

Mull/kol-balanser och hur de påverkas av odlingsåtgärder

Thomas Kätterer

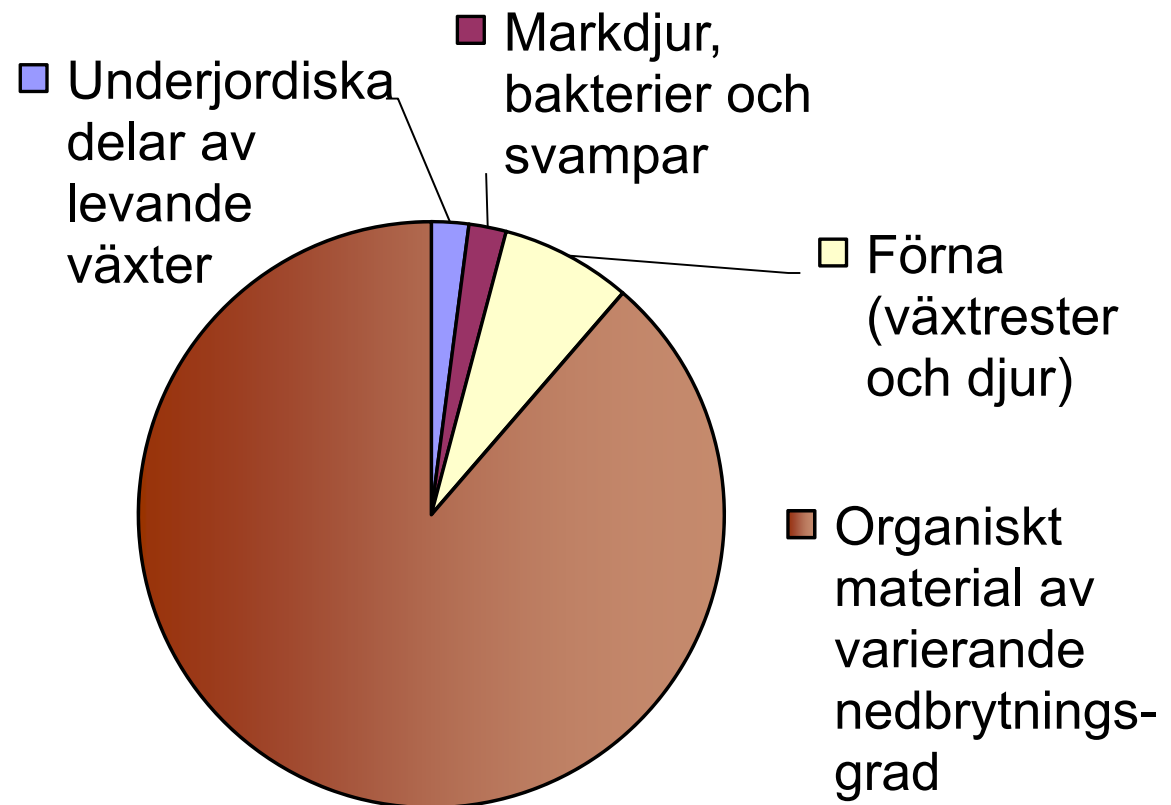
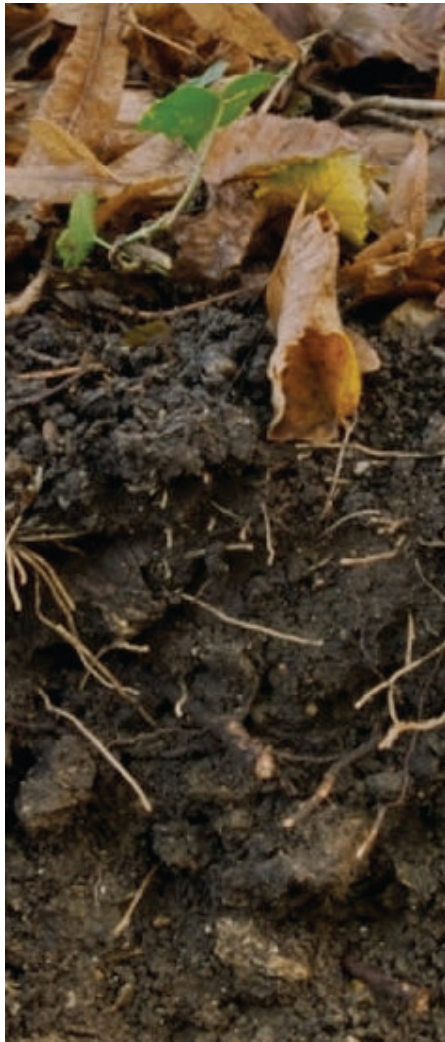
Sveriges Lantbruksuniversitet



Disposition

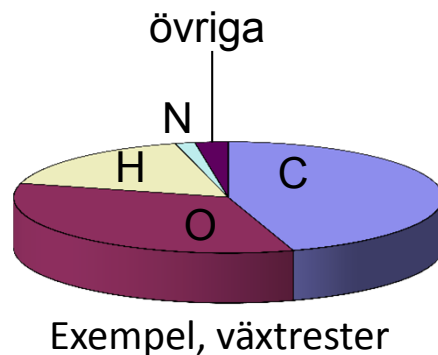
- Allmänt och mullbildning, nedbrytning och mullbalanser
- Hur påverkas mullbalansen av växtrester, rötter, olika grödor, stallgödsel, fånggrödor. m.m.
- Vilka skillnader finns mellan olika landsdelar?
- Nina Nilsson: Biokol
- William Hellsten: Markpackning
- Marcus Willert: Jordbearbetning
- Therése Tarler: Mullhalt och skördepotential

Markens organiska beståndsdelar



Stora partiklar (>2mm) ingår inte i markanalyser

C, N, P och S är huvudbyggstarna i all organisk material

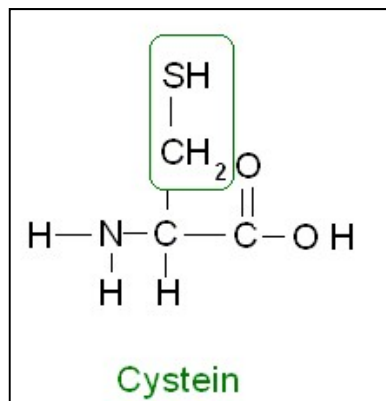


C% ökar i regel under nedbrytning i marken, från ca. 40% i växtrester till ca. 60% i väl humifierat material.

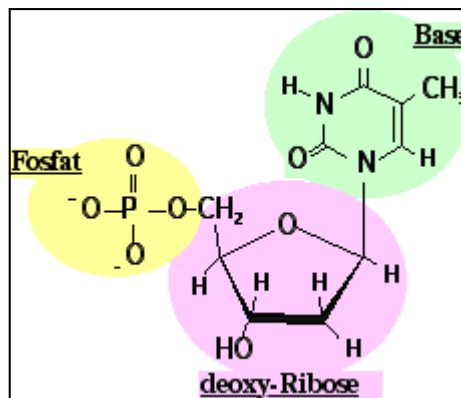
Organiskt material i marken har en genomsnittlig kolhalt på drygt 50% (58% anges ofta i läroböcker) och innehåller näringsämnen (främst N, P, S)

Några exempel på vanliga organiska substanser:

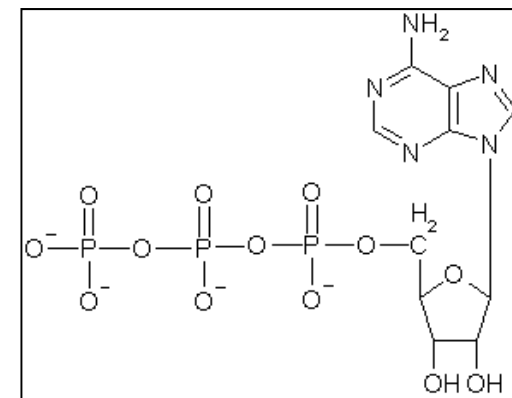
Aminosyra



Nukleotid



ATP (Adenosintrifosfat)





Kolhalten i marken styrs av fotosyntes och nedbrytning



Fotosyntesen styrs av växtsamhället, klimat och näringstillgång

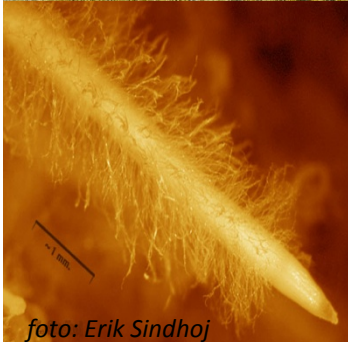
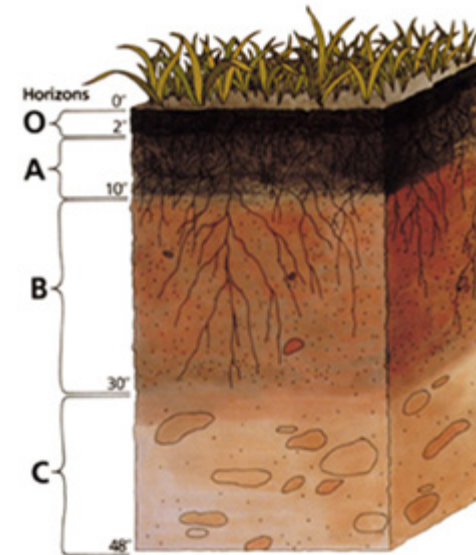
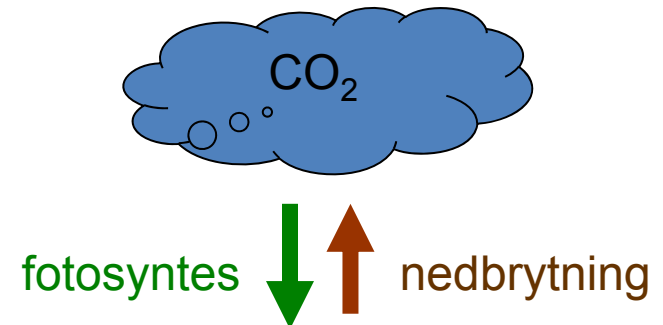


foto: Erik Sindhoj

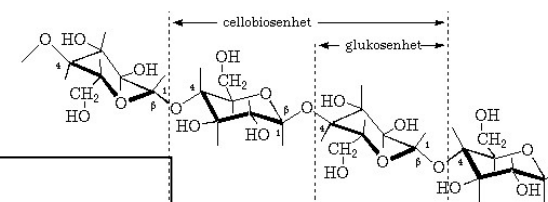


Nedbrytningen styrs av

- kvantitet och kvalitet av det organiska materialet (markanvändning/odlingsmetoder)
- Marktemperatur, vattenhalt



Mikrobiell nedbrytning



Komplexa polymerer
(cellulosa, protein, lignin mm.)

Extracellulära enzymer
från mikroorganismer

Monomerer (glukos, fenoler,
aminosyror mm.)

aerob

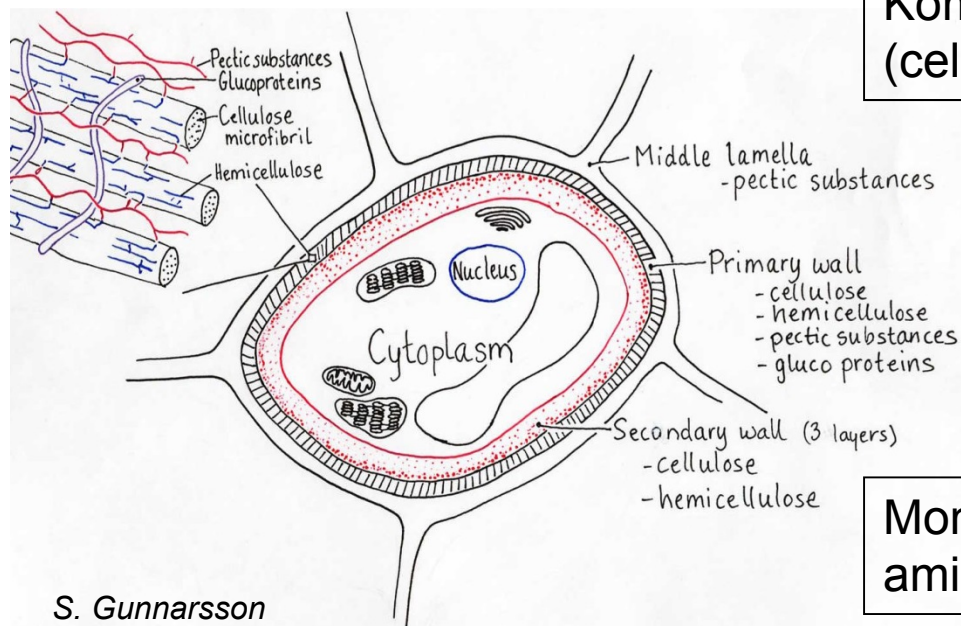
anaerob

CO_2 ; H_2O ; NH_4/NO_3
 SO_4 , mm.

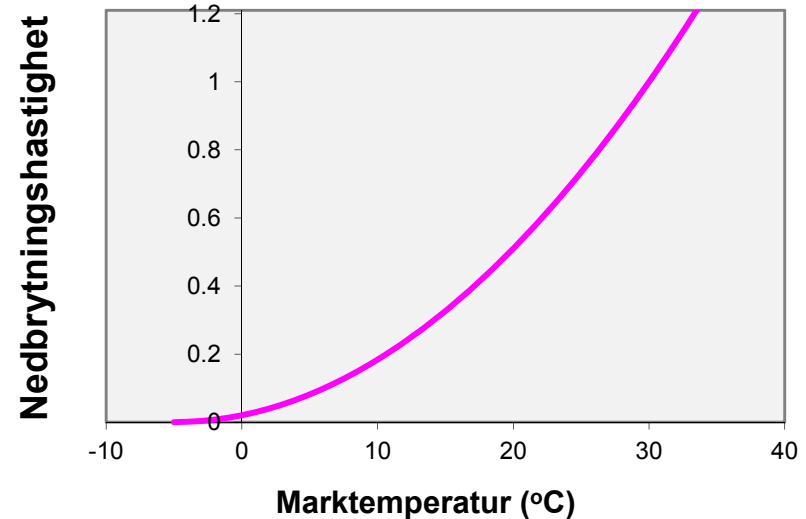
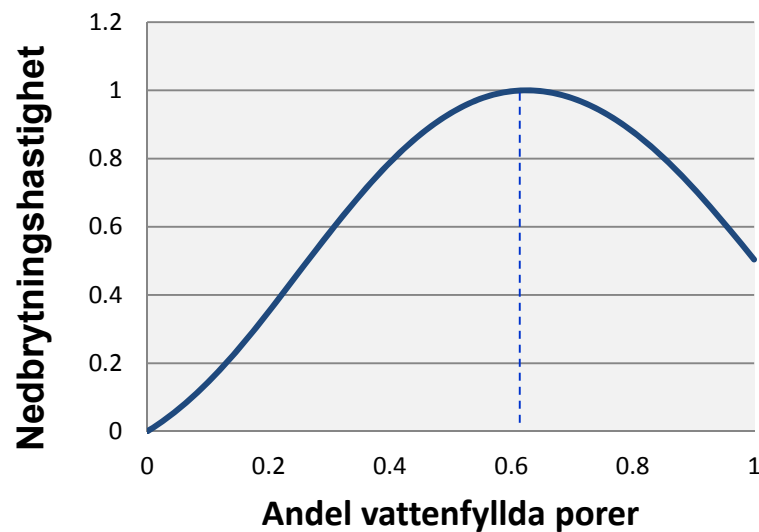
CO_2 ; CH_4 ; NH_4 ; H_2 ;
alkoholer mm.

Fullständig oxidation

Ofullständig oxidation,
energirika slutprodukter

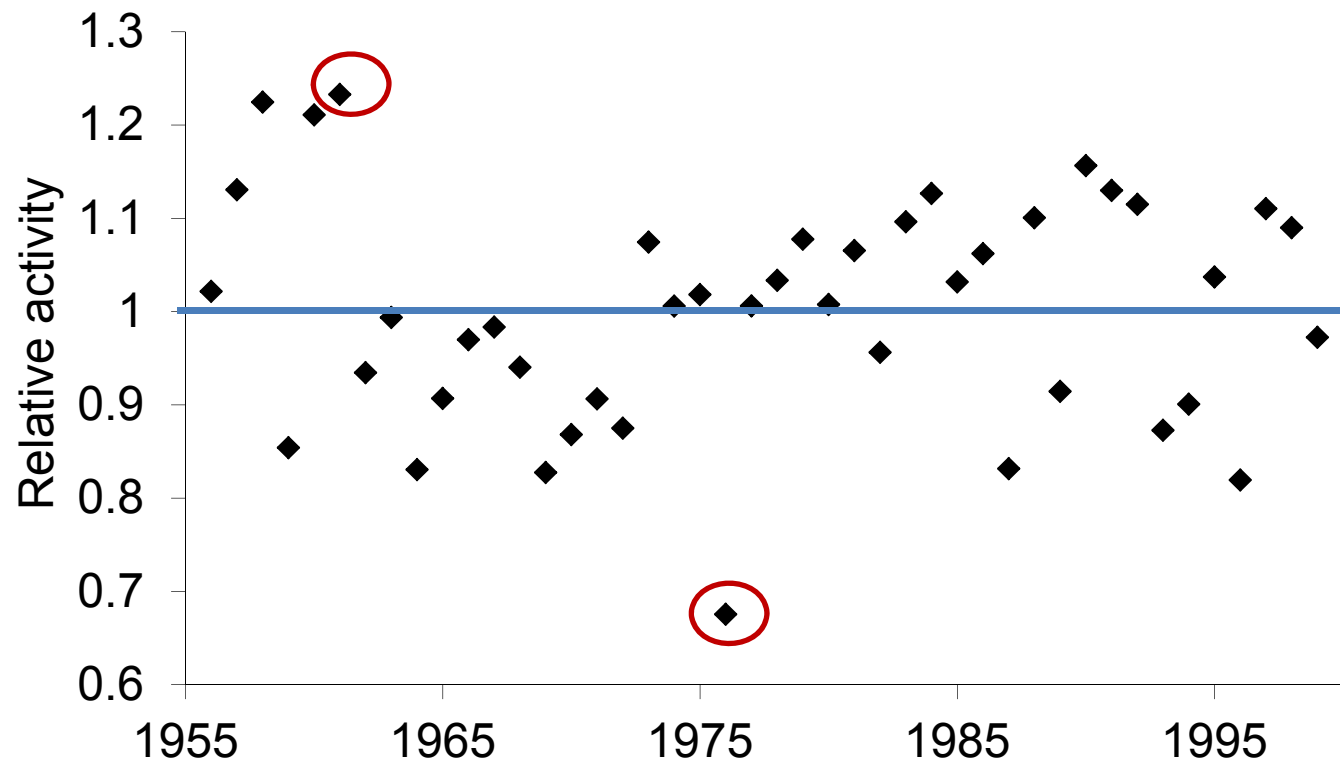


Nedbrytningens beroende av vattenhalt och temperatur i marken



- Den biologiska aktiviteten är högst vid ungefär 60% vattenfyllda porer. Vid höga vattenhalter blir det syrebrist.
- Nedbrytningshastigheten ökar exponentiellt med temperaturen upp till ca 40 °C. Vid högre temperaturer blir det för varmt för de flesta markorganismerna.

Nedbrytningshastigheten varierar med faktor 2 på samma plats (exempel från Ultuna)



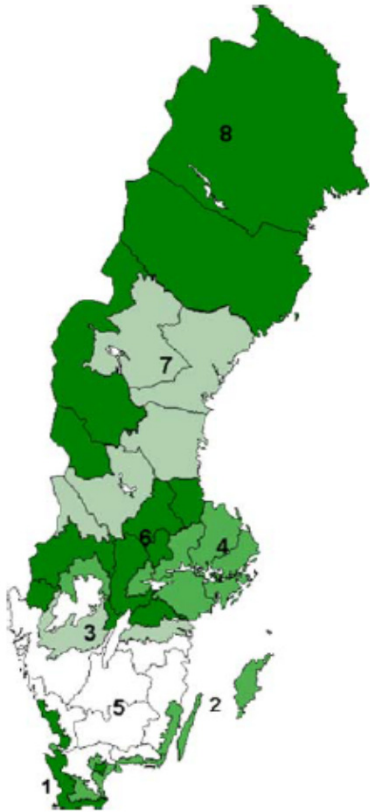
Mullbalanskomponenter i olika delar av landet

i_c = skörerester inkl. rötter (ton/ha)

i = i_c + organisk gödsel (ton/ha)

H = andelen av input som stabiliseras i marken

r_e = relativ nedbrytningshastighet



Region	i_c	i	H	r_e
1	3.00	3.29	0.149	1.30
2	2.58	3.07	0.164	1.05
3	2.81	3.08	0.147	1.04
4	2.52	2.68	0.142	1.04
5	2.44	3.01	0.170	0.99
6	2.37	2.63	0.151	0.88
7	2.17	2.59	0.164	0.69
8	2.17	2.57	0.163	0.67

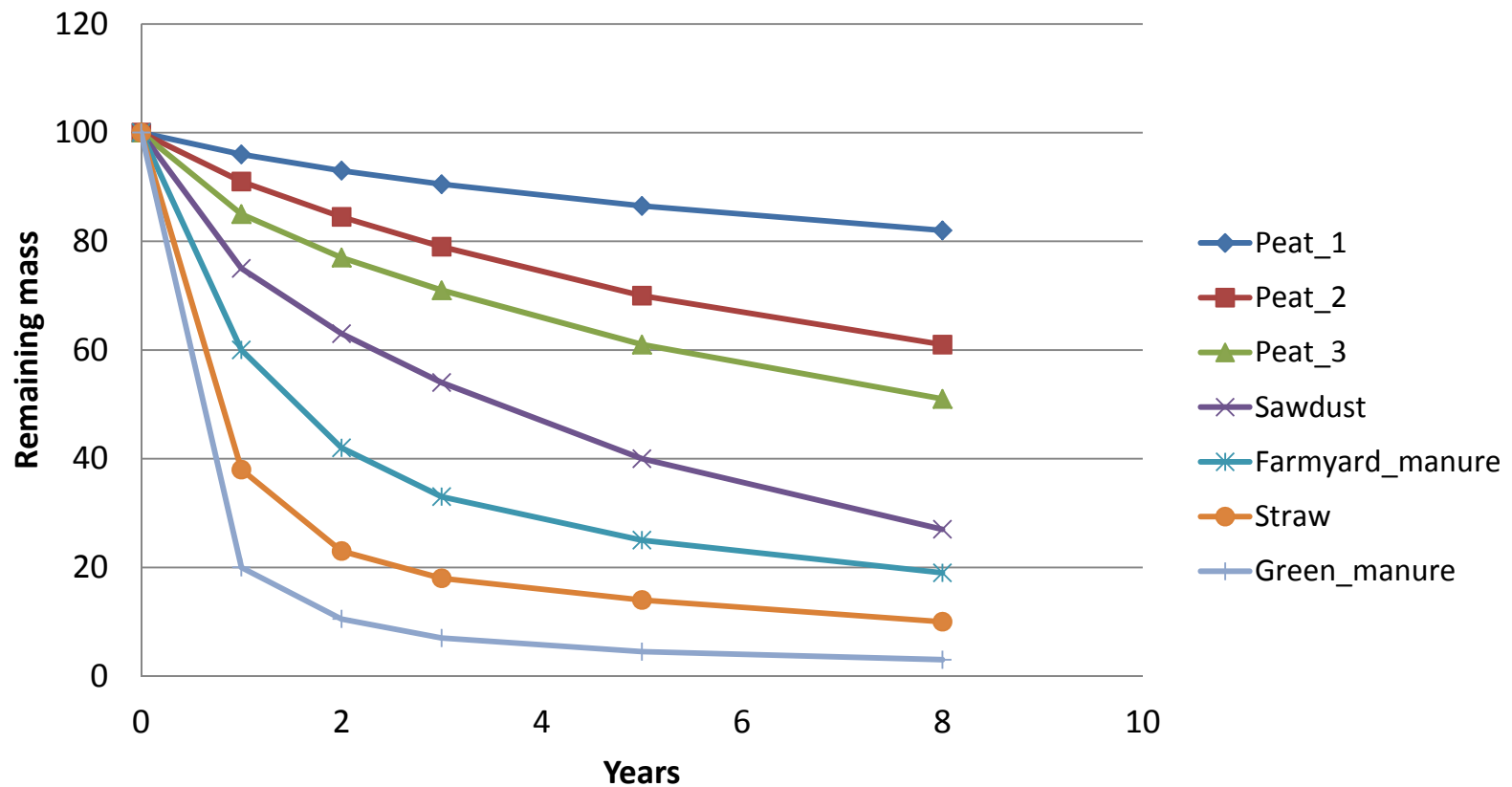
20% lägre C input i Norra Norrland än i Södra Götaland, men 50% lägre nedbrytningshastighet. Detta resulterar i högre kolförråd i norra jämfört med södra Sverige.

Hur studerar man nedbrytning av organisk material?

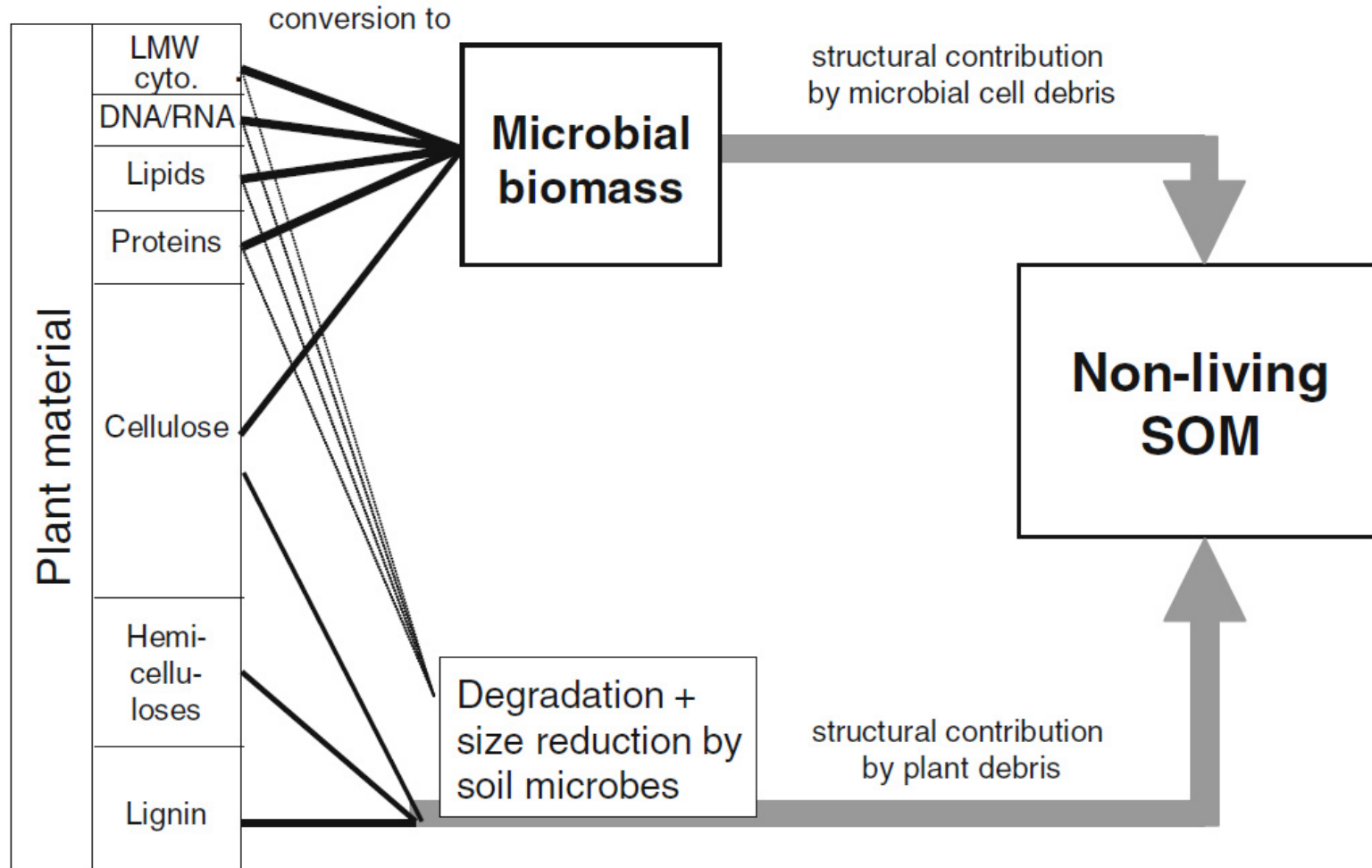


Nedbrytning och mullbildning

**Decomposition of different organic amendments in soil
(Kolenbrander, 1974)**



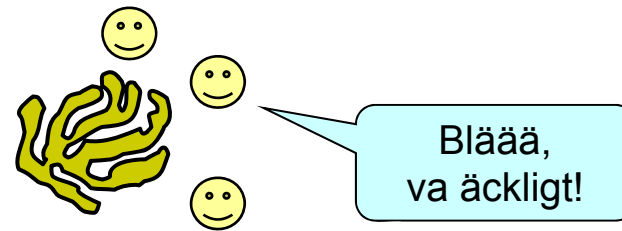
Mullbildning



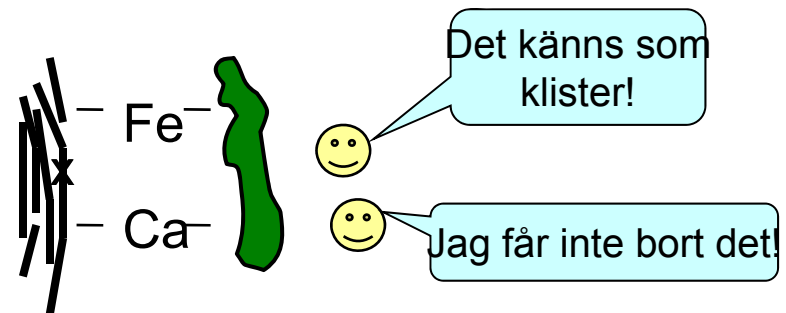
Miltner et al., 2011 Biogeochemistry

Stabilisering av organsikt material

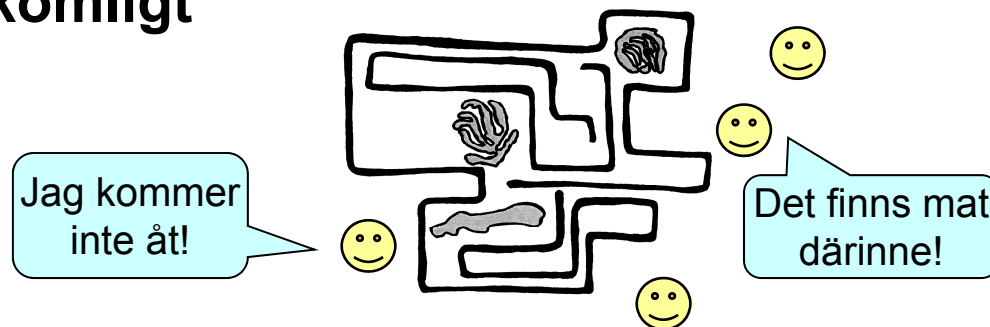
Biokemiskt recalcitrant



Kemiskt stabiliserat



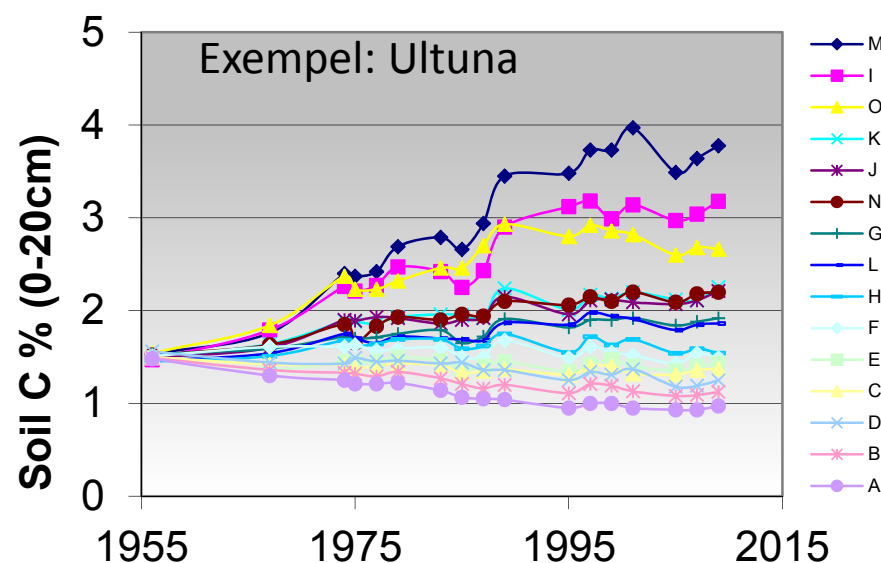
Fysiskt oåtkomligt



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
- Effekten av rötter kan studeras explicit i Ultuna-försöket

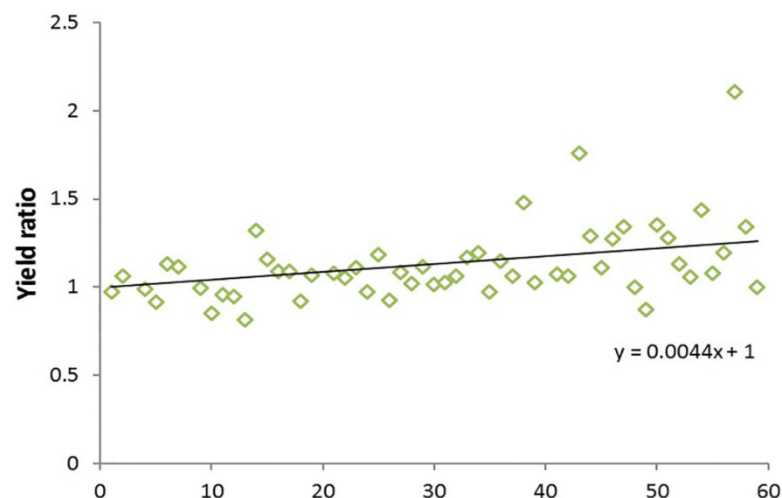
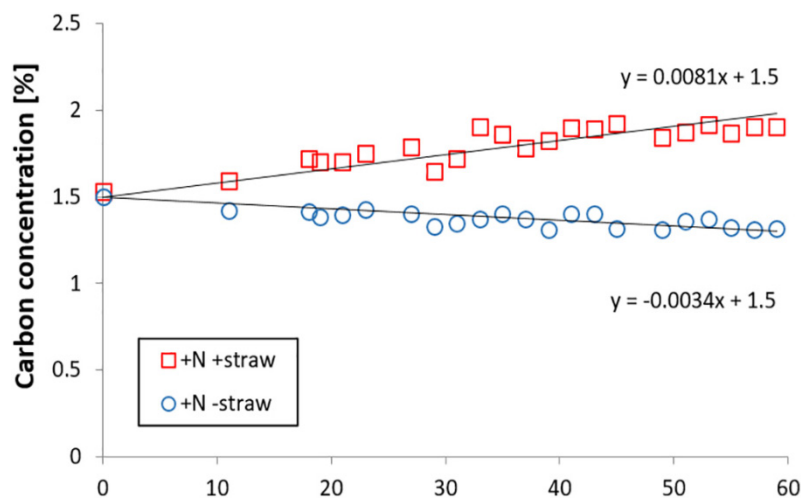


Bördig åkermark – en förutsättning för uthållig produktion

Mullhalten är en viktig bördighetsindikator

Skördepotentialen ökar med mullhalten

Effekt av skörderesthantering på C i marken och skörd, Ultuna ramförsök



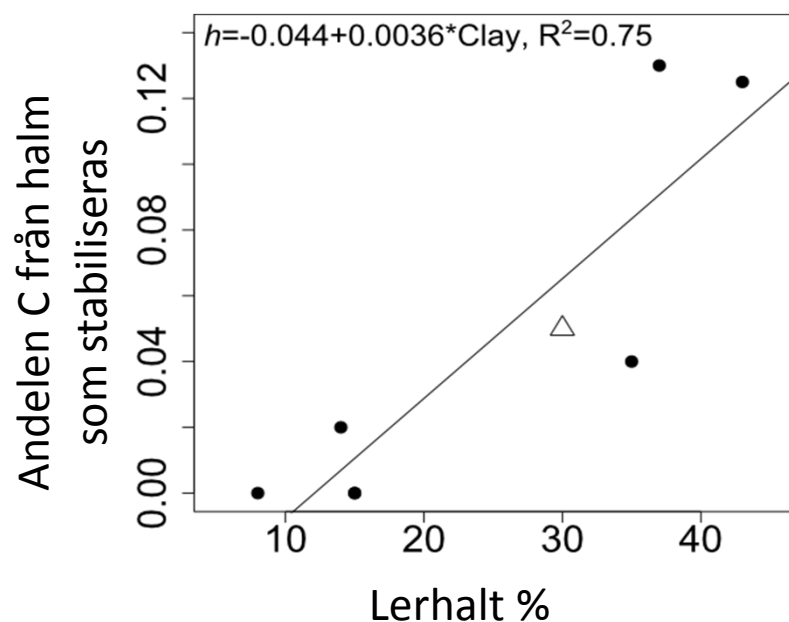
yield ratio = 1 + 0.38 ΔSOC%

Dvs. om mark-C% ökas med 0.1 procentenheter, så ökar skörden med 3.8%

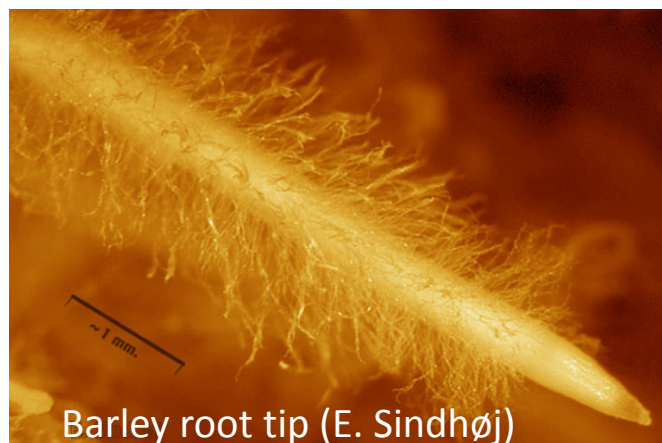
Henryson mfl. Agricultural Systems 164 (2018) 185–192



Rötter har en större effekt på kolinlagring jämfört med samma mängd ovanjordiska skörderester



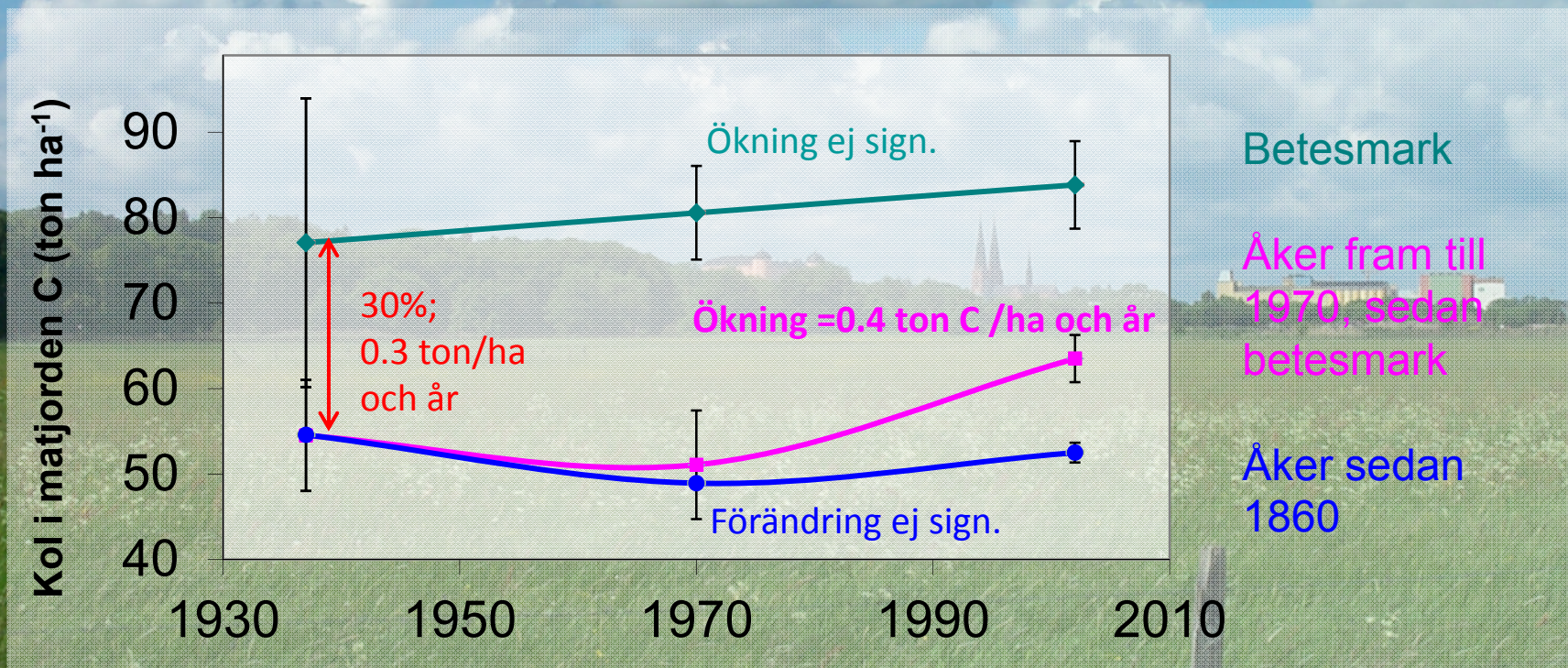
- 18 parvisa jämförelser halm bortförd vs. halm kvarlämnat
- 7 försök 27-58 år
- Fastläggningen ökar med lerhalten
- Andelen C från rötter som stabiliseras är mera än dubbel så hög som den från ovanjordiska skörderester



Kätterer et al., AGEE 2011, 2014
Menchetti et al., AGEE 2015
Poeplau et al. Geoderma 2015.
Ghafoor et al., BFS 2017

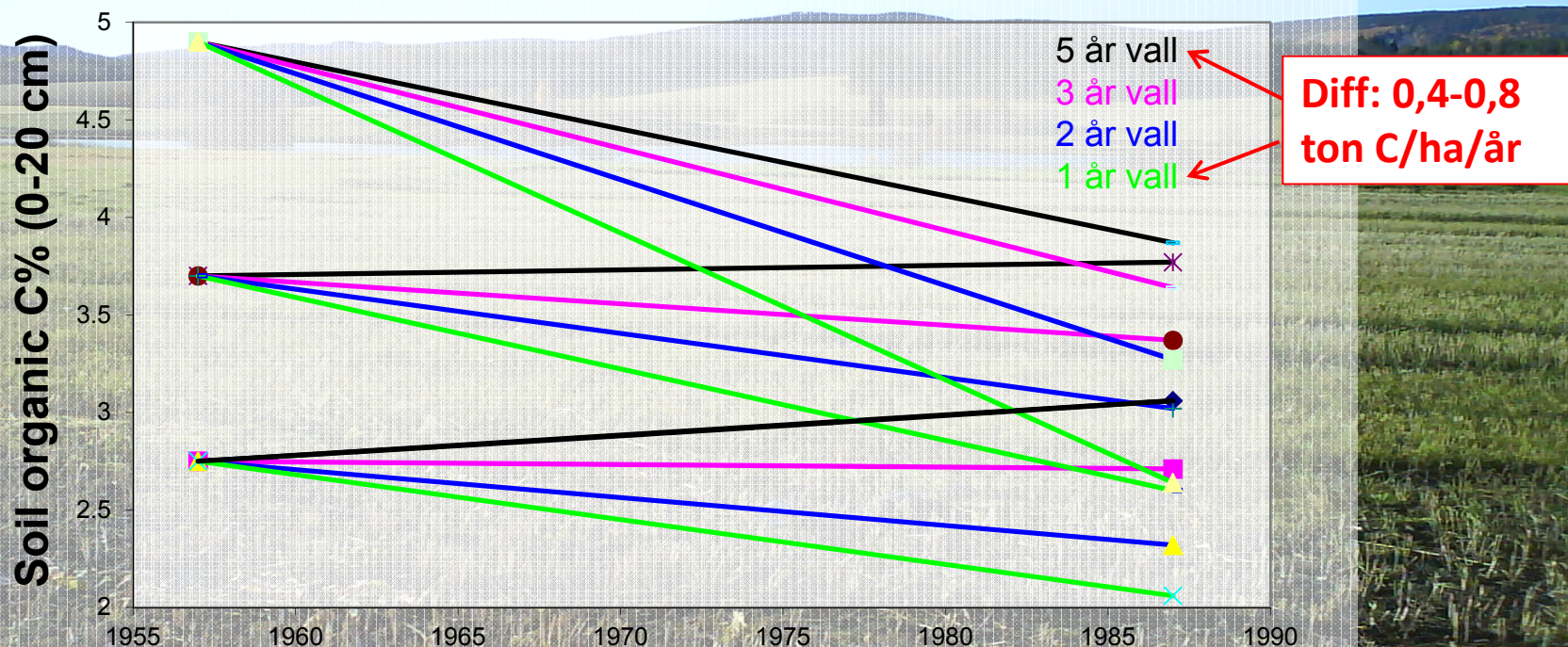
Åtkommande markinventeringar på gårdsnivå kan också användas för att kvantifiera förändringar i kolförrådet

Kungsängens gård, Uppsala

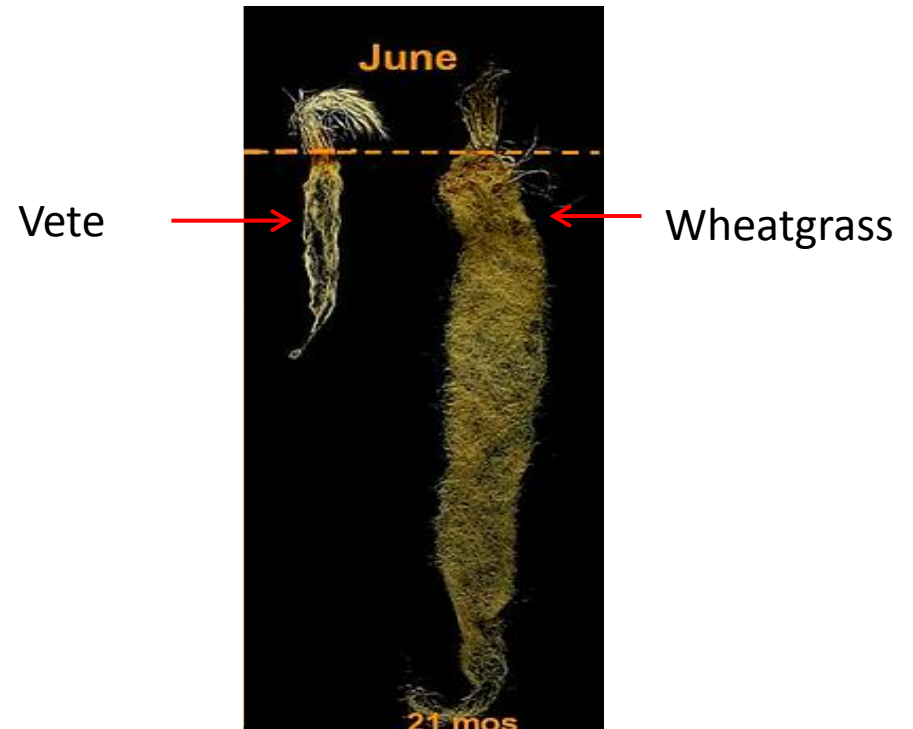


Fleråriga växter satsar mera på rotsystemet och leder därför till mera positiva kolbalanser än ettåriga växter

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



Framtid: Växtförädling – flerårigt vete, bra näringsinnehåll, resistent mot sjukdomar

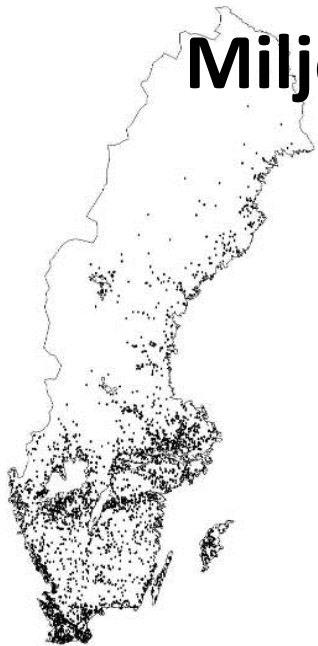


Jerry Glover (Land Institute, Kansas) visar rotsystemet av "intermediate wheatgrass"

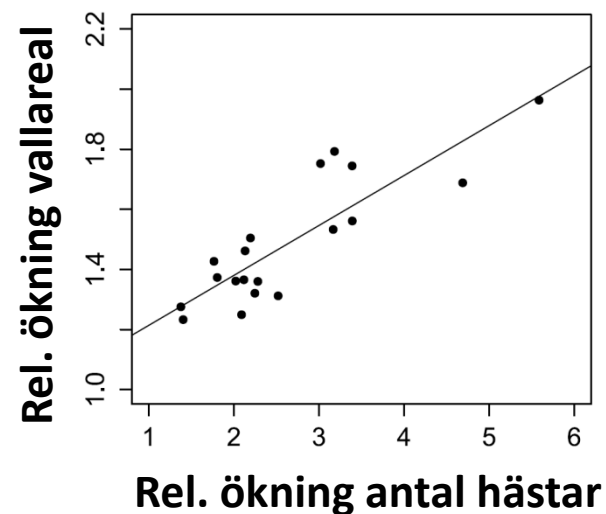
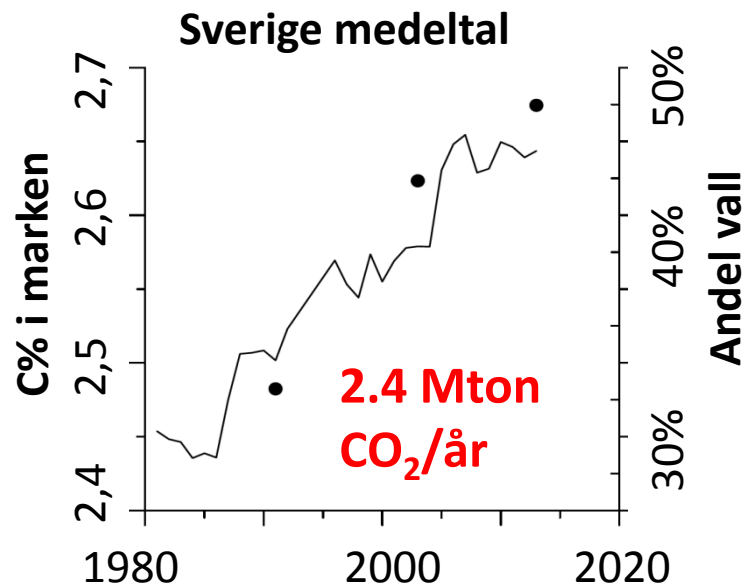
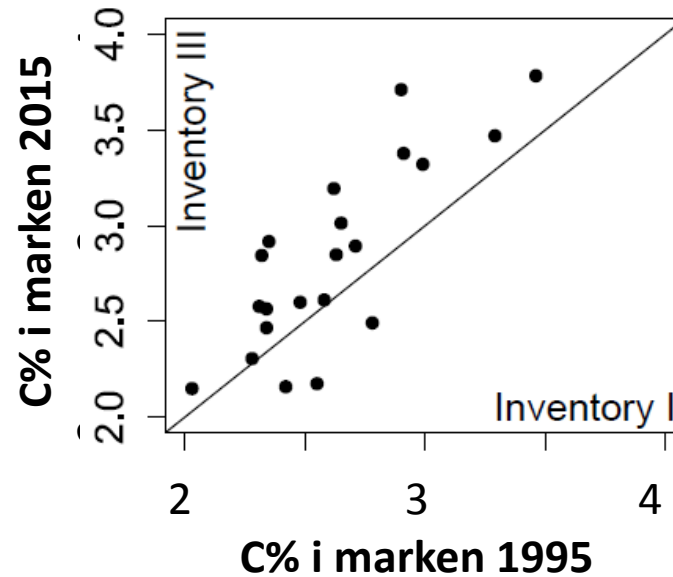
Problem: lägre skörd, ogräs, växtskydd

Glover et al. 2010. AGEE 137: 3–12

Miljöövervakning: Kol i svensk jordbruksmark

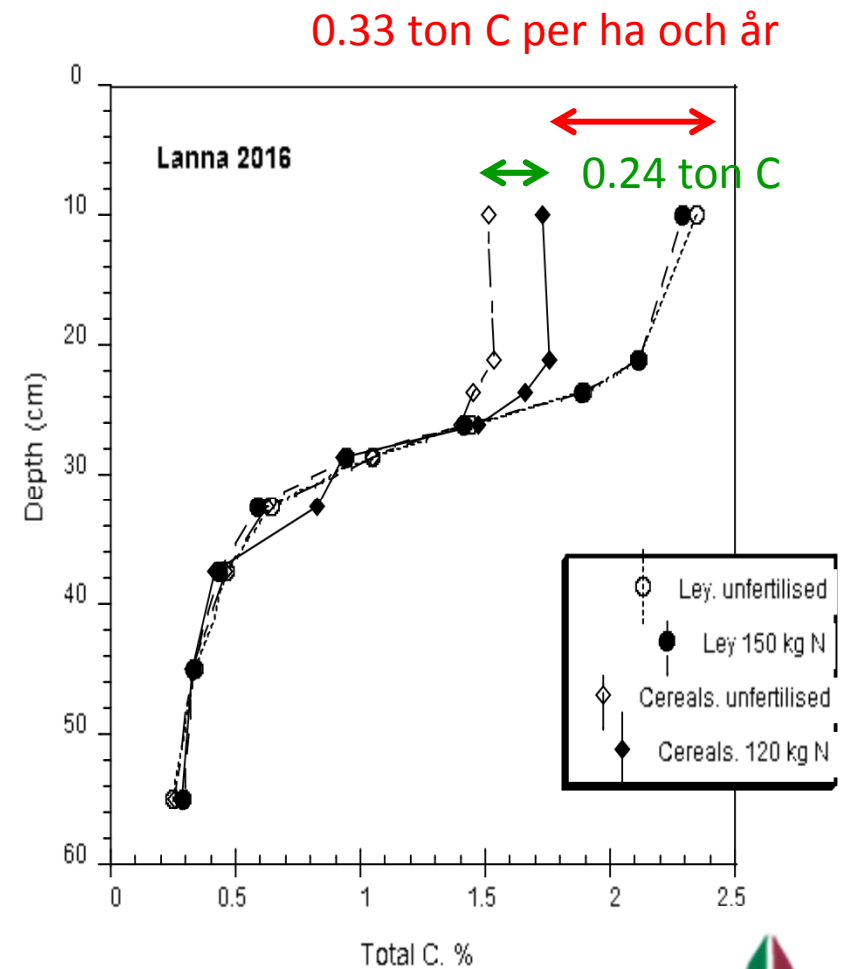
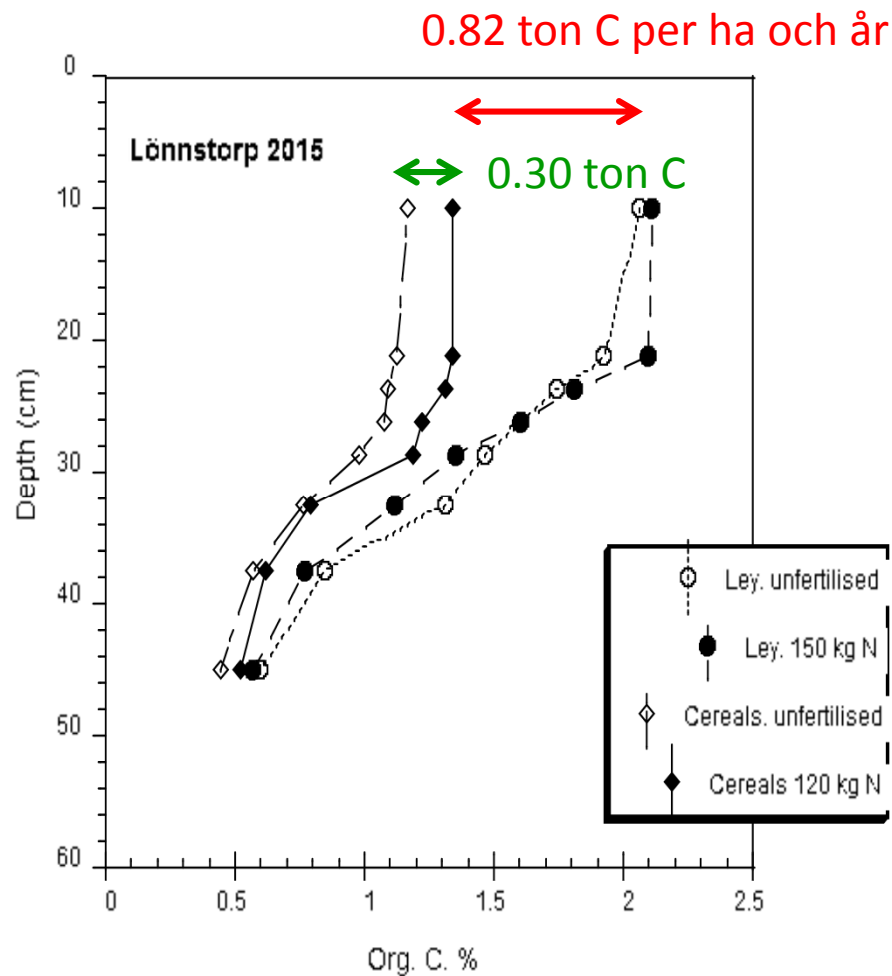


Nationella inventeringar av åkermark:
I (1988-97),
II (2001-07),
III (2010-17)



Markkol under långvarig vall repektive stråsäd efter 35 år

Samma försöksupplägg på 2 platser



Inlagringenspotentialen i alven skiljer sig mellan platserna

Börjesson et al., 2018 BFS

Majs

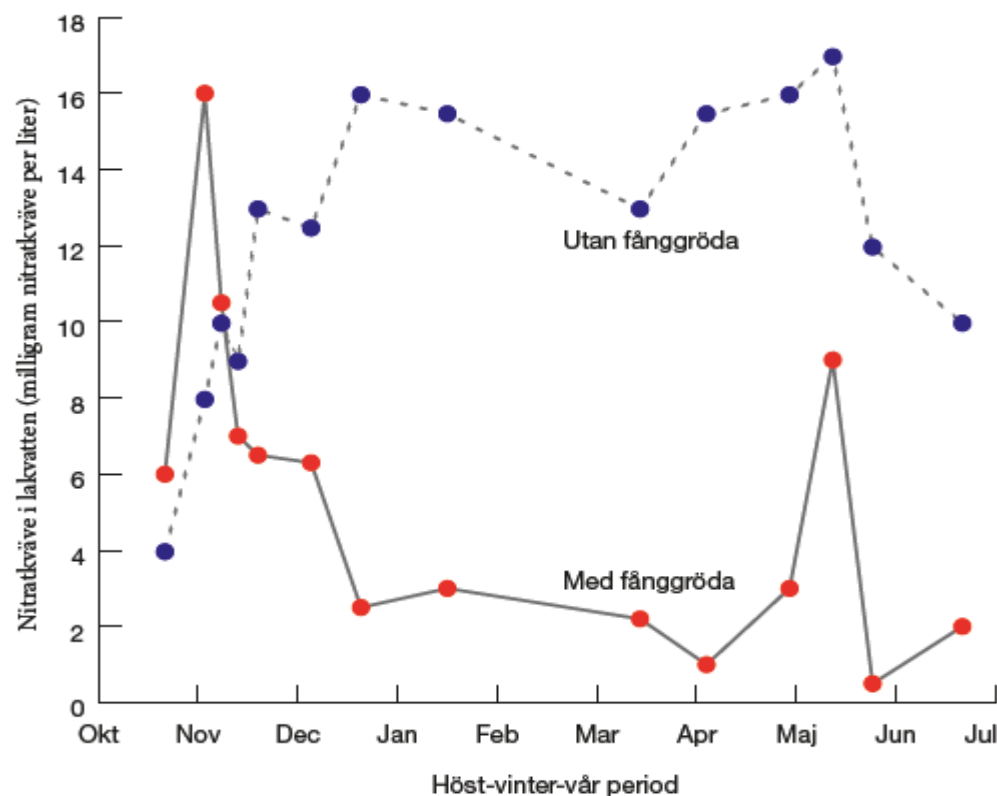
Väl-dränerad

Vattensjuk

Rotsystemets arkitektur styrs
av genetiken och mark/miljön
(vatten, näring, temperatur,
mekaniskt motstånd m.m.)

Rich & Watt 2013 J Exp Bot 64

Fånggrödor och bevuxna åkerkanter minskar näringsläckage och leder till kolfastläggning i marken



Sandjord i södra Sverige

Bergström & Jokela (2001) J Environ Qual 30, 1659-1667

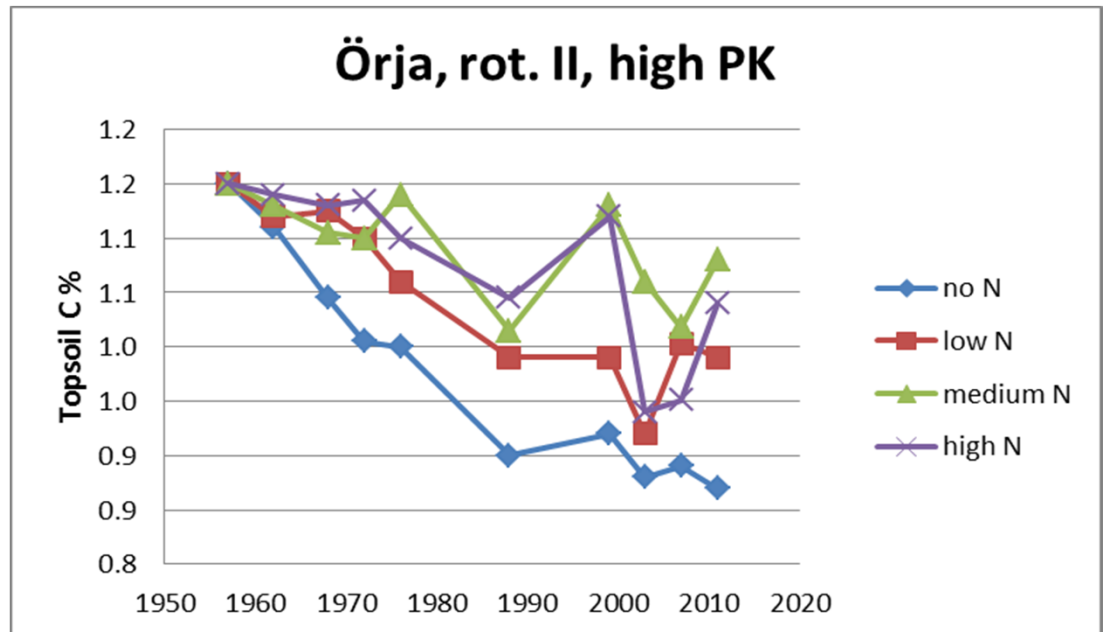
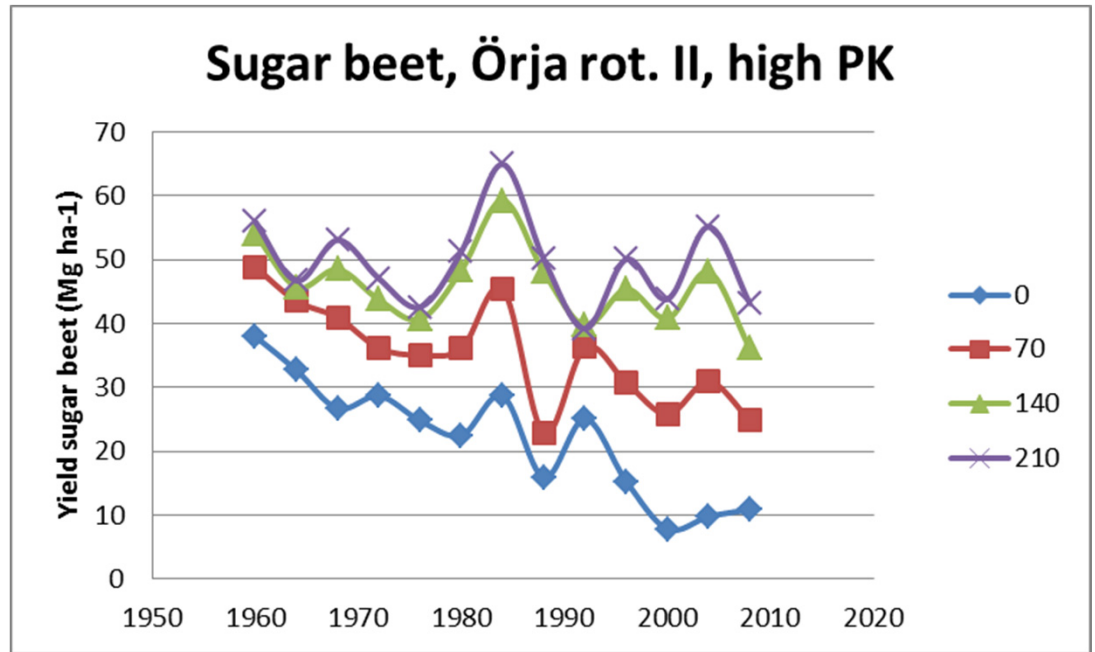
Photo: Gunnar Torstensson
Timothy and English Ryegrass

Resultat från 4
långliggande svenska
försök visar en
kolinbindning på **320
kg C per hektar** för
varje år fånggrödor
odlas

*Poeplau et al. (2015)
Geoderma Regional*



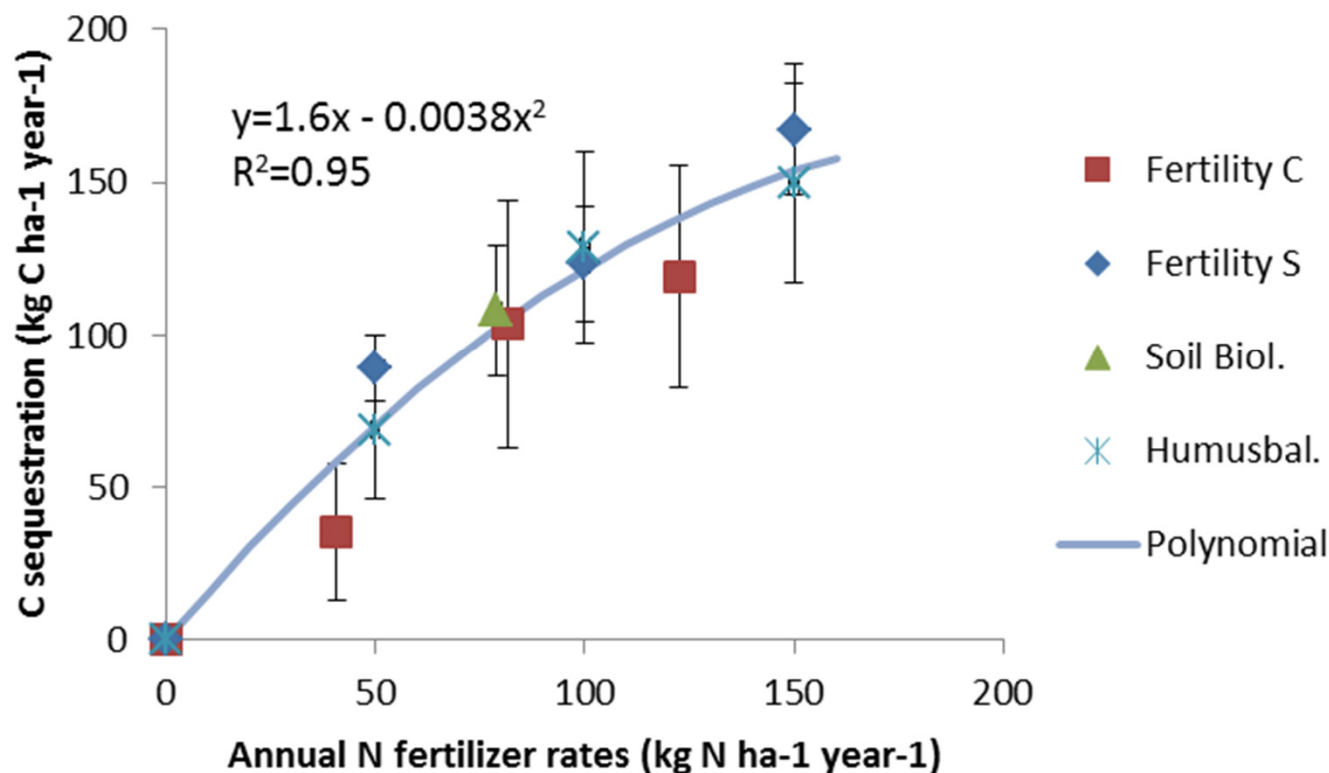
Skördar och markkol i Bördighetsförsöken t.ex. Örja



Kolförrådet gynnas av hög produktion

Resultat från 16 långliggande försök (4 serier):

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



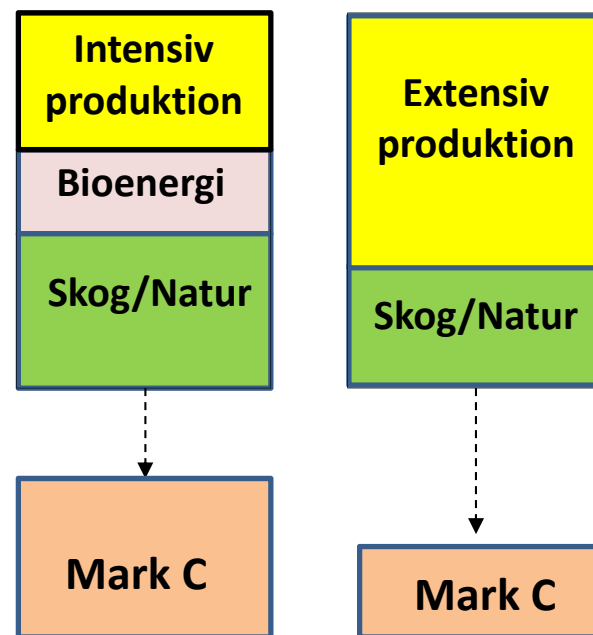
Tillkommer: kolfastläggning i alven: cirka $0.5 \text{ kg C kg}^{-1} \text{ N}$
Total kolfastläggning : $1.5 \text{ kg C kg}^{-1} \text{ N}$ ($5,5 \text{ kg CO}_2\text{-equ.}$)

Kätterer et al., Acta Agr Scand. 2012

Låga skördar (t.ex. ekologisk odling) ökar arealbehovet
-> avskogning -> lägre kolförråd i marken även någon annanstans



Arealbehov för att producera en viss mängd



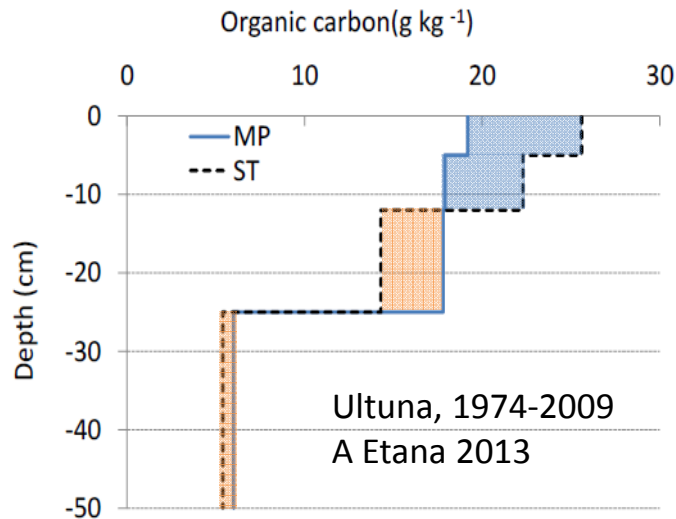
Produktionen per yta måste öka för att försörja en växande befolkning!

Reducerad jordbearbetning?

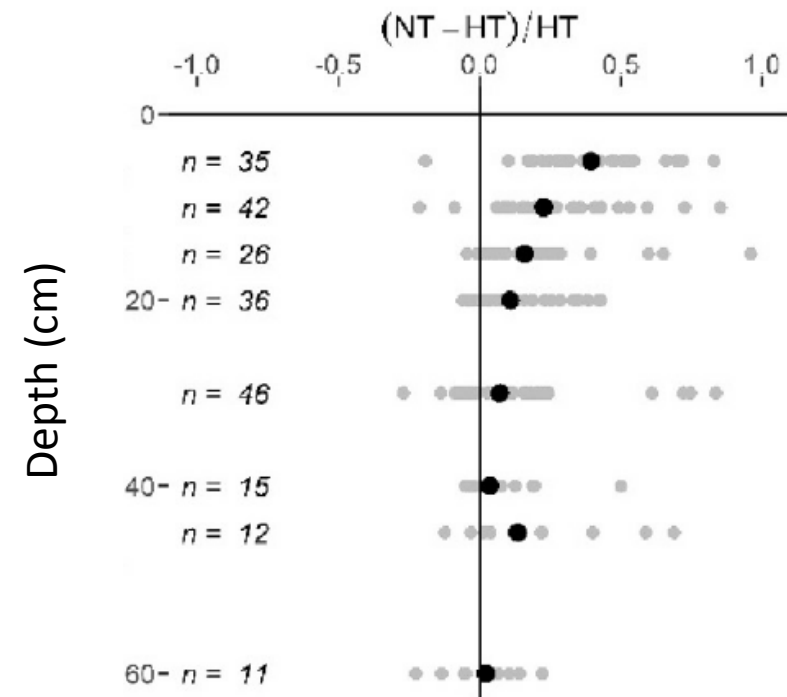


Resultat från 101 försök i tempererad klimat:
Ökningen pga. no-till (NT) jämfört med plöjning
(HT) var i genomsnitt <0.1 ton C/ha år.

Meurer mlf., 2018. Earth-Science Reviews



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



Stor variation!

Djupplöjning till 1 meter i östra Tyskland



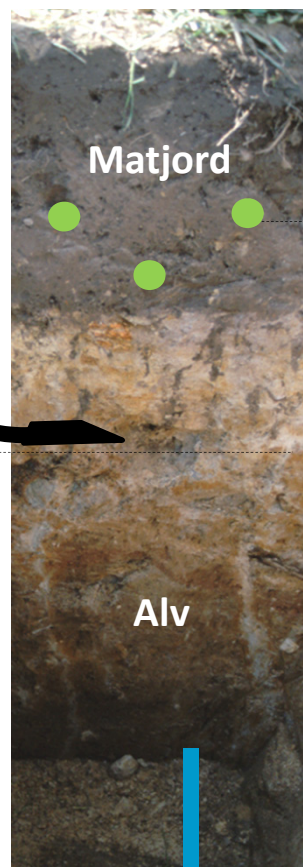
- 42% högre kolförråd efter 45 år ner till 1 m djup, 10 platser.
- 15% lägre C% i matjorden – potential för att lagra mera C finna alltså.

Alcantara et al., GCB 2016

Framtid: Förbättrade jordbruksmetoder – uthållig intensifiering



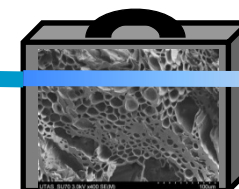
Alvluckring och injicering av organiskt material för bättre markstruktur, genomrotning, effektivare upptag av vatten och näring, kolfastläggning



Växtanpassad placering av grön mineralgödsel

Biokolfilter som fälla för fosfor och bekämpningsmedel

Sedimentering och N-reduktion i våtmarker

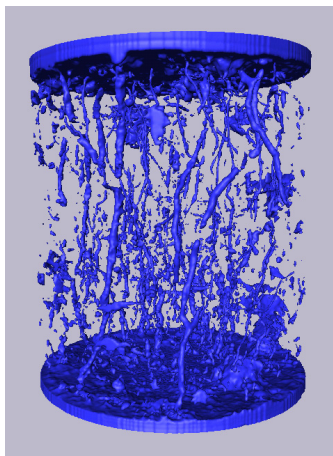


Forskningsrådet Formas

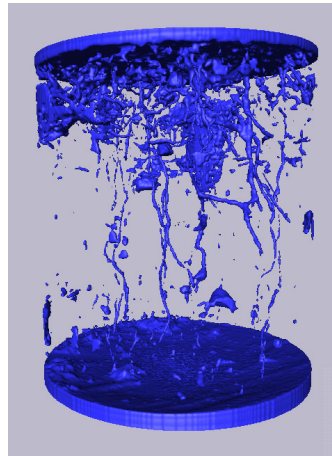
Formas främjar framstående forskning för hållbar utveckling

Hur påverkar markpackning mullbalansen?

- Lägre produktion – leder till lägre C input till marken
- Lägre syretillgång kan bromsa nedbrytningen
- Färre stora porer kan minska predationstrycket för bakterier o svampar
- Nettoeffekten? – jag har inte sett några bra kunskapssammanställningar



Kontroll



Kompakterad

Jarvis et al. 2012



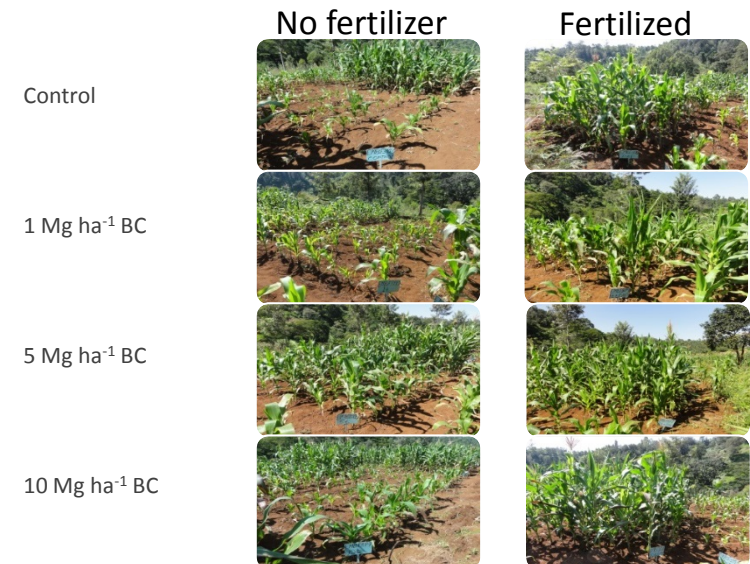
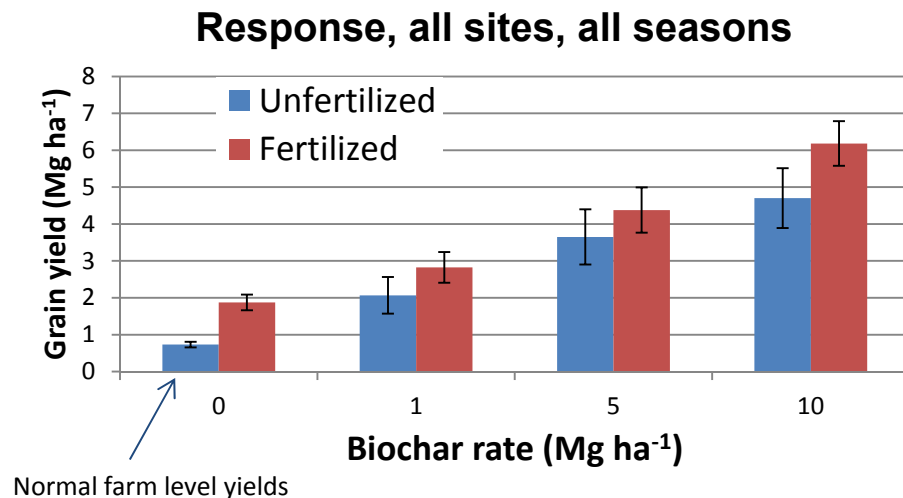
Biokol – positiv för bördigheten på fattiga, vittrade jordar

Försök på 9 platser i 3 regioner i Kenya

Study design

- 3 sites x 3 regions
- BC feedstock differed between regions
- 4 BC rates x 2 fertilizer rates = 8 treatments

Region	Feedstock
Western	Maize stover+cob
Central	Coffee husk
Eastern	Coconut shell

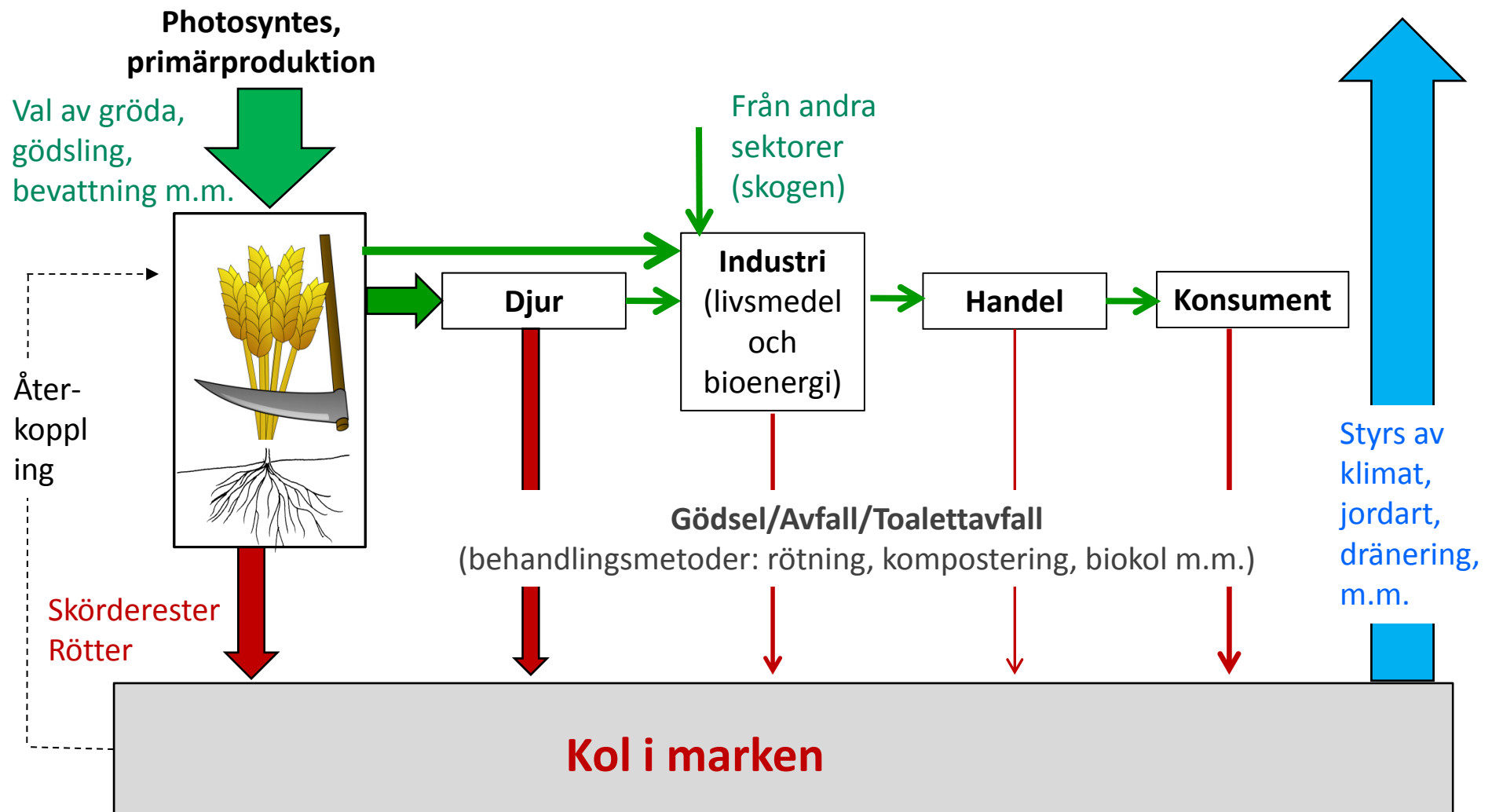


Meta-analys (Jeffery et al., 2017, Envriion. Res. L. 12: 053001):

Signifikanta effekter i tropiskt men inte i tempererat klimat

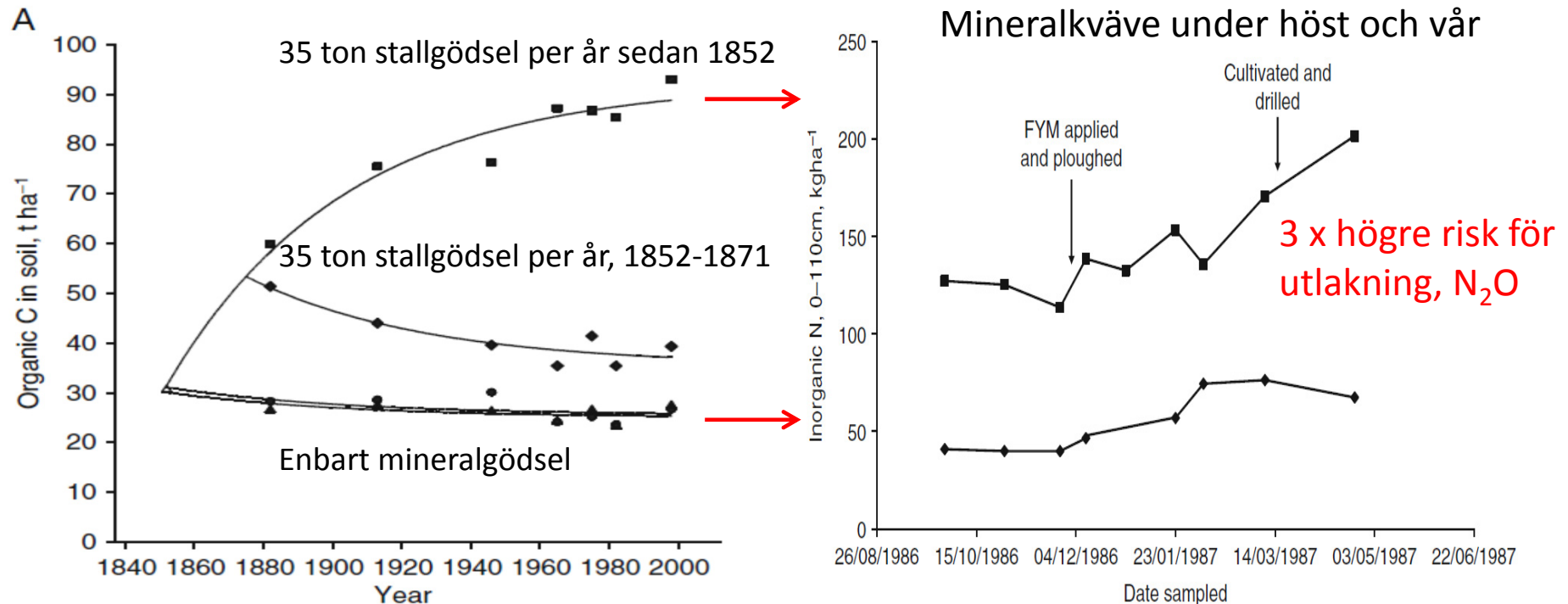
Kätterer et al., manuscript

Markens kolbalans kan påverkas, främst genom primärproduktion



Potentialen för kolinlagringen avtar med tiden

Hoosfield Continuous Barley, Rothamsted



- Jämvikt nås efter mera än 100 år i vårt klimat
- Höga mullhalter ökar risken för kväveläckage och lustgasemissioner

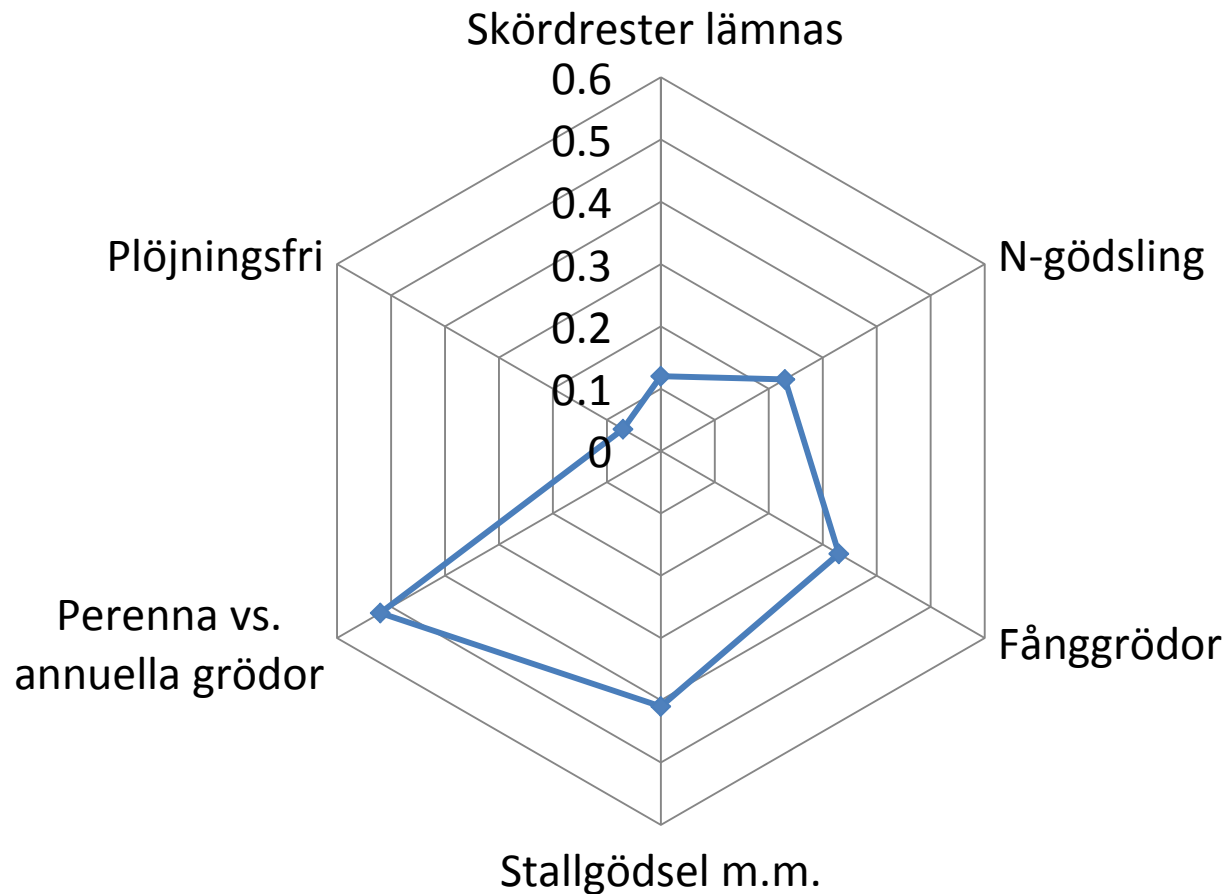
Johnston m.fl., 2009; Powlson et al, 1989

Sammanfattning:

Hur vi kan öka mullförrådet i marken

- Grön mark året om (fånggrödor, åkerkanter, m.m.)
- Fleråriga växter (agroforestry, salix etc.),
- Stoppa avskogningen genom uthållig intensifiering av jordbruket – främst i Afrika
- Rötter är viktiga för markens kolbalans
- Effekten av stallgödsel kan inte skalas upp
- Växtförädling – större rotbiomassa, svårnedbrytbara skörderester, flerårig stråsäd
- Minskad jordbearbetning? Marginell effekt i Sverige – men minskad dieselförbrukning, färre arbetstimmar – kanske ökade lustgasutsläpp?
- Djupplöjning, injektion av skörderester i alven?
- Forskning, teknikutveckling, rådgivning och utbildning

Sammanfattning: Åtgärder för kolinlagring (ton C per ha och år) – baserad på litterarstudier >1000 försök



Bolinder, Freeman, Kätterer, 2017



Tack för din uppmärksamhet!

Tack till alla kollegor och medarbetare som har bidragit

Tack till våra finansiärer, främst



FORMAS

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



Stiftelsen
Lantbruksforskning