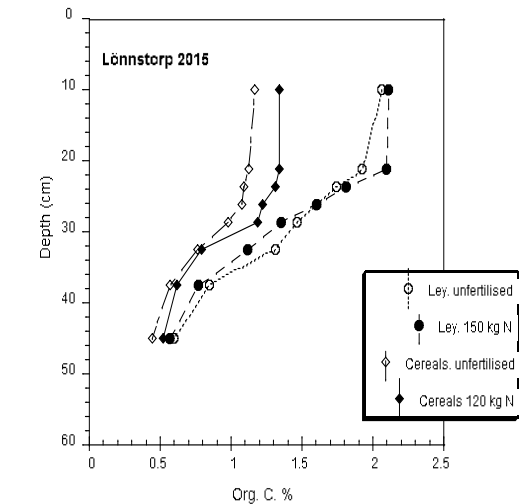
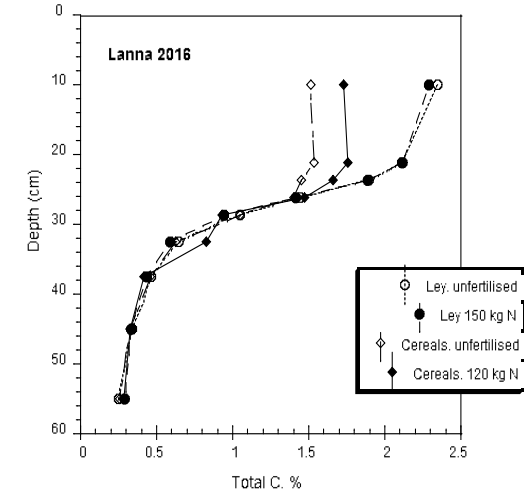
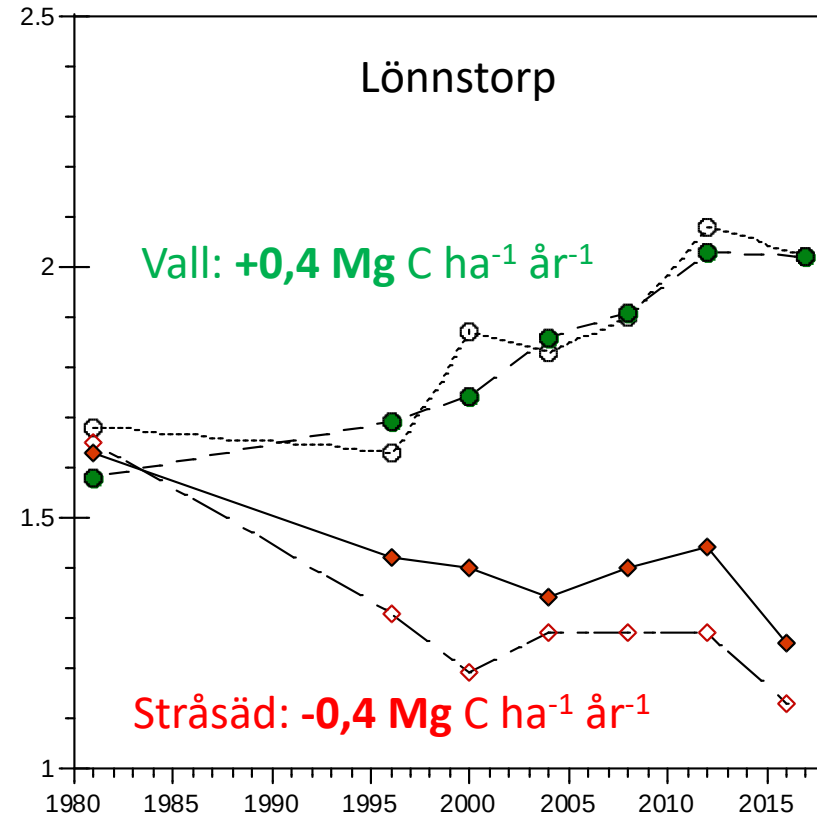
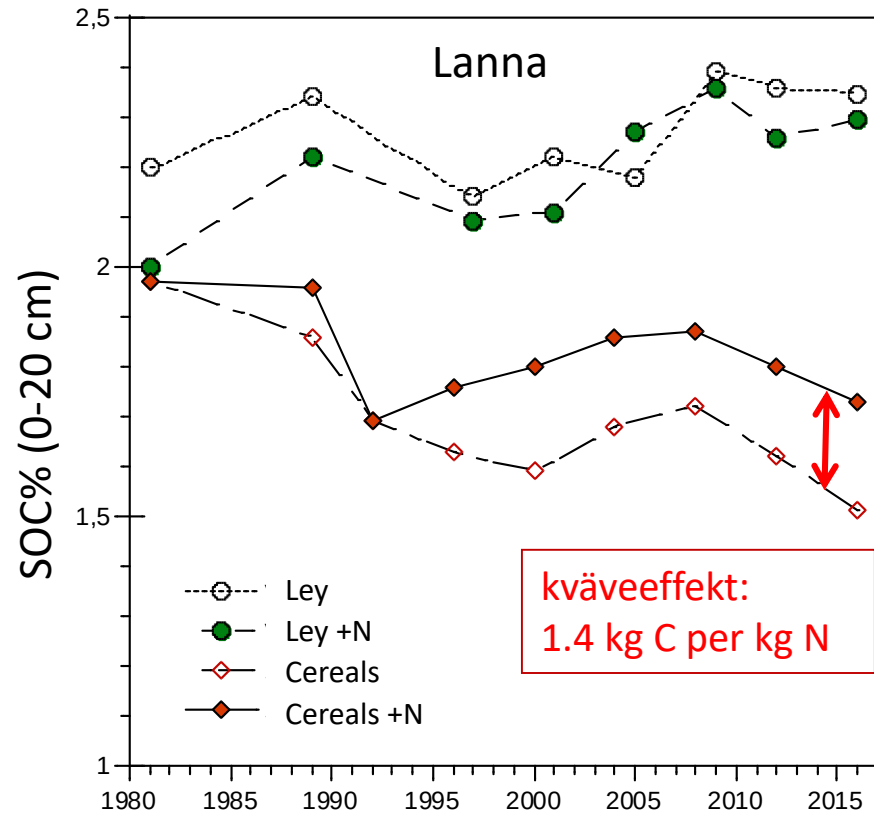


Årliga förändringar i kolförråd är små jämfört med de stora förråden marken. Därför behövs långliggande fältförsök och markinventeringar



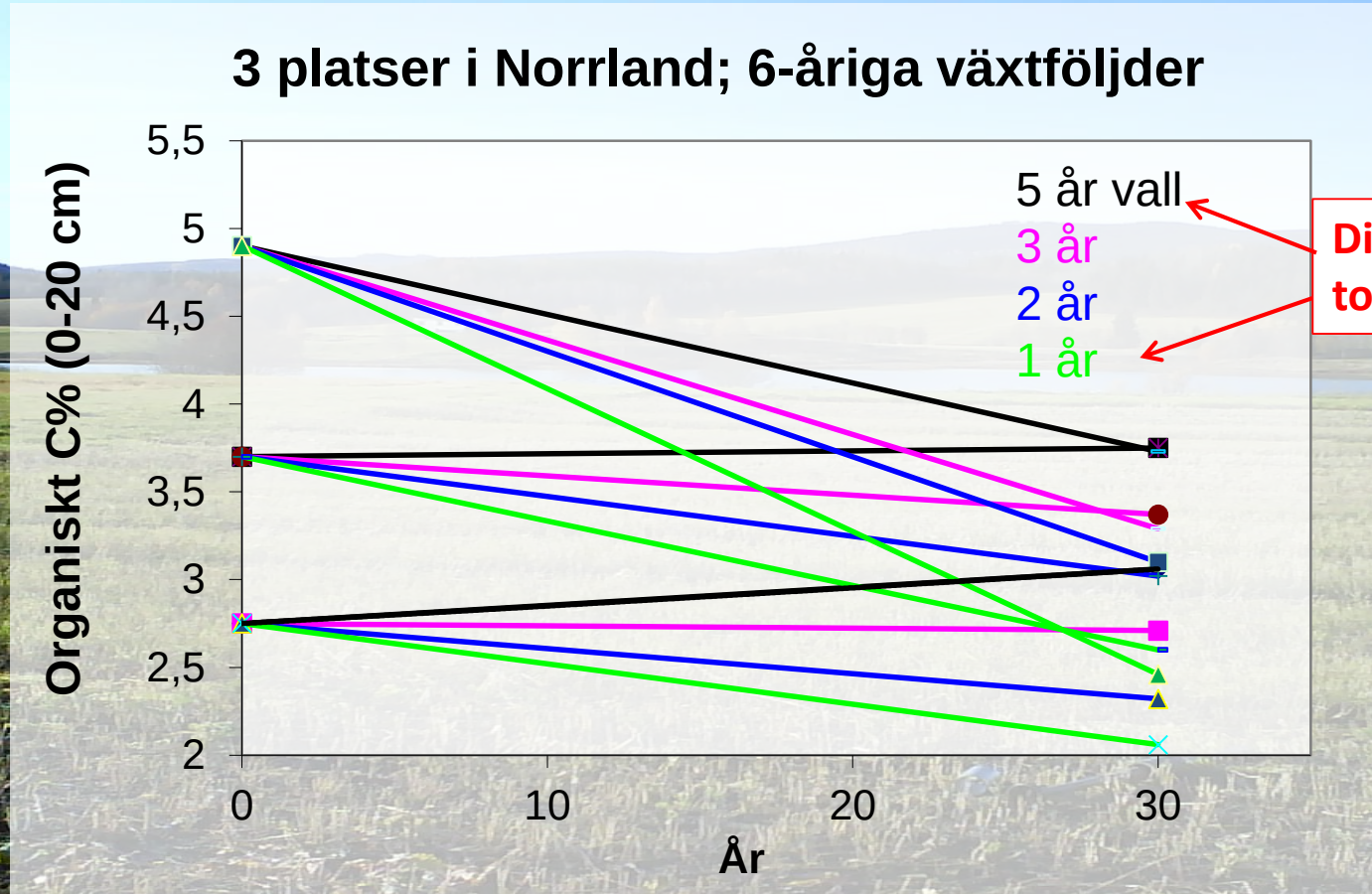
35 års långvarig vall jämfört med kontinuerlig stråsäd med och utan mineralkväve

Effekt av växtföljd: vall vs. gödslad stråsäd
Effekt av kvävegödsling i stråsäd monokultur



Kolinlagringen (särskilt i alven) skiljer sig mellan platserna (Börjesson et al. 2018 Biol Fert Soils)

Fleråriga växter (vallar) bygger upp kolförrådet



Varför ökar kolinlagringen i vallar?

Kernza (vetegräs)

vete



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

Majs

Välldränerad

Vattensjuk

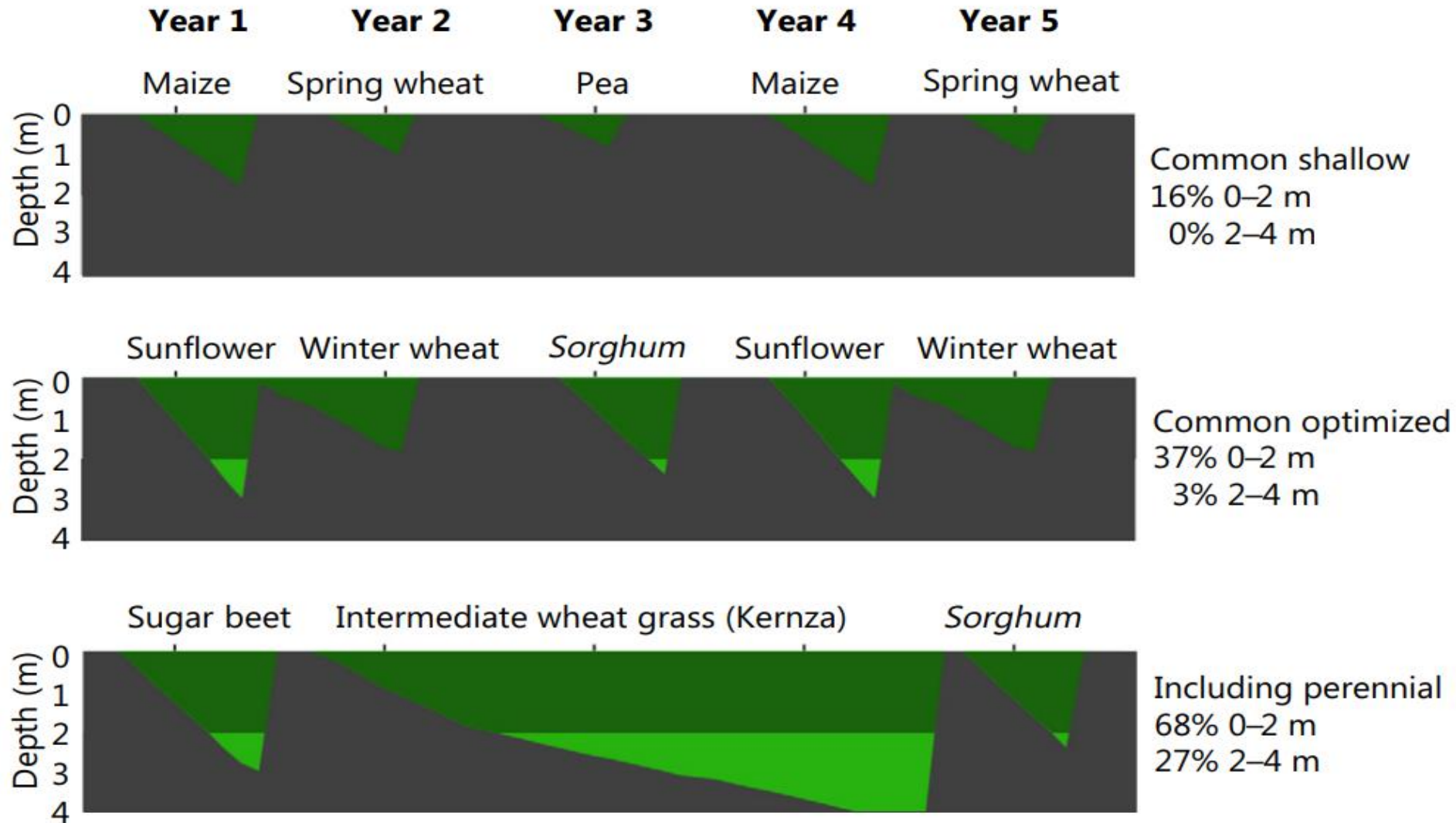


Rotsystemets arkitektur styrs
av genetiken och miljön
(vatten, näring, temperatur,
markpackning m.m.)

Rich & Watt 2013 J Exp Bot 64

Rotfördelning i 3 växtföljder i en jord utan fysikaliska eller kemiska barriärer

(Thorup-Christensen 2020 Trends in Plant Science 25)



På växtodlingsgårdar kan mellangrödor, agroforestry, energiskog och permanent bevuxna åkerkanter led till kolinlagring, minskad erosionen och förluster av N och P

Svenska försök med rajgräs som fånggröda (16-24 år):
0,3 ton kolinlagring per hektar och år

Poeplau et al., Geoderma Regional 2015

Global meta-analys, 543 studier med mellangrödor:
0,56 ton C per hektar och år

Jian et al. 2020 SBB 143,107735

Risk för ökad lustgasavgång från vissnande fånggrödor

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

Guenet et al. (2021) Glob Change Biol 27(2):237–256

Ökad Albedo (markytans reflektion av solstrålning) –
betydande direkt kylning av atmosfären

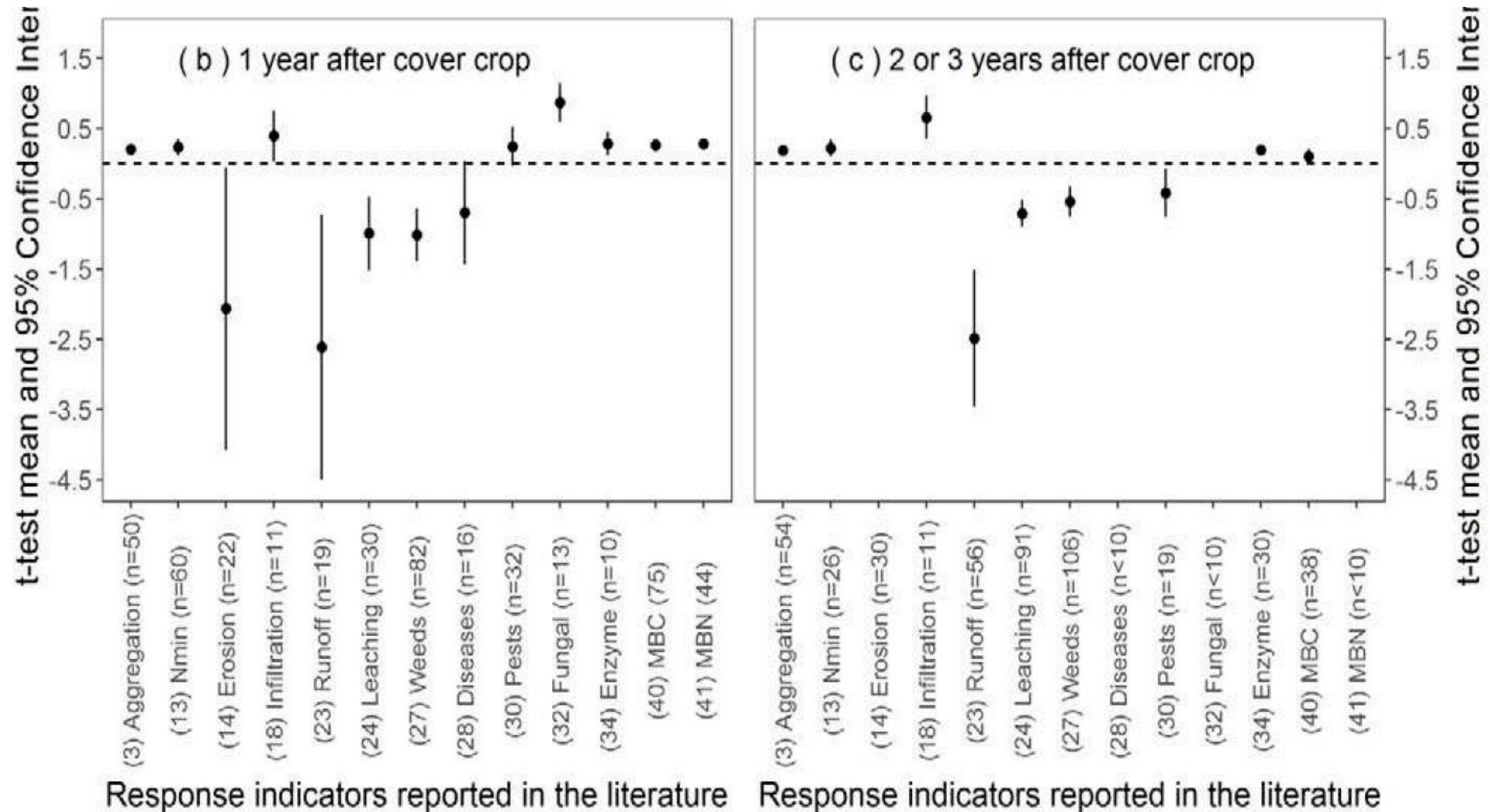
Lugato et al 2020 Environ. Res. Lett. 15 094075

Sieber, PhD-thesis at SLU 2021:87

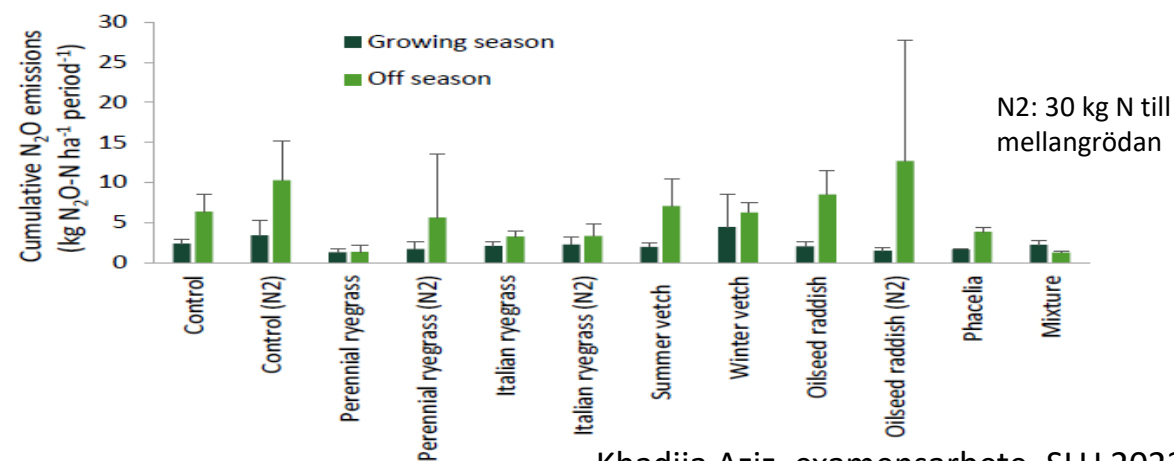
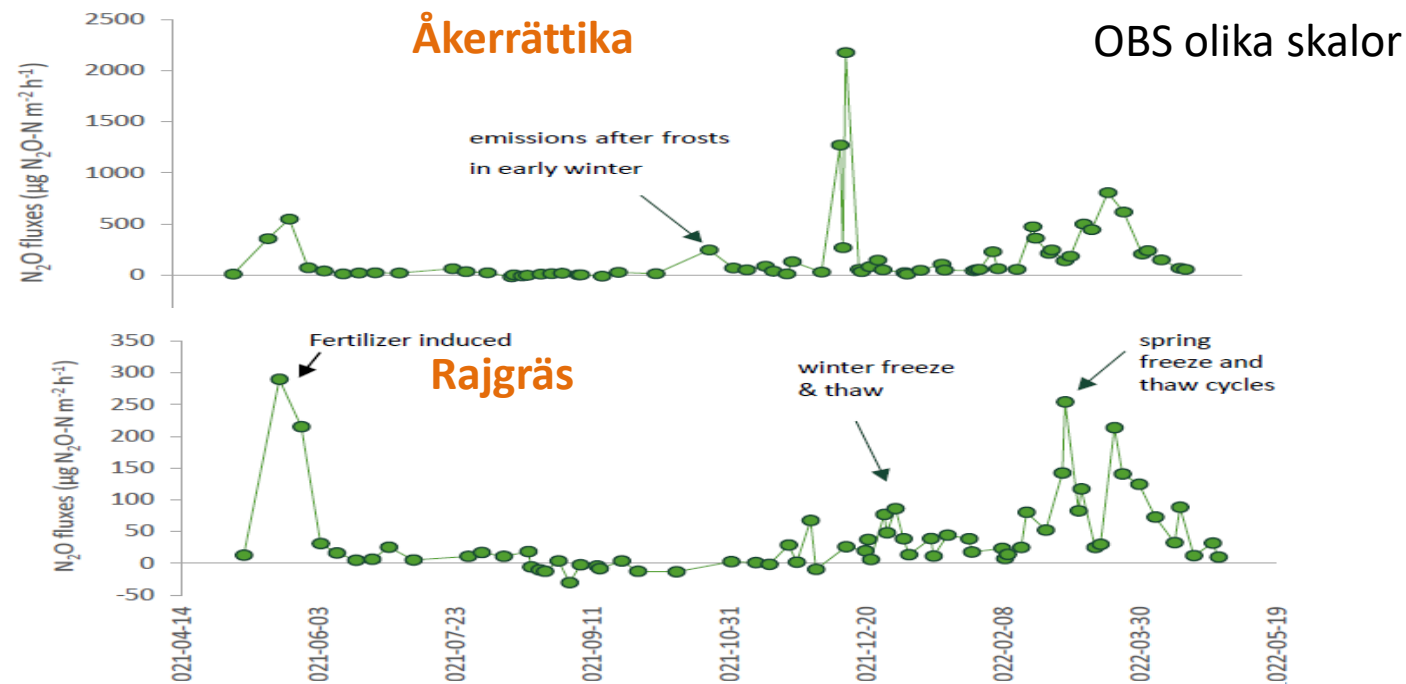
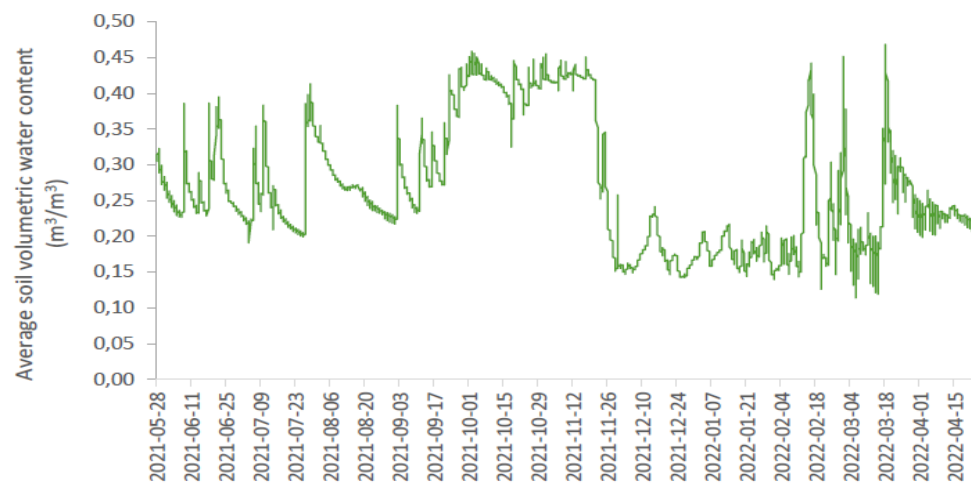
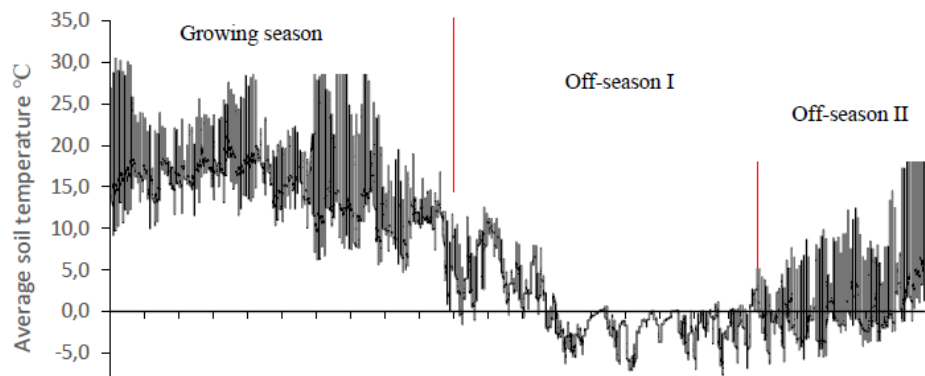


Mellangrödor påverkar markegenskaper även på kort sikt

(Stewart et al. 2018 <https://doi.org/10.2134/aer2018.06.0033>)



I regel minskar lustgasavgången med mellangrödor, men man måste se upp med vissa mellangrödor (CAPTURE projekt i Norge, 1 år, 2021/22)



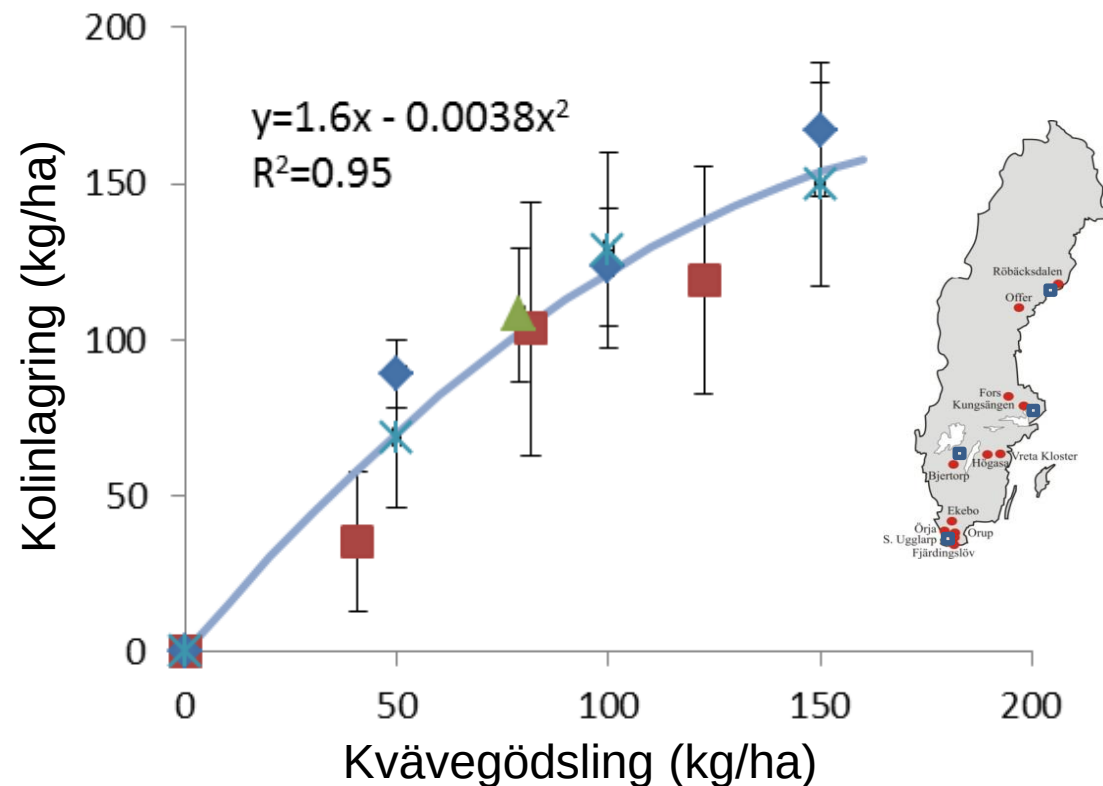
Undvik bar mark



Kolinlagring gynnas av hög produktion

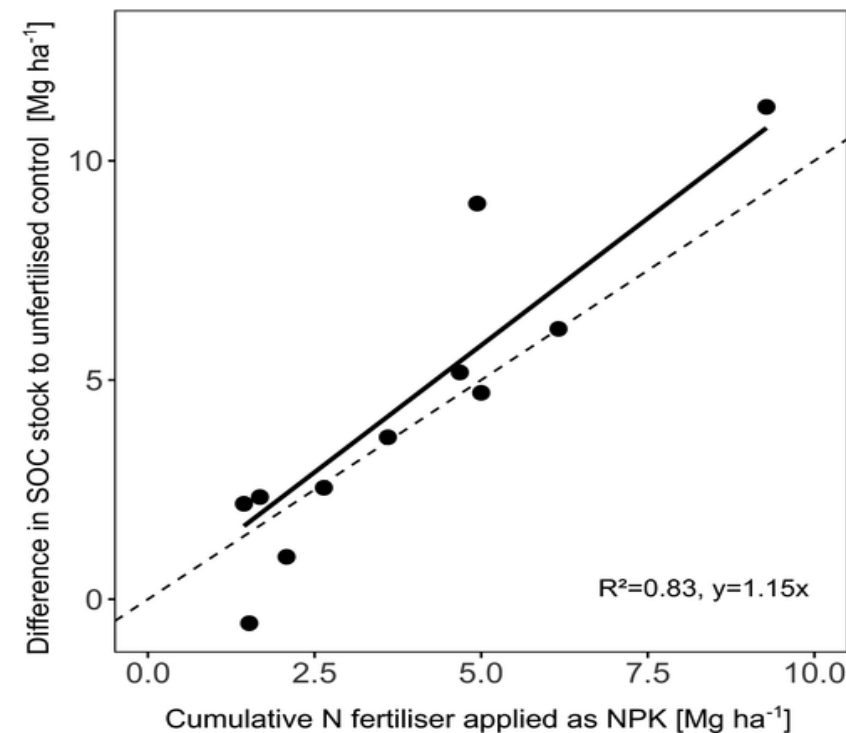
Resultat från 16 långliggande försök med ettåriga växter

Kätterer et al., 2012 Acta Agric. Scand.



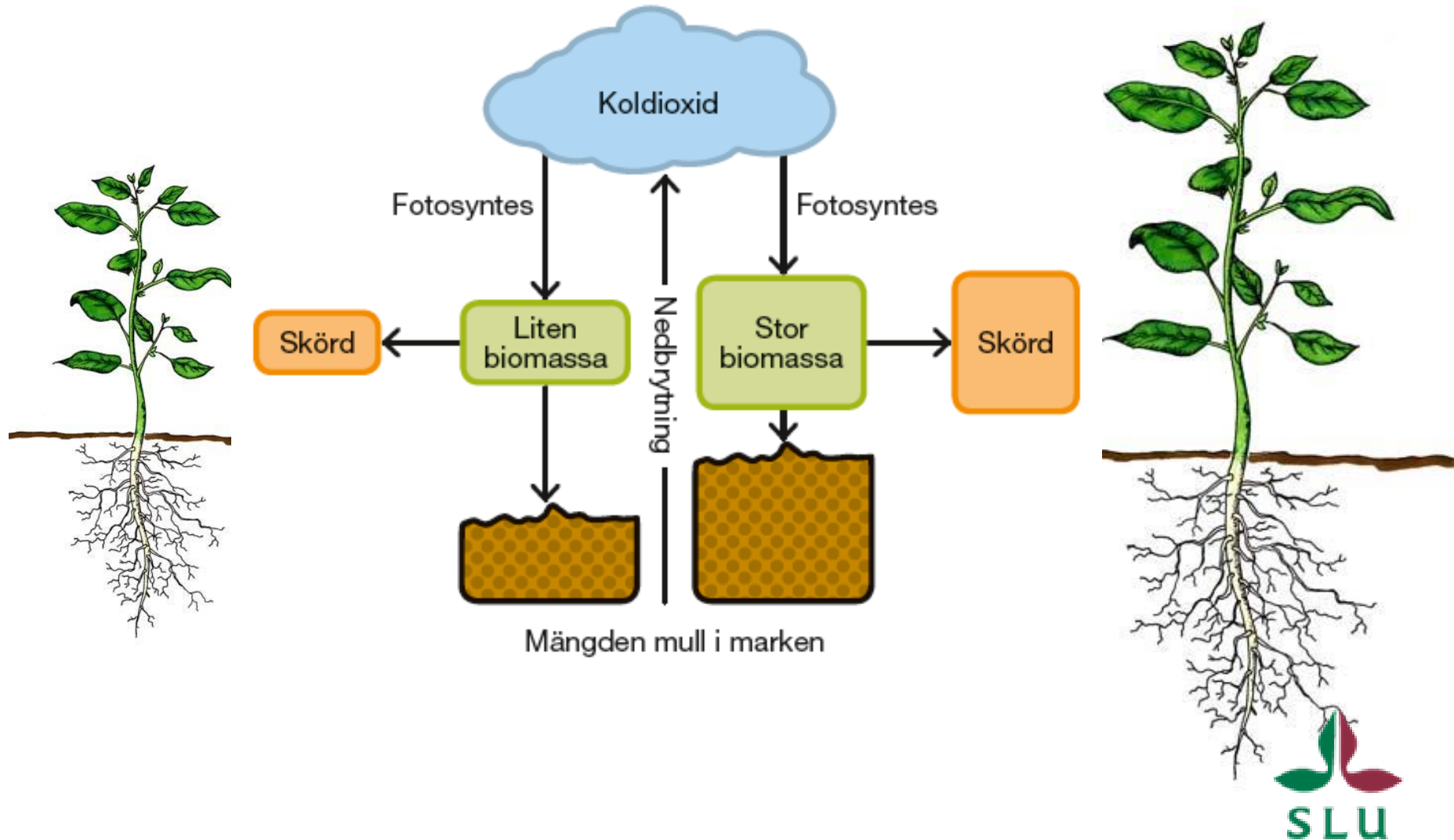
Europeiska gäsmarker

Poeplau 2021 Grass and Forage Science 76, 186-195

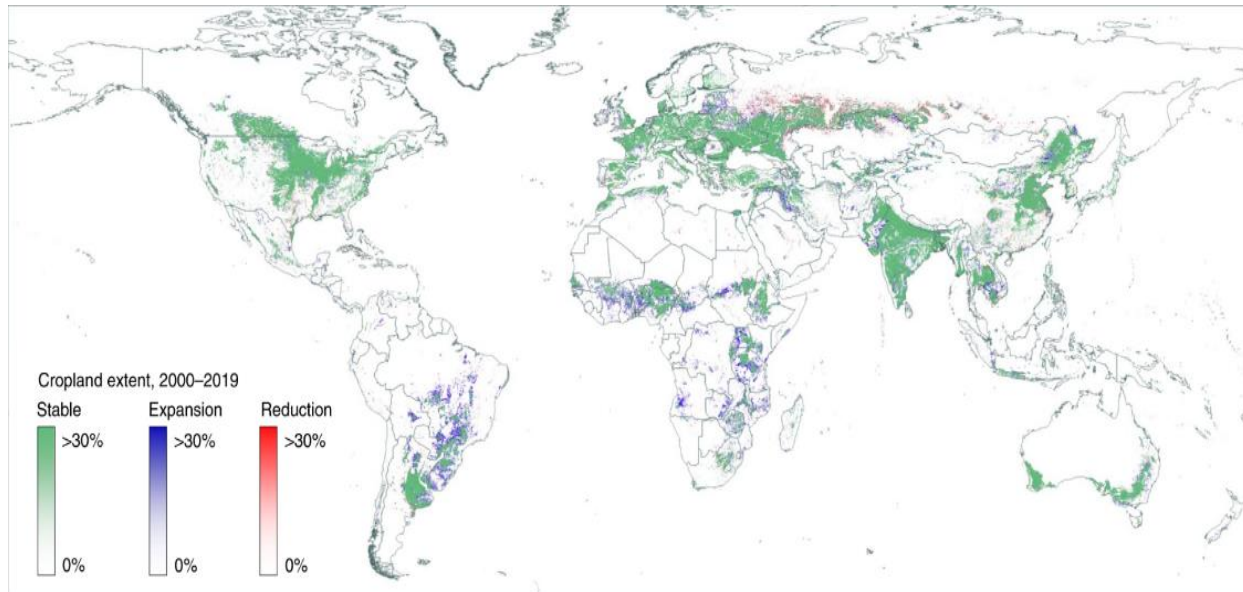


Tumregel: Varje kilo N höjer kolförrådet i marken med ca 1 kg C i matjorden (0-20 cm) i både ettåriga och fleråriga grödor

Hög produktion leder till hög kolförråd och vice versa



Extensiv produktion leder till låga kolförråd lokalt och ökat arealbehovet som och driver på avskogningen – dvs ”läckage”

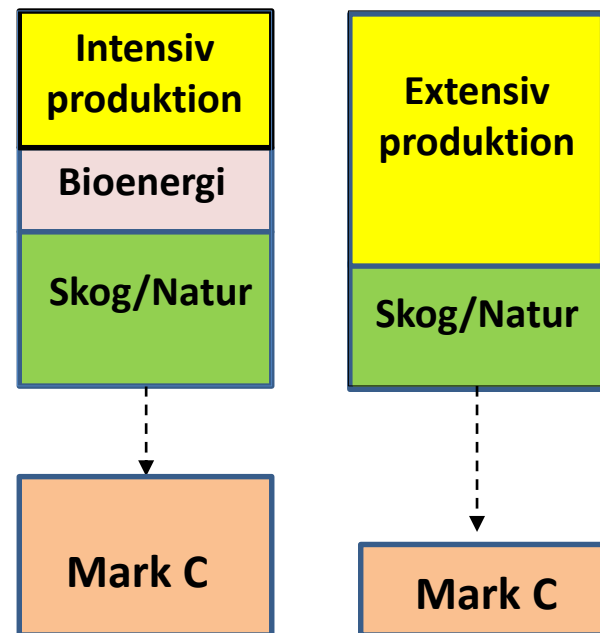


7 Mha/år nettoökning över åkerarealen globalt 2003-19

Potapov et al 2022 Nature Food 3, 19–28

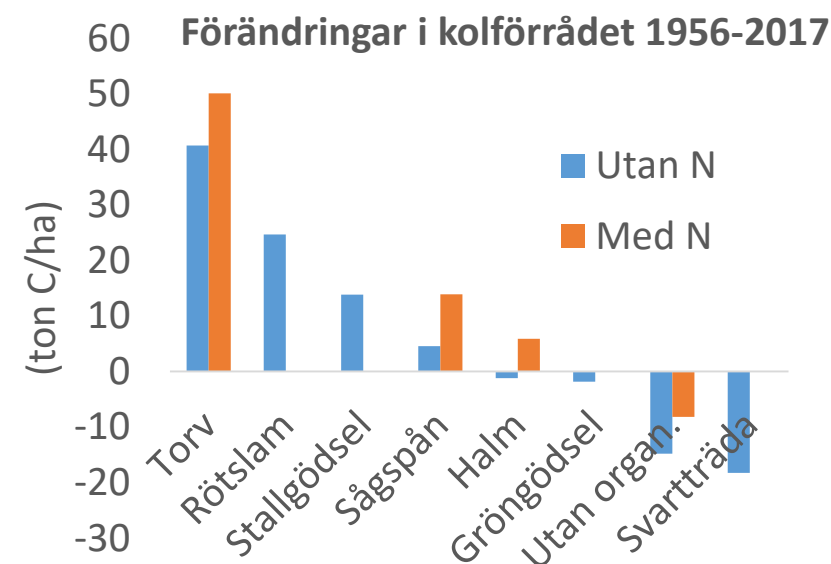
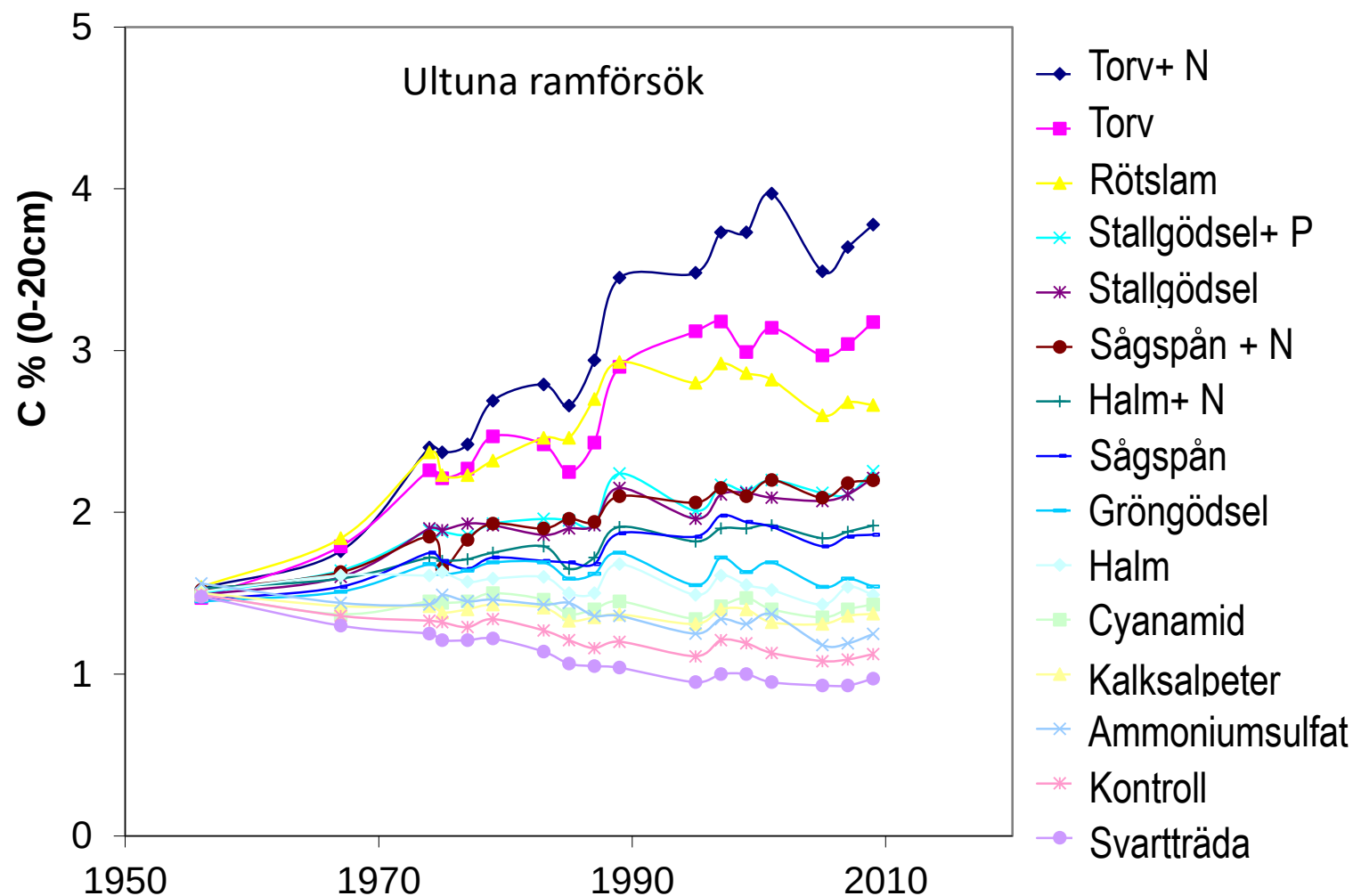
OBS betesarealen har också ökat kraftigt!

Arealbehov för att producera en viss mängd

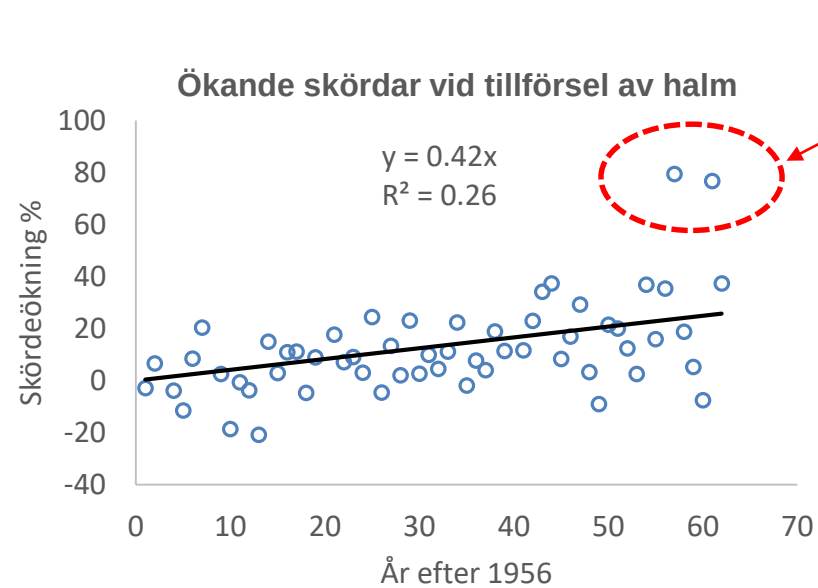
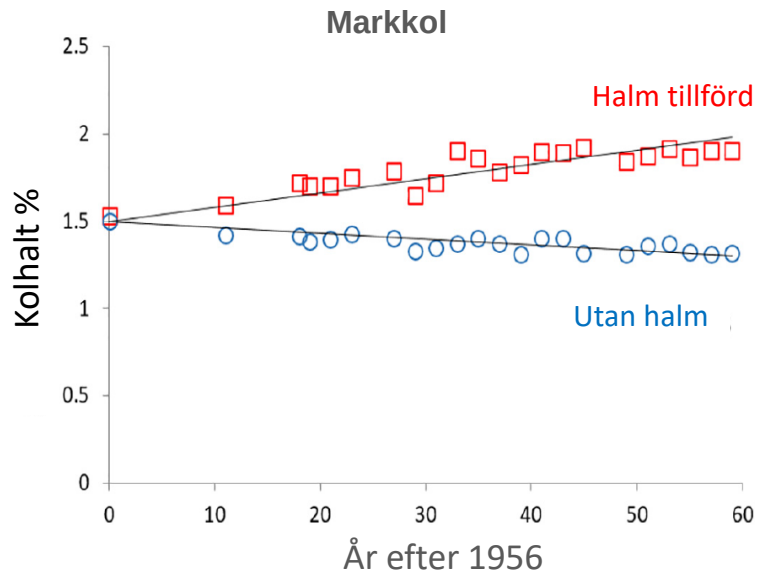


Långliggande försök är viktiga för att kvantifiera effekten av olika skötselåtgärder

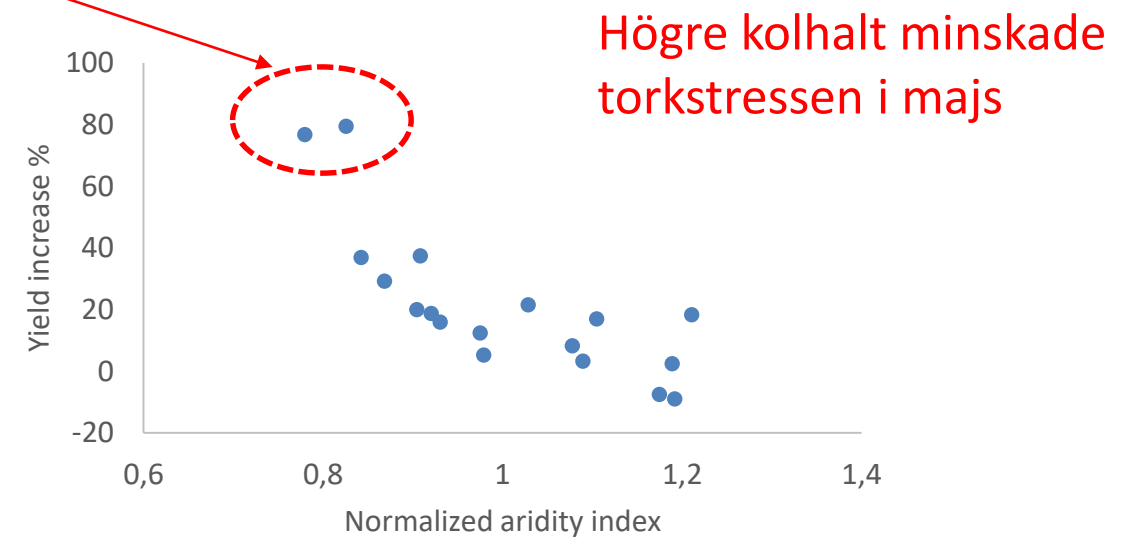
Samma mängd kol (4 ton C/ha vartannat år) tillförs i Ramförsöket i olika former



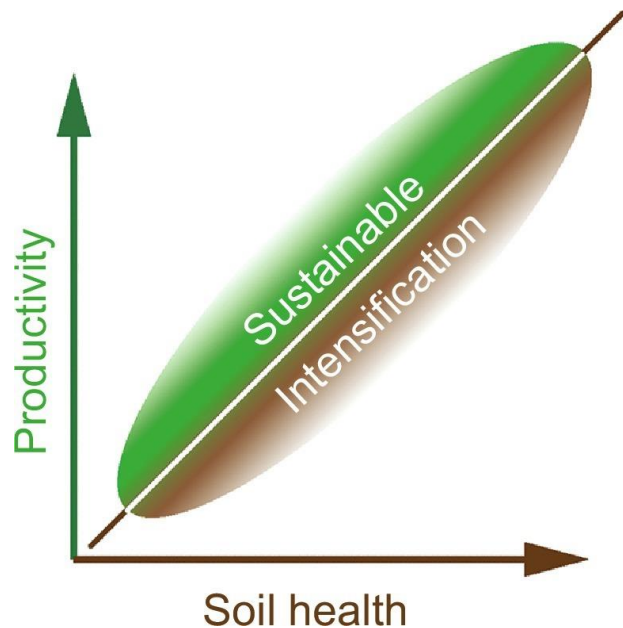
Högre kolhalt – högre skörd i Ultuna ramförsök



2013 och 2017

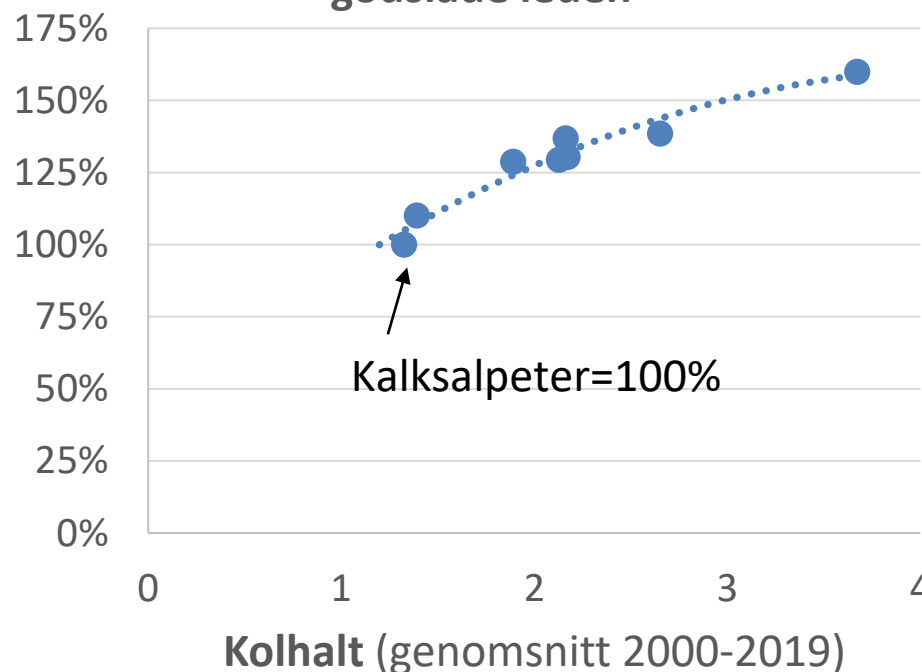


Bördigheten ökar med kolhalten i Ramförsöket på Ultuna

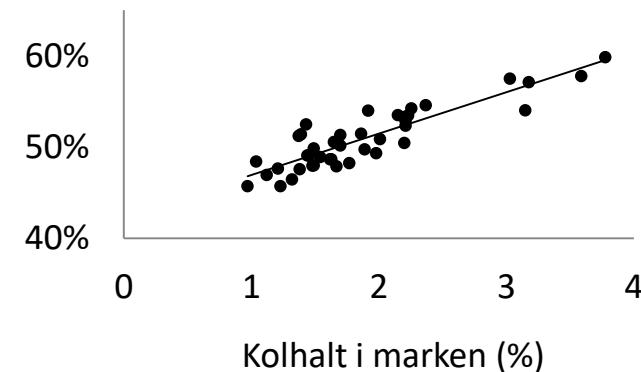


Hatfield et al 2017 Adv Agron 43

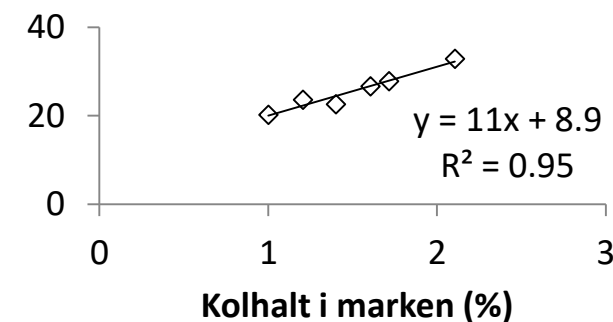
Majsskördar 2000-2019 i de N-gödslade leden



Markens porositet (0-20cm)



Växttillgänglig vatten (mm) i 0-20cm



- 23% skördeökning om kolhalten ökar med 1 procentenhet
- Växttillgänglig vatten ökade med 11 mm när kolhalten ökade med 1 procentenhet
- Enbart 2,3 mm ökning av växttillgänglig vatten per procentenhet ökning av C enligt en global meta-analys (Minasny & McBratney, 2018 EJSS 69, 39–47) som dock inte tar hänsyn till volymökningen av jorden pga. lägre volymvikt som leder till att markytan höjs.

Kolkrediter

5 nyckelbegrepp

- Mängden kol som fångats in från atmosfären måste kunna **verifieras**.
- **Permanens**: Det måste garanteras att kolet stannar i marken under längre tid. Vems ansvar?
- **Negativa bieffekter ska minimeras** (lustgasutsläpp, produktivitet, biologisk mångfald etc.)
- Kolkrediter måste vara **additionella**, ske utöver det som regleras via lagstiftning eller CAP
- Frånvaro av **läckage**: Åtgärden få inte leda till ökade utsläpp någon annanstans.

Många aktörer på marknaden



Verifiering av kolinlagring på fältnivå

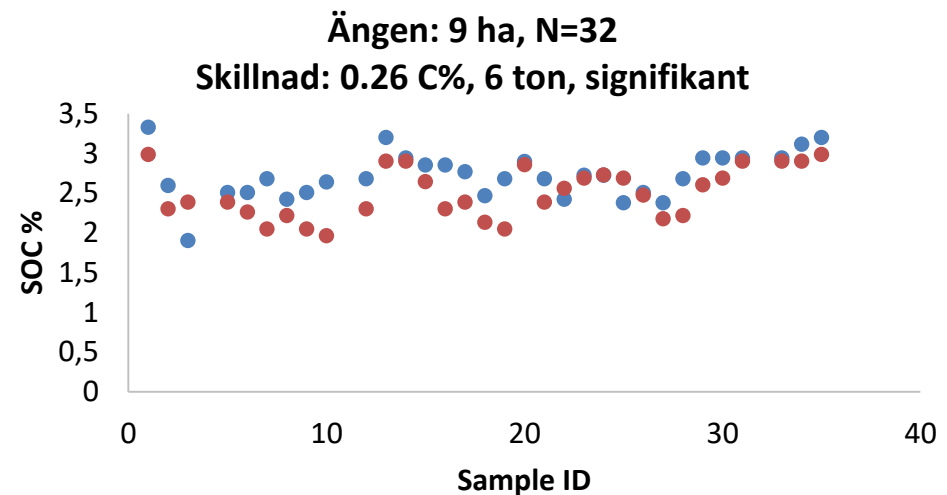
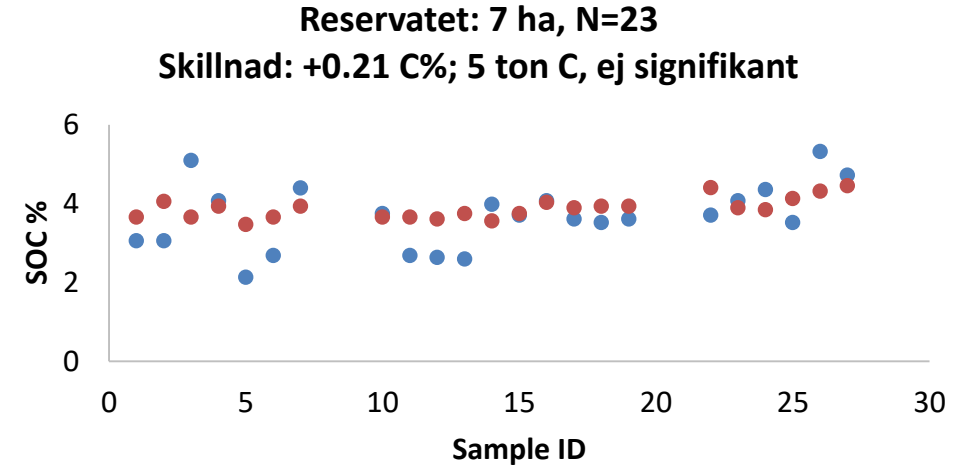
2 fält på Uppsalaslätten (Kungsängen), provtagning i 50 m rutnät med 30 års mellanrum (ca 4 provpunkter per hektar)



Med 1 prov/ha kan man inte verifiera förändringar mindre än 0,3 procentenheter

0,3% C motsvarar ungefär 10 ton C/ha i matjorden. Det tillkommer osäkerheten betr. förändringar i volymvikter och kol i alven.

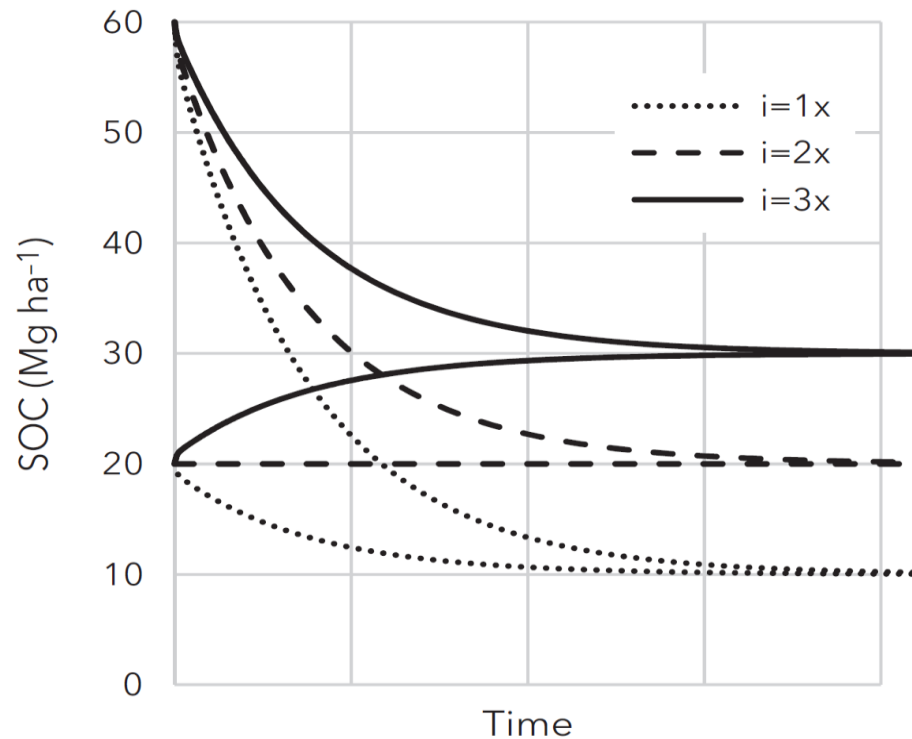
Om man skattar markkol från drönare eller satelliter ökar osäkerheten ytterligare



Historik och permanens

Fältets historik avgör om kolhalten går upp eller ner

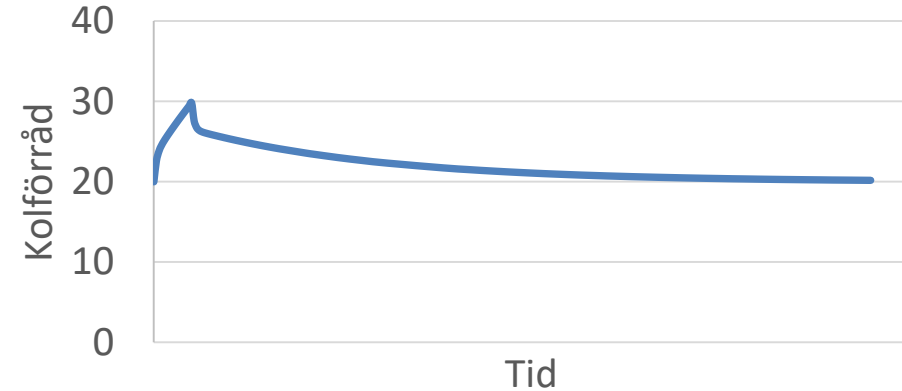
$i = \text{kolinput till marken}$



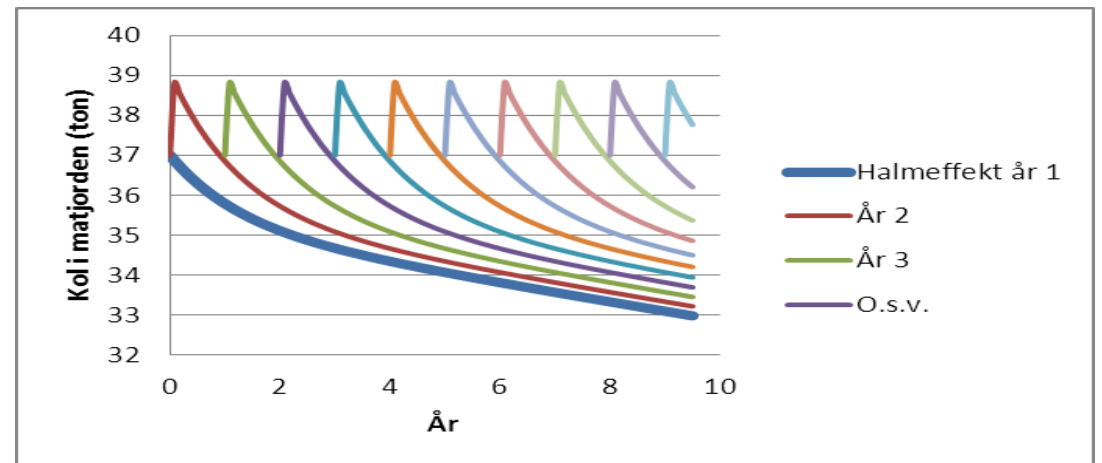
Ska man bara få betalt för fältet som har sämre utgångsläge (låg initial kolförråd)?

Kätterer and Bolinder, 2022, Burleigh Dodds Science Publishing

När man slutar med en viss åtgärd, så minskar kolförrådet till utgångsläget.



Kolförrådet måste fyllas på varje år för att upprätthålla en viss kolhalt i marken



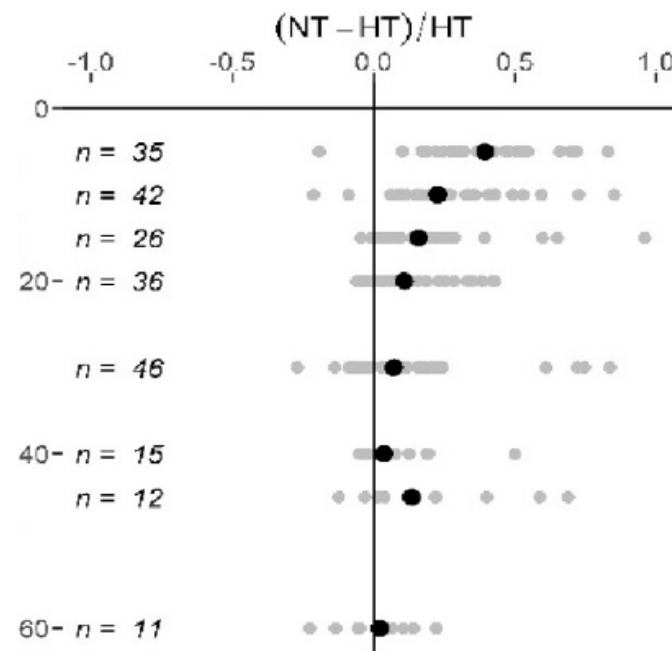
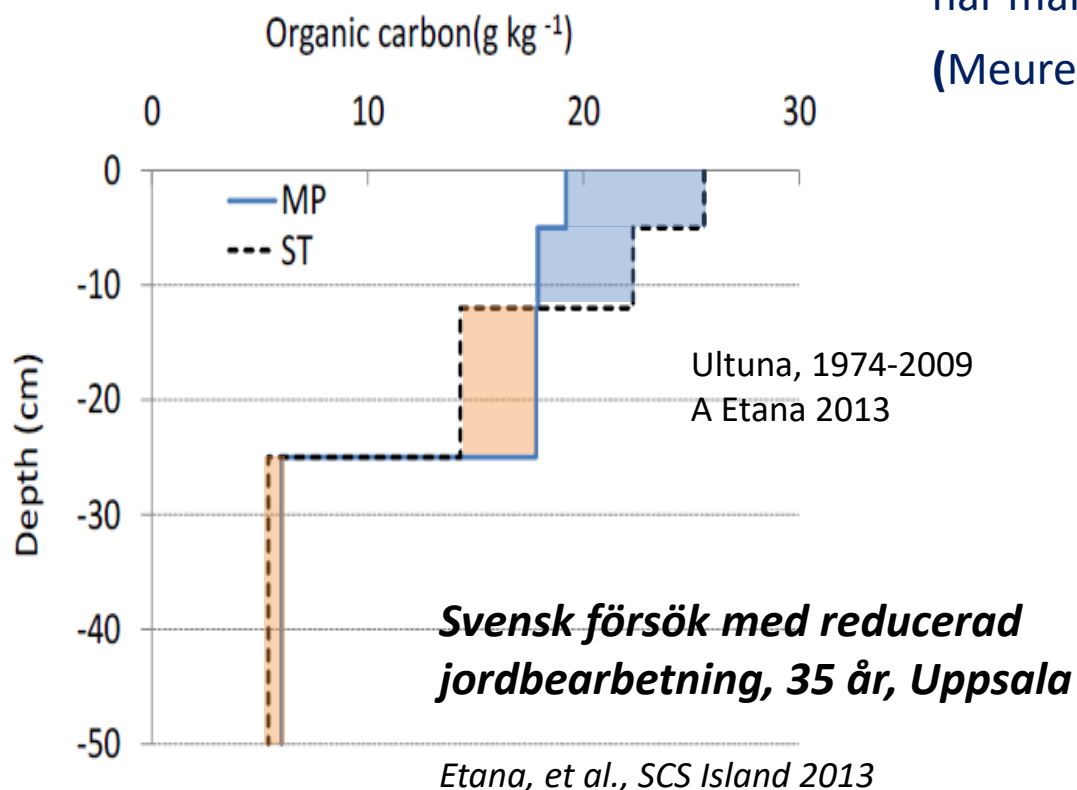
Hur påverkas kolförrådet av reducerad jordbearbetning?



351 studier >10 years (Haddaway et al. 2017 Environ. Evid. 6:30):
4.6 ton C/ha (0.78-8.43) högre kolförråd i matjorden (0-30 cm) under plöjningsfri jämfört med plöjning

101 studier av dessa som rapporterade även volymvikter på olika djup visar att den kummulativa effekten av reducerad jordbearbetning förvinner nästan när man tar hänsyn till minskningen i de djupare jordlagren

(Meurer et al. 2018 Earth-Science Reviews 177:613-622)f

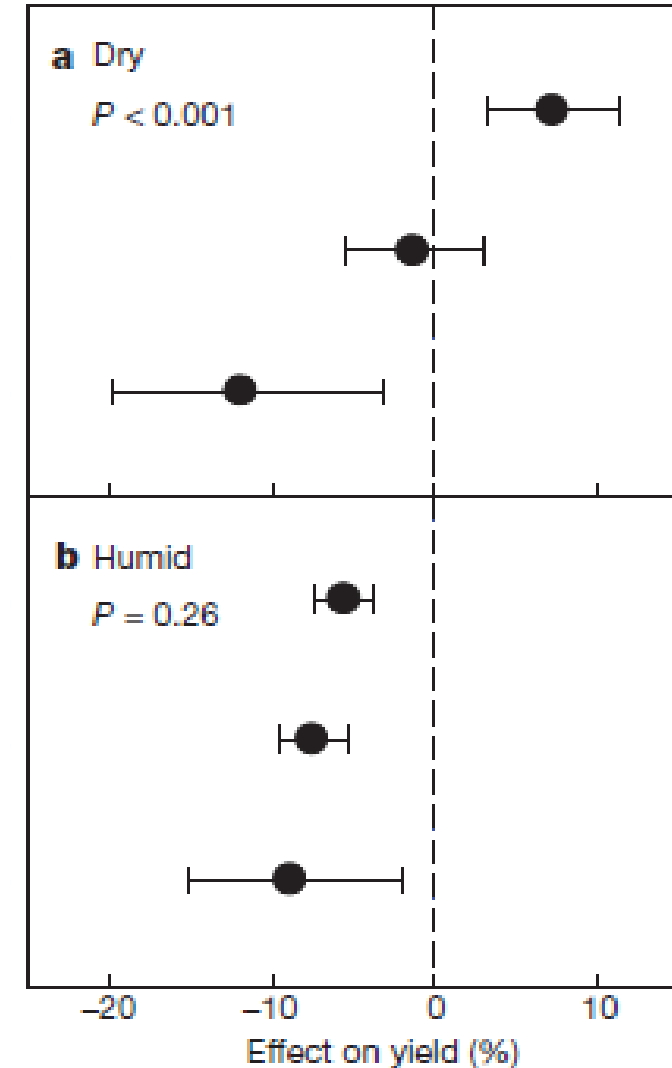


Kumulativa
effekter

Conservation agriculture sänker skördarna i genomsnitt

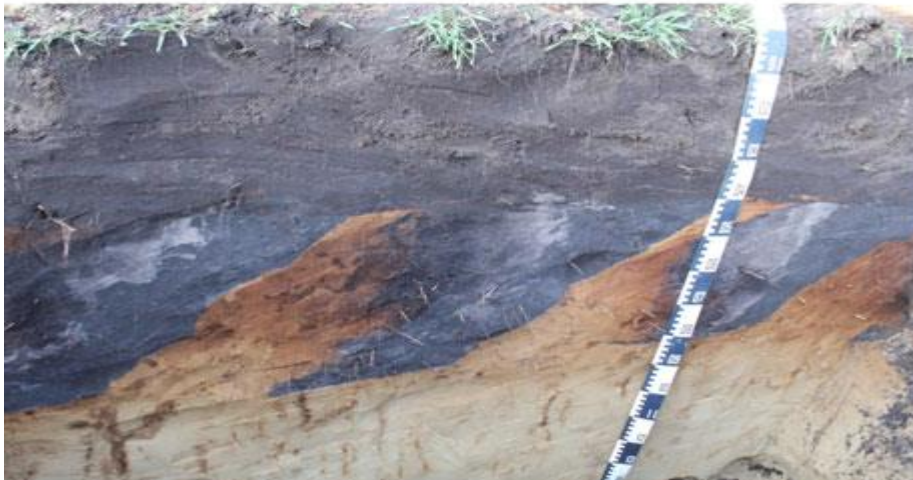
5463 parvisa jämförelser (*Pittelkow et al 2015 Nature 517, 365–368*)

- Plöjningsfri + mellangrödor + skörderester (584)
- Plöjningsfri + mellangrödor eller skörderester (598)
- Enbart plöjningsfri (91)
- Plöjningsfri + mellangrödor + skörderester (979)
- Plöjningsfri + mellangrödor eller skörderester (621)
- Enbart plöjningsfri (167)



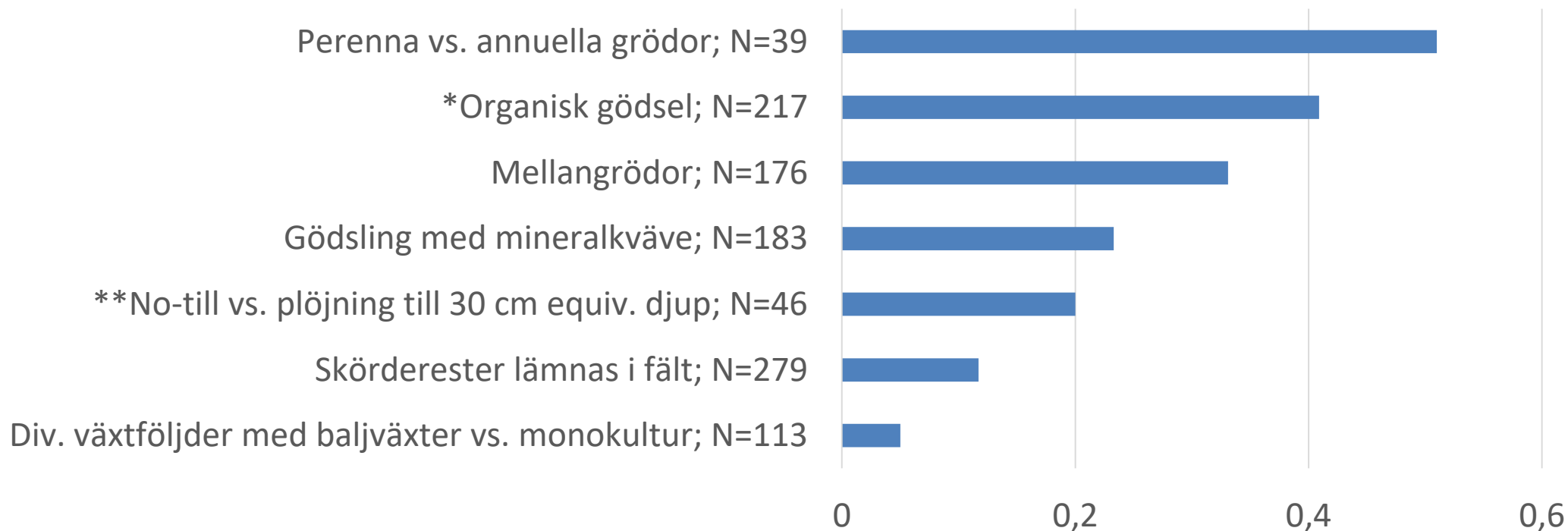
Jämfört med konventionell odling

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



Alcántara et al., GCB 2016

Kolinlagring – medeltal – global litteraturgenomgång



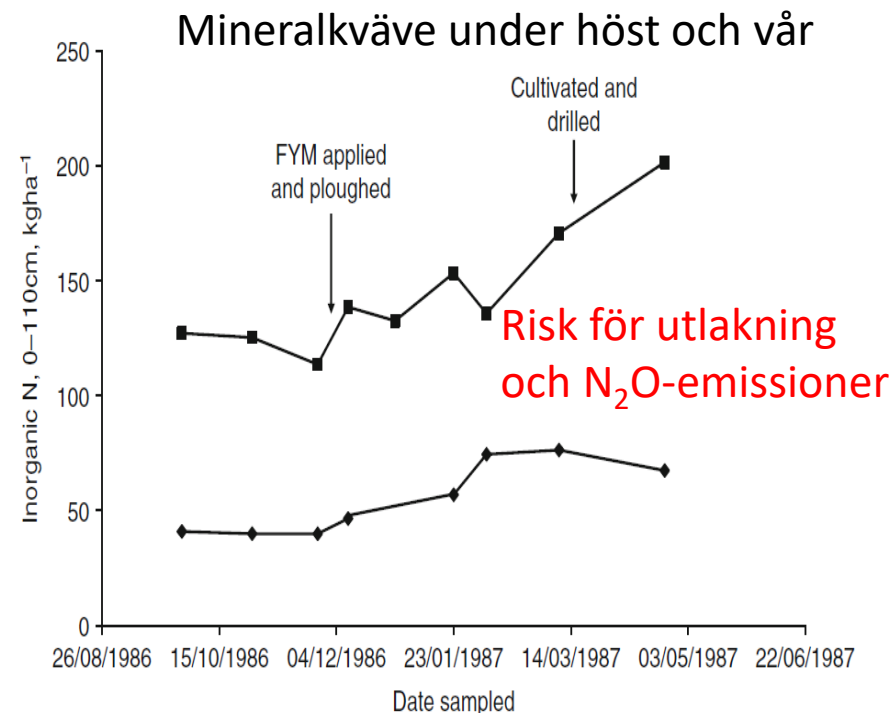
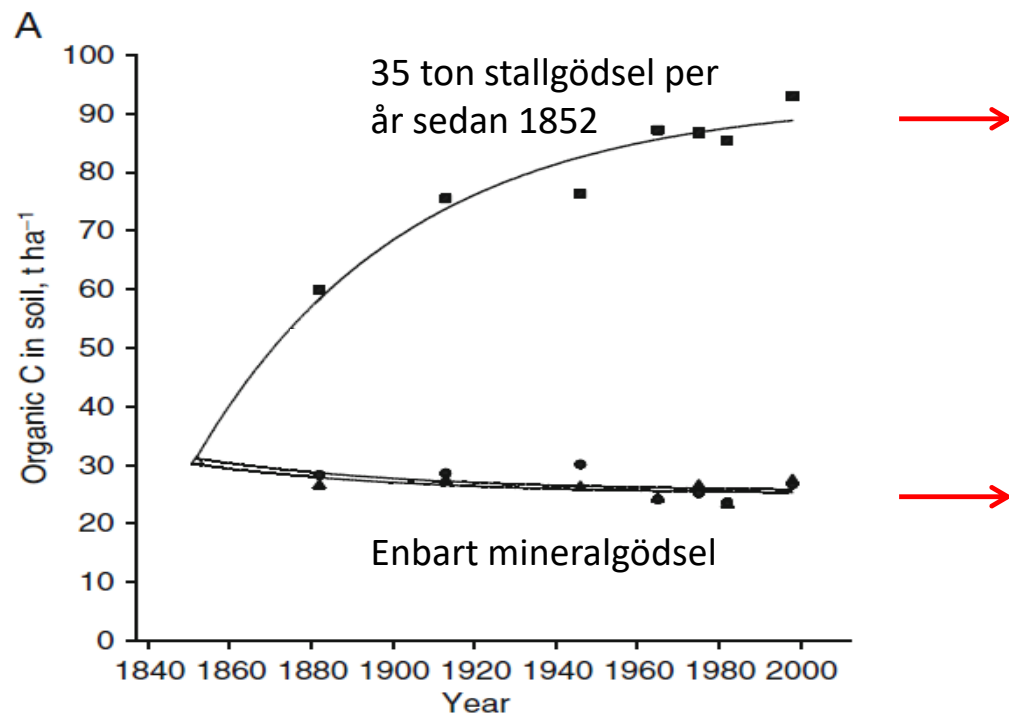
*gäller fältnivå, men kan inte skalas upp eftersom mängden är begränsad (t.ex. stallgödsel)

**Effekten är lägre (0,06 ton/ha) i studier med provtagning till 60 cm djup eftersom reducerad bearbetning verkar leda till lägre kolförråd i alven.

**Stor variation mellan enskilda studier –
forskning pågår för att förstå mekanismerna som påverkar stabiliseringen av kol i marken**

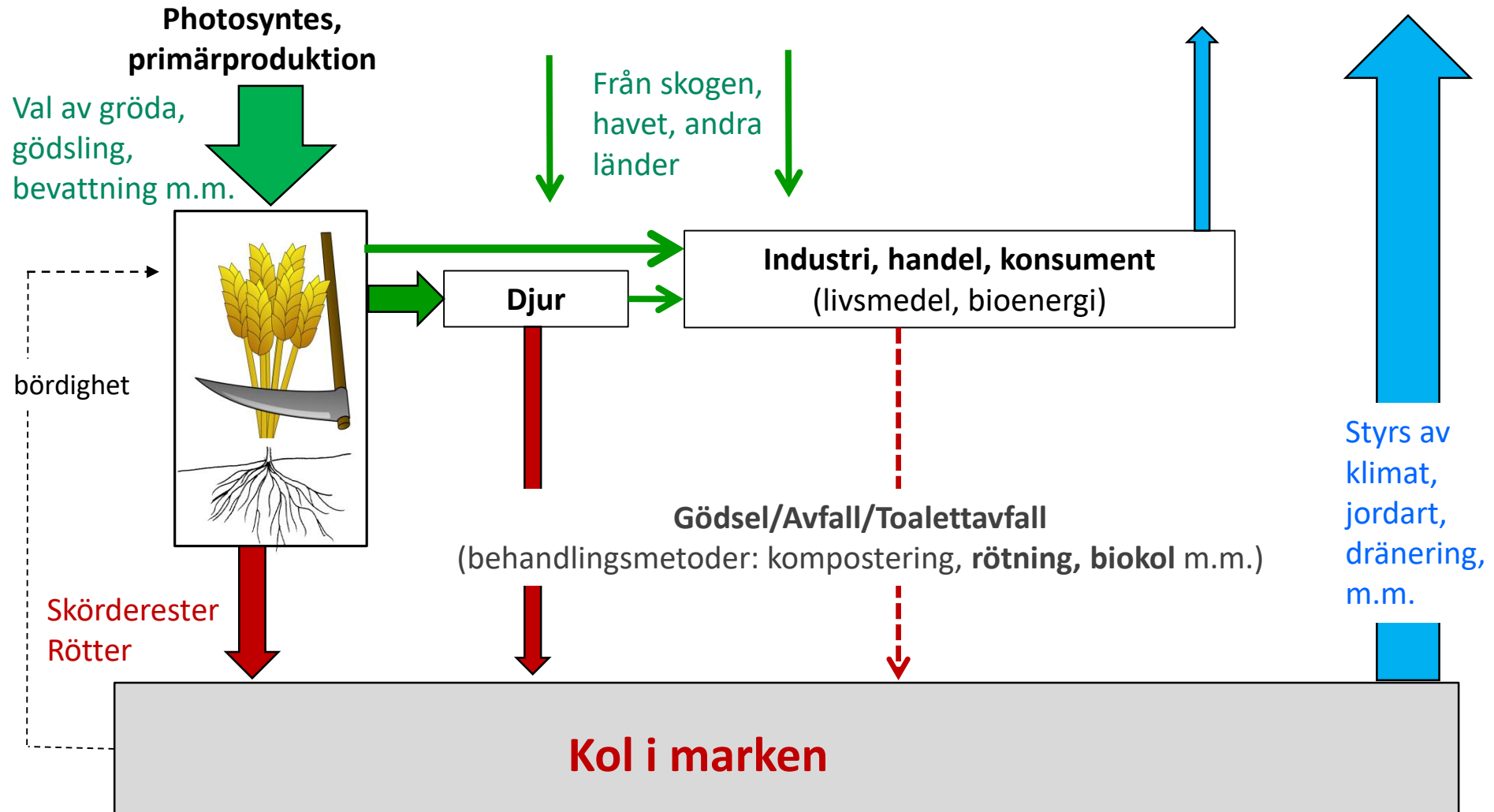
Kolinlagringen avtar med tiden och ökar risken för N förluster

Hoosfield Continuous Barley, Rothamsted



- Jämvikt nås efter mera än 150 år i vårt klimat
- Höga multhalter ökar risken för kväveläckage och lustgasemissioner
- Risken kan hanteras med t.ex. fånggrödor

Markens kolbalans kan påverkas, främst genom primärproduktion



Organogena jordar

Mulljordar

Myrjordar

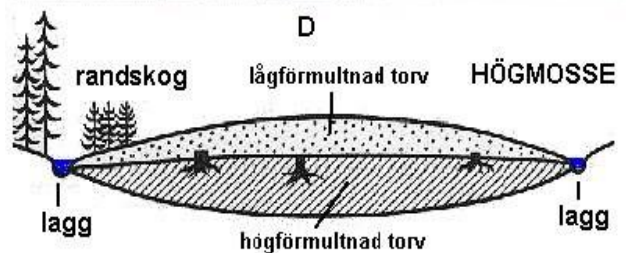
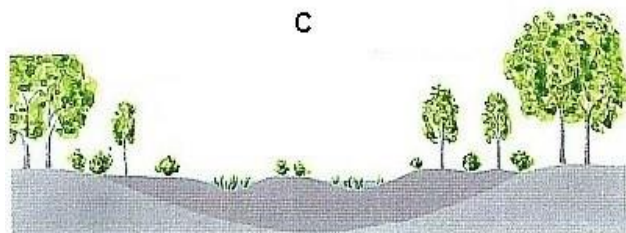
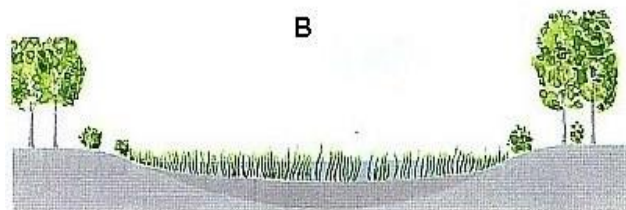
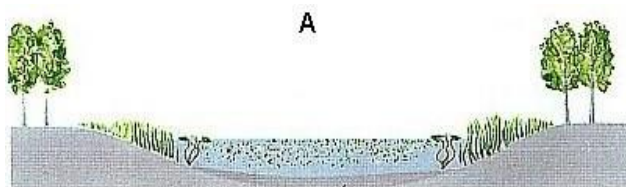
Torvjordar

Gyttja

Bleke

Mulljordar - stor källa för växthusgaser (3,4 Mton CO₂ och 1 Mton N₂O, stor osäkerhet)

Ca. 4-7% av jordbruksmarken



Kärrtorv – näringrik
Mosstorv – näringsfattig

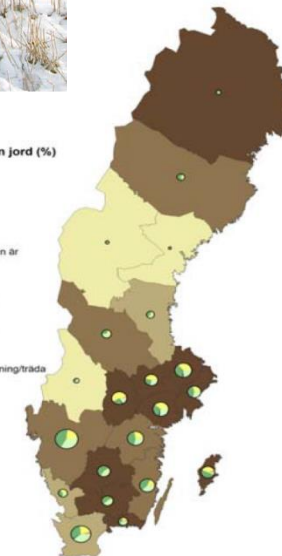


Subsidens,
bortodling,
Bälinge: >2 m
under 100 år

Möjliga åtgärder:

- Högre grundvattenstånd/Paludikultur
- Våtmarker/dammar på lågproduktiva marker
- Hög produktion på bördiga marker

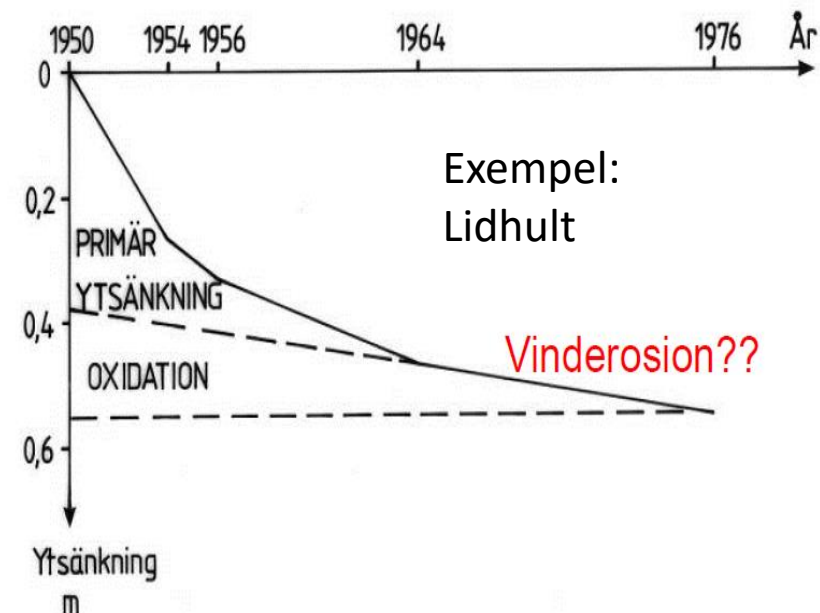
Paludikultur: (Latin “palus” för “kärr”)
Odling av vitmossa/vass/rörflen etc.



Subsidens i dränerade organogena jordar i långliggande försök

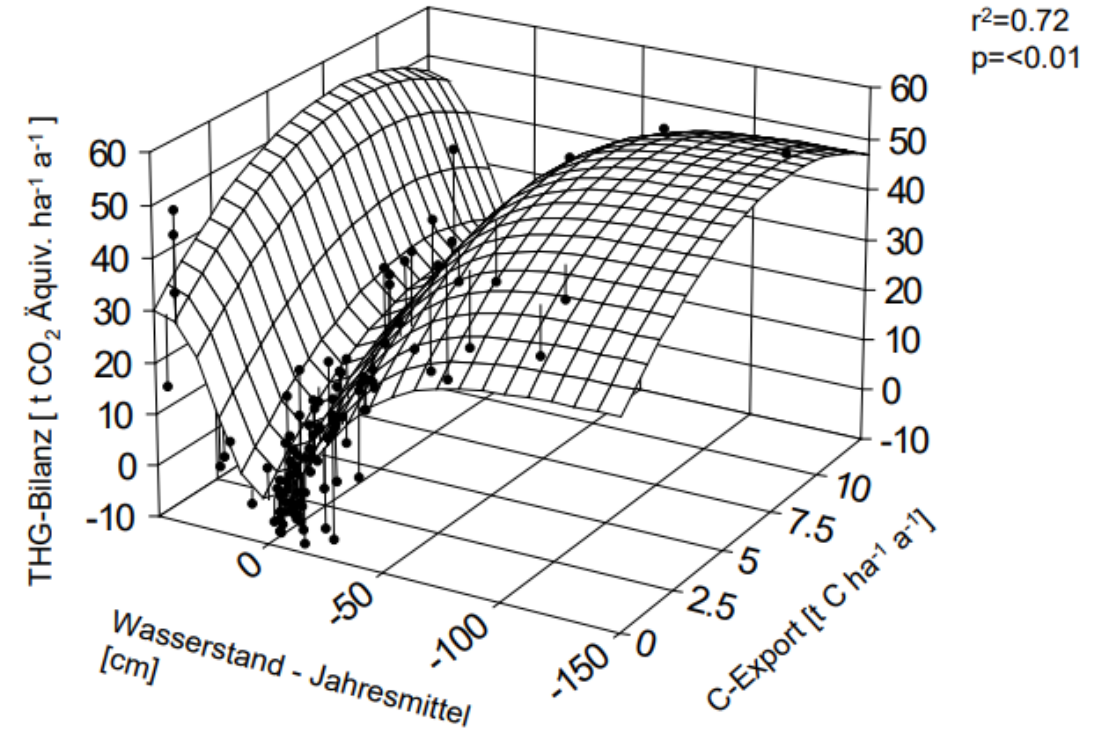
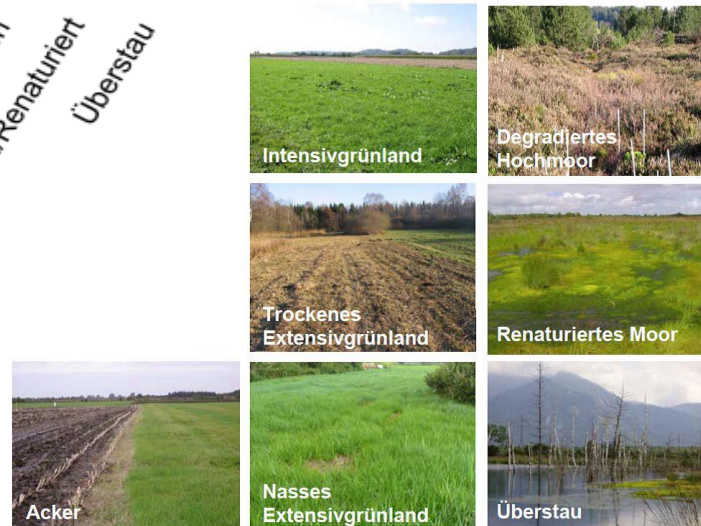
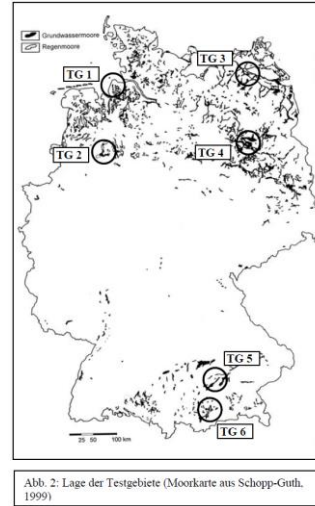
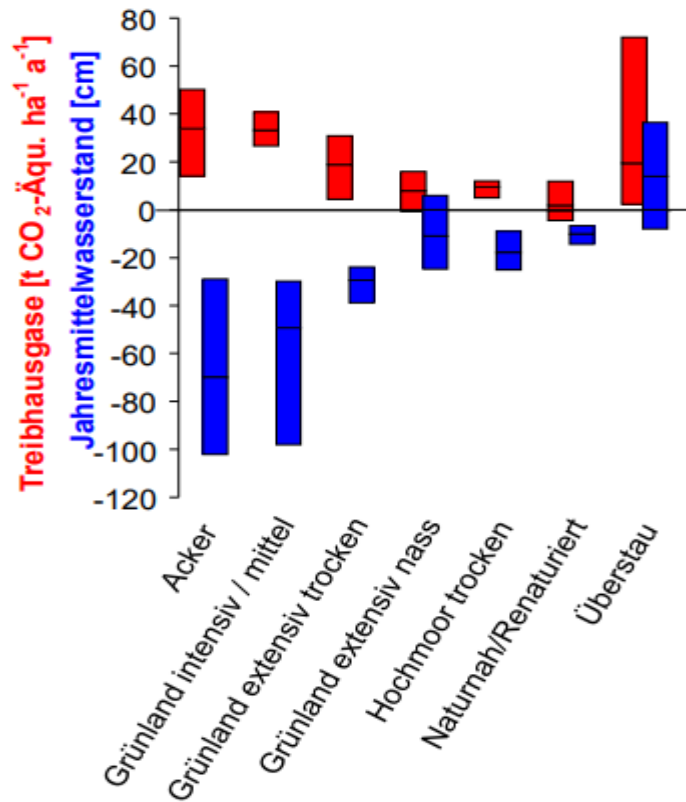
Plats	cm/år
Örke	0,7
Kälkestad (omdränerat)	0,7
Lidhult (mosstorv)	0,8
Martebo (nydränerat)	2,7
Majnegården	1,0
Ytterby	1,3
Kukkola (vall/stråsäd)	0,5
Kukkola (vall)	0,2
Majnegården (stråsäd)	0,8
Majnegården (betesvall)	0,2

Källa: Kerstin Berglund



- Stor variation i subsidens
- Osäkert hur stor andel av subsidensen som utgörs av fysikaliskt kompaktering respektive oxidation av organiskt material

Utsläpp av växthusgaser (CO_2 , CH_4 och N_2O) från mulljordar i Tyskland



Drösler et al. 2013. Klimaschutz durch Moorschutz

Lägre utsläpp från dränerade grunda mulljordar (Harbo, Uppland)

Spannmål

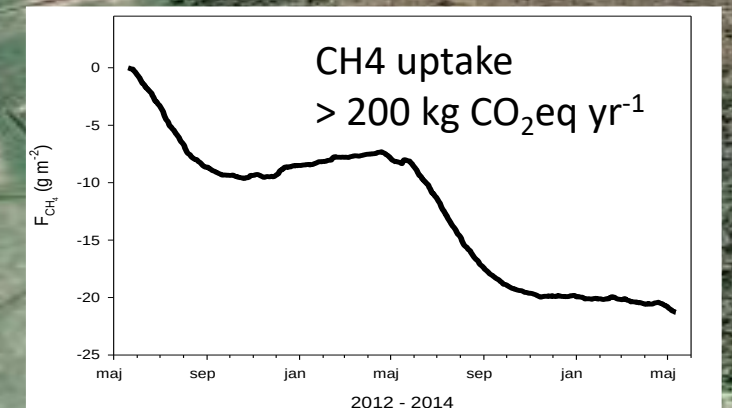
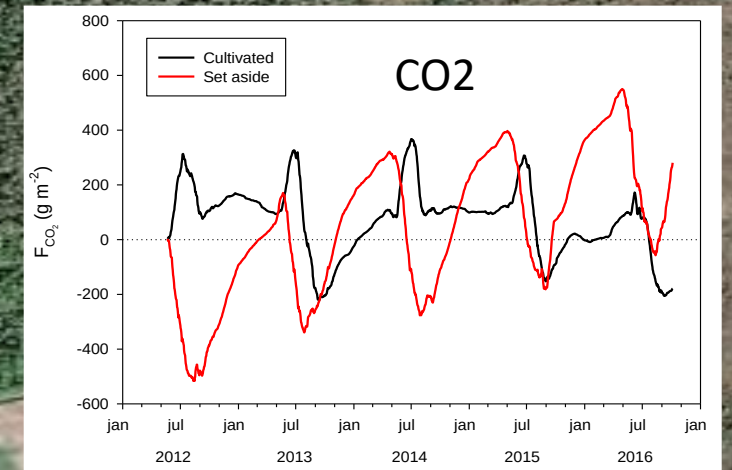
Grönträda

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



Växthusgaser från organogen mark totalt

Alla organogena marker står för drygt 20% av Sveriges klimatpåverkan enligt gängse regler

11,2 Mt CO₂-ekvivalenter per år enligt ny SMED rapport*, 10,8 Mt enligt den officiella klimat-rapporteringen 2022.

Både arealer och emissionsfaktorer är mycket osäkra

**Anna Lindahl, Mattias Lundblad & Ozias Hounkpatin, SLU SMED-rapport nr 6, 2022*

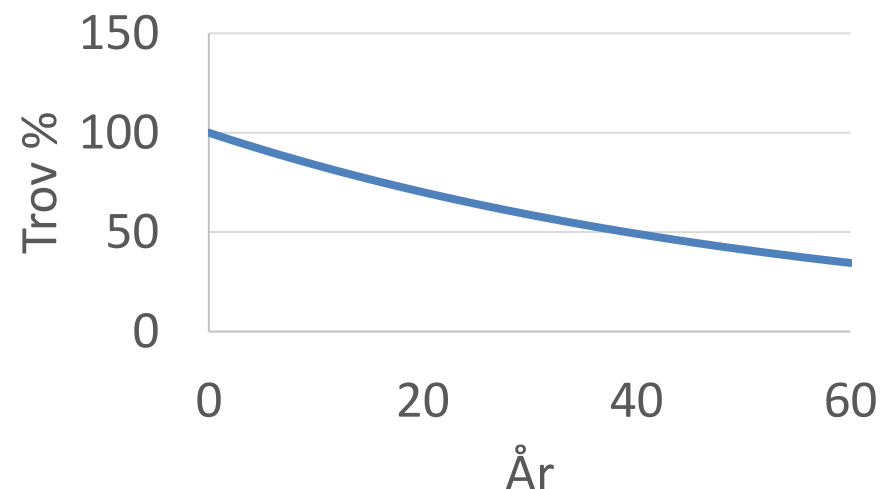
Torvbrytning

- Torv bryts på redan dränerade lokaler
- Användning: hortikultur, energi, strö
- Ca 10 000 ha i Sverige (enligt NIR 2022)
- Växttorv är dominerade idag: främst till hushåll, grönsaks- och bärproduktion, skogsplantor
- Emissioner 0,175 Mton CO₂-eq
- Emissioner beräknas enligt data från fältförsök på Ultuna, ca 1/3 kvar efter 60 år
- Det finns många perspektiv – inte självklart hur man ska värdera klimatpåverkan
- Tillväxten av torv på Svenska våtmarker sker med ca 20-40 miljoner m³ per år. Cirka 2 miljoner m³ skördas årligen som växttorv.



Sebastian Davidsson bryter torv (YouTube)

Nedbrytning av torv



Efterbehandlingskrav i Sverige



Foto: Mats Henriksson, Neova

Nygårdsmyren efter avslutad torvtäktverksamhet och efterbehandling.



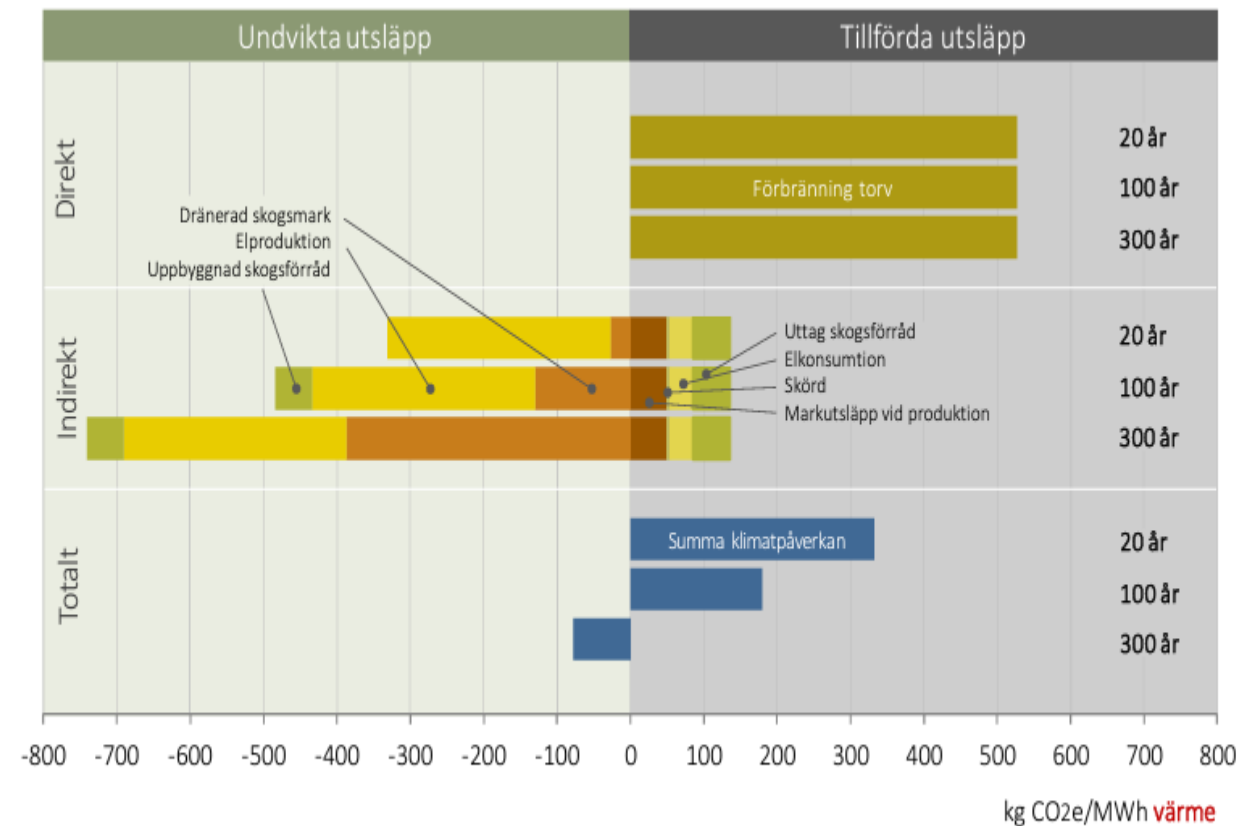
Västermuren i Gävleborgs län är en välplanerad ny våtmark med en mängd konstruerade häckningsholmar med vattenpassager runt om för att ge ett gott skydd åt häckande fåglar. Bild från 2022.

Foto: Mats Henriksson, Neova AB

LCA energitorv



Figur S1. Energitorvens klimatpåverkan ur ett systemperspektiv. Figuren visar principiellt de direkta och indirekta utsläpp som ingår i klimatberäkningarna. Figuren visar även skillnaden mellan konsekvensperspektivet (systemperspektivet) och bokföringsperspektivet.



Figur 48 Klimatpåverkan från energitorv för tre tidsperspektiv (20-, 100- och 300-årsperspektivet). Produktion och användning av energitorv enligt scenario A3. Energitorven används för kraftvärmeproduktion. Värmeproduktionen bidrar därigenom även till elproduktion.

Sammanfattning

- Kolinlagring pågår i svenska mineraljordar
- Mulljordar släpper ut CO₂ och lustgas – platsanpassade åtgärder behövs
- Permanent grön mark för bättre bördighet och klimatet
- Uthållig intensifiering för minskad avskogning
- Växtförädling – större rotbiomassa, fleråriga grödor
- Risken för ökande lustgasutsläpp och utlakning måste hanteras
- Verifiering av kolinlagring <10 ton/ha är dyr och inte realistisk på fältnivå
- Kan användningen av torv i trädgårdsnäringen ersättas?
- Inte självklart hur klimatpåverkan av torvbrytning bör beräknas
- Forskning, teknikutveckling, rådgivning och utbildning behövs för att utveckla uthålliga och klimatsmarta system

Tack för uppmärksamheten!

Tack till mina kollegor som har bidragit

Tack till våra finansiärer, främst EU, Formas och SLF



FORMAS

ETT FORSKNINGSRÅD FÖR HÅLLBAR UTVECKLING
A SWEDISH RESEARCH COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT



Stiftelsen
Lantbruksforskning

SCIENCE AND
EDUCATION
**FOR
SUSTAINABLE
LIFE**