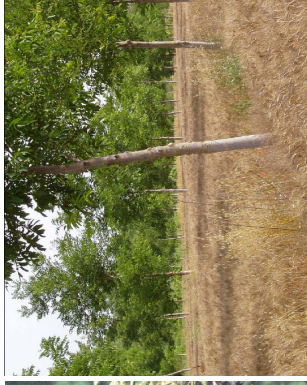
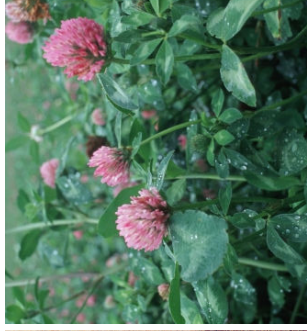


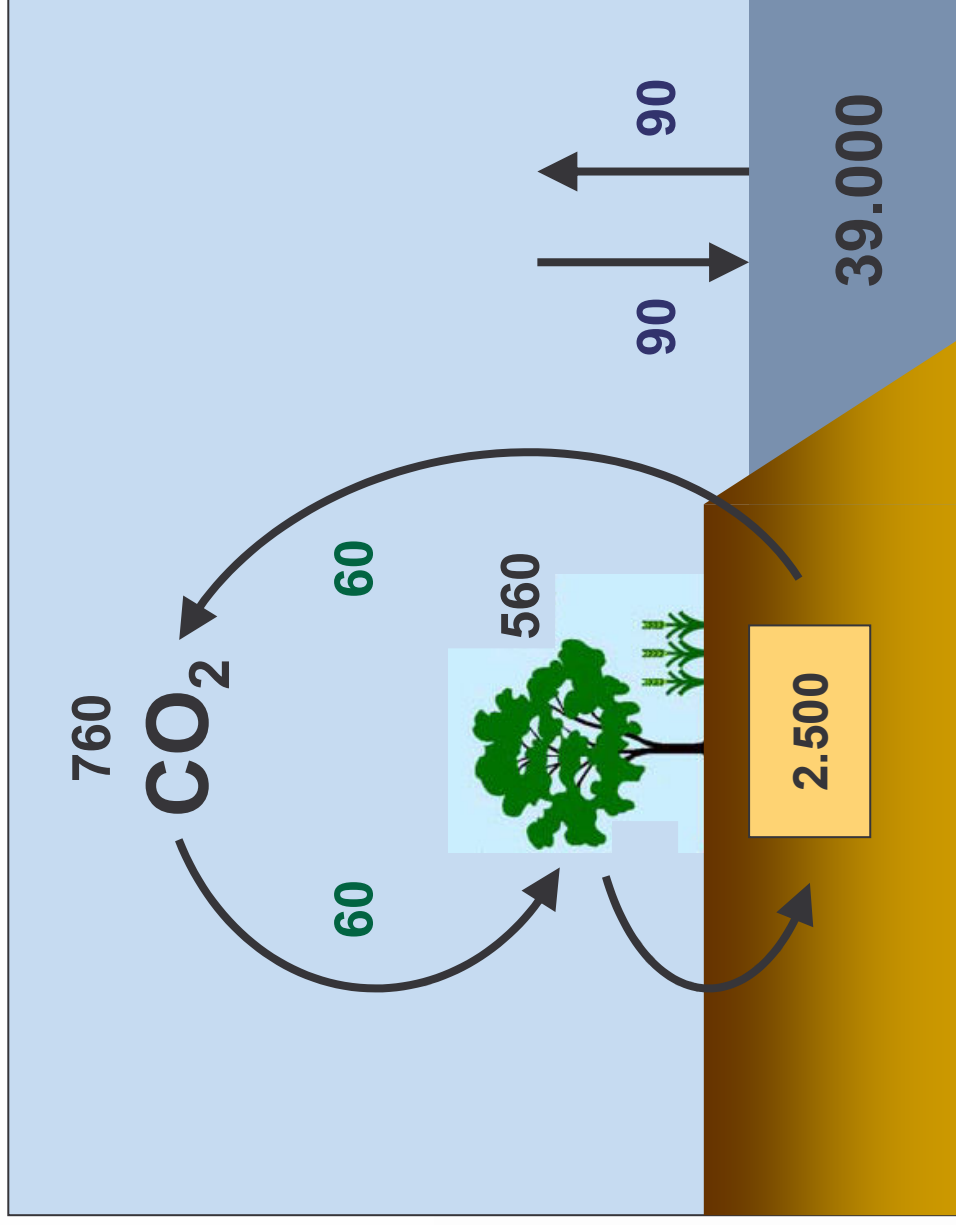
CO₂-Senken für mehr Klimaschutz

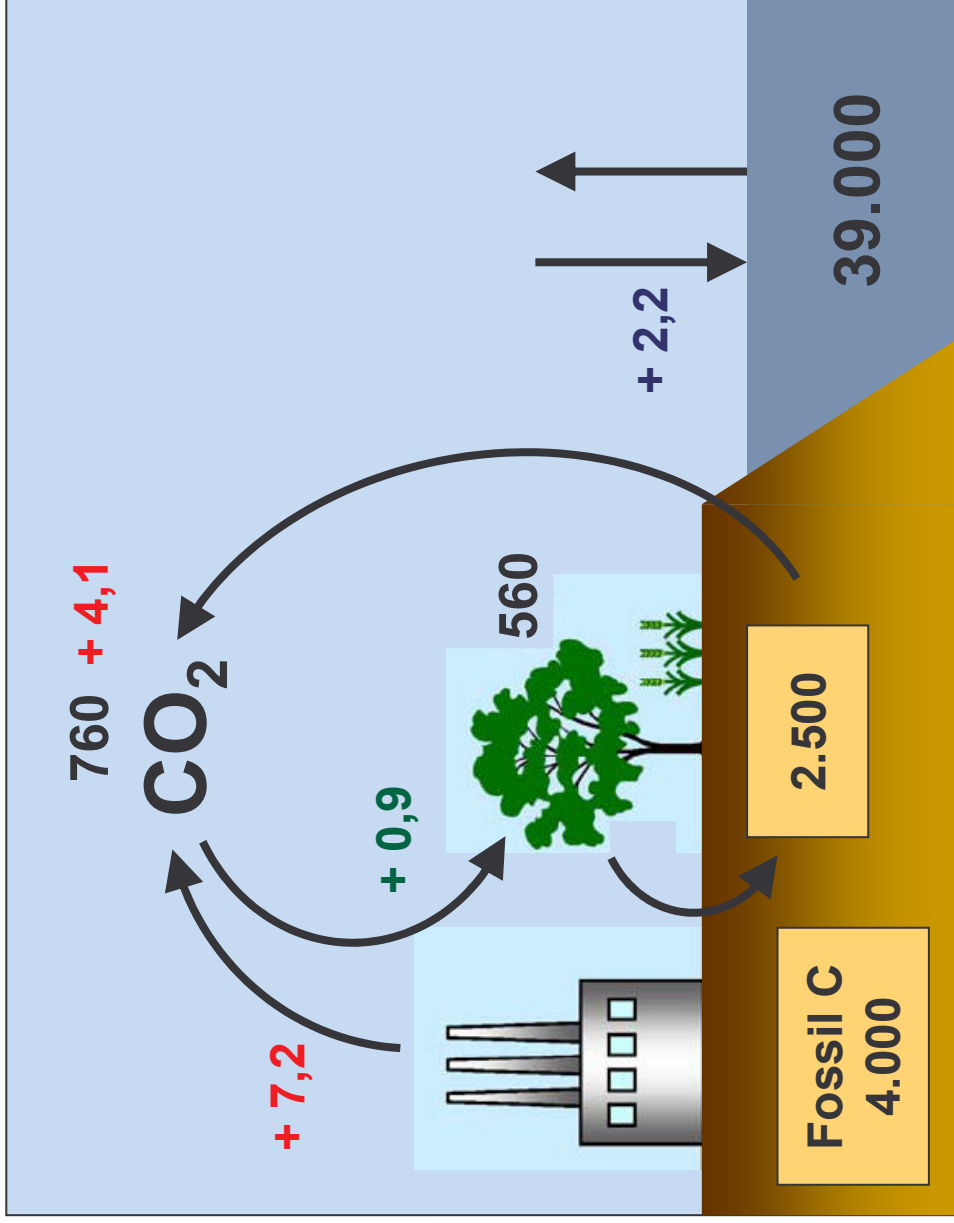
Landbauliche Verfahren:

Humusaufbau, Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtbau

Bäume in der Agrarlandschaft







C-Emissionen

Welt: 7,2 Mrd. t

= 1,1 t C pro Kopf

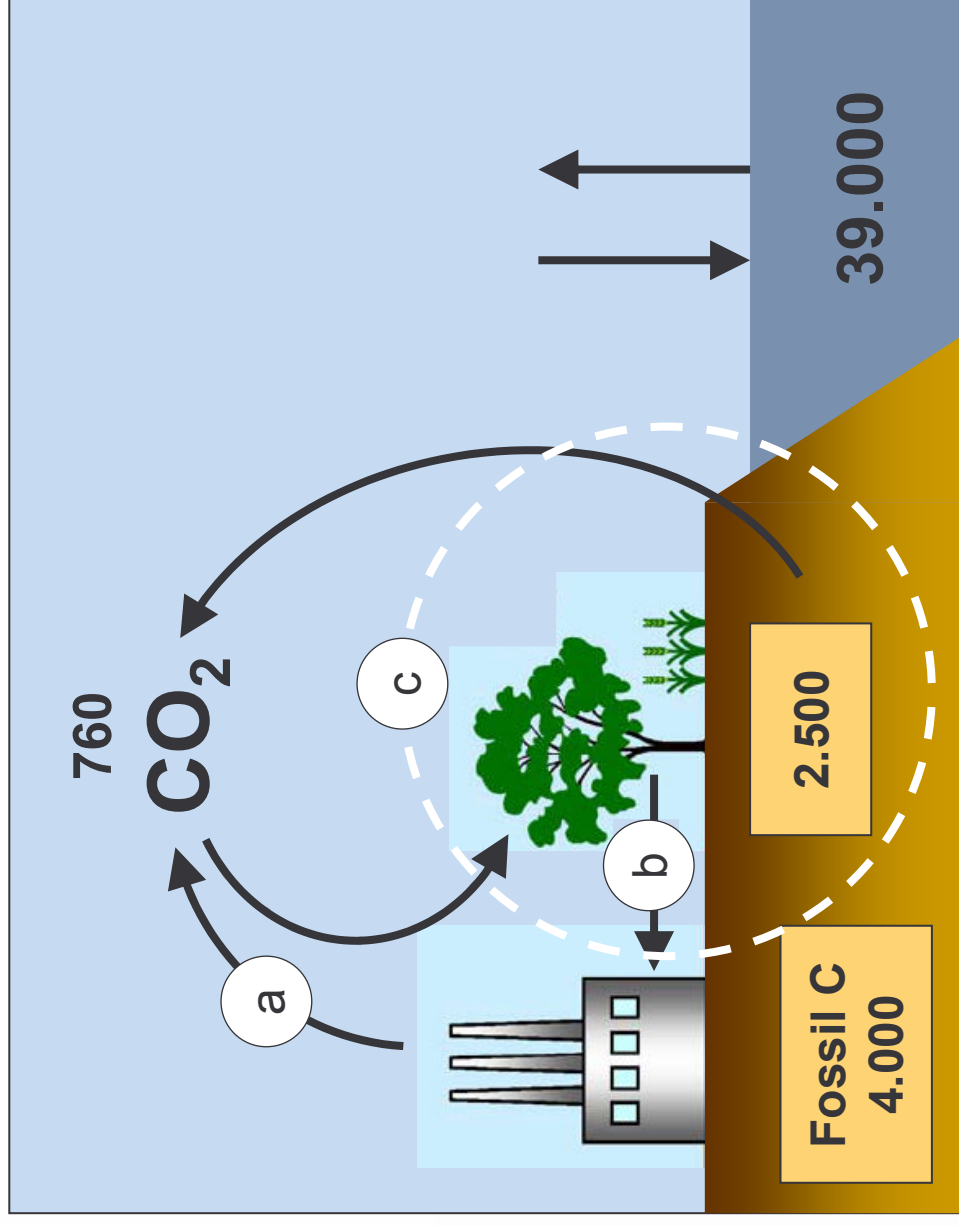
CO₂-Emission pro Kopf

Welt: 4 t

Deutschland: 10 t

USA: 20 t

Indien: 1 t

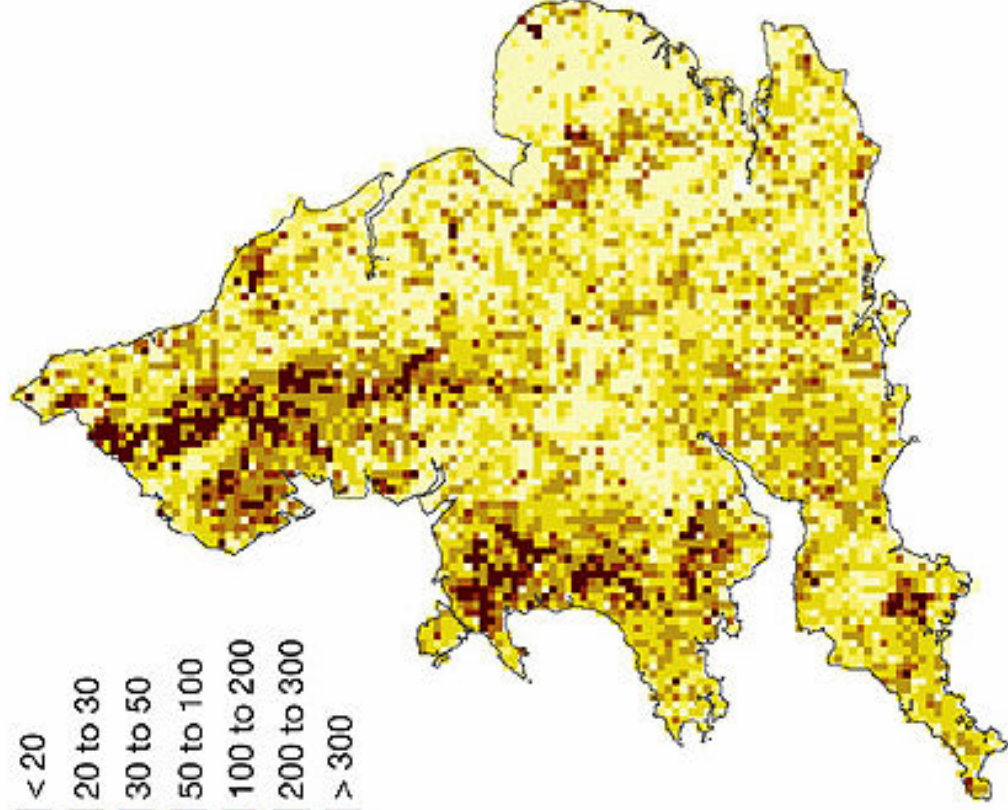
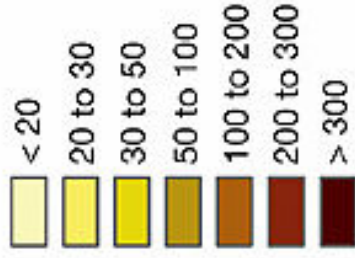


a) Reduzierung von Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe

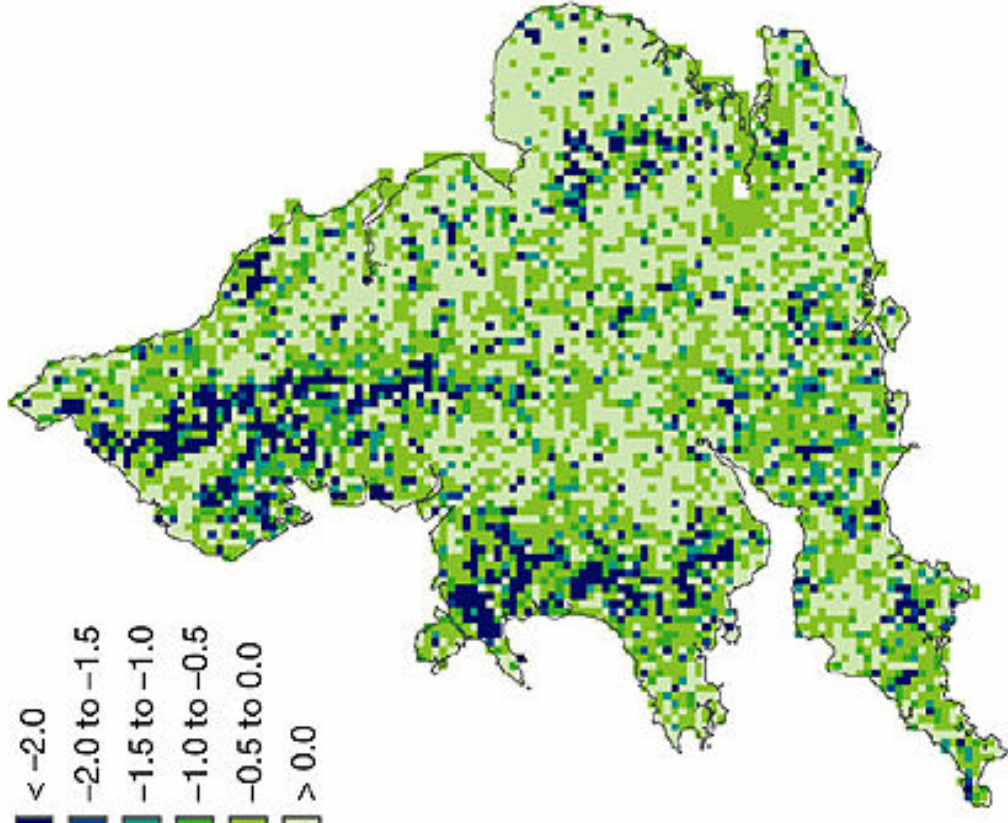
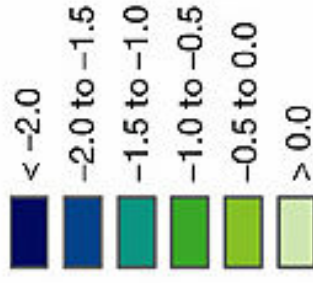
b) Nutzung von photosynthetisiertem C als Bioenergieträger

c) Erhöhung der C-Speicherung in Böden und in der Phytomasse

a Original C_{org} ($g\ kg^{-1}$)



b Rate of change ($g\ kg^{-1}\ yr^{-1}$)





Soil Carbon Sequestration Impacts on Climate Change

Lal: SCIENCE VOL 304, 2004, 1623-1627



Carbon sink capacity of the world's agricultural soils:

50 to 66 % of the historic carbon loss of 78 Gt C

0,4 – 1,2 Gt C / yr (5 to 15 % of the global emissions).

These rates can be sustained for 20 to 50 years.

The potential is finite in capacity and time.

Bei 58 % C im Humus:

1 % C entspricht 1,72 % Humus,

1 % C entspricht $\approx 45 \text{ t C ha}^{-1} = 78 \text{ t Humus ha}^{-1}$

Bei einem C : N - Verhältnis von 10 : 1 = $4.500 \text{ kg N ha}^{-1}$

Grenzwerte der OBS nach Cross Compliance:

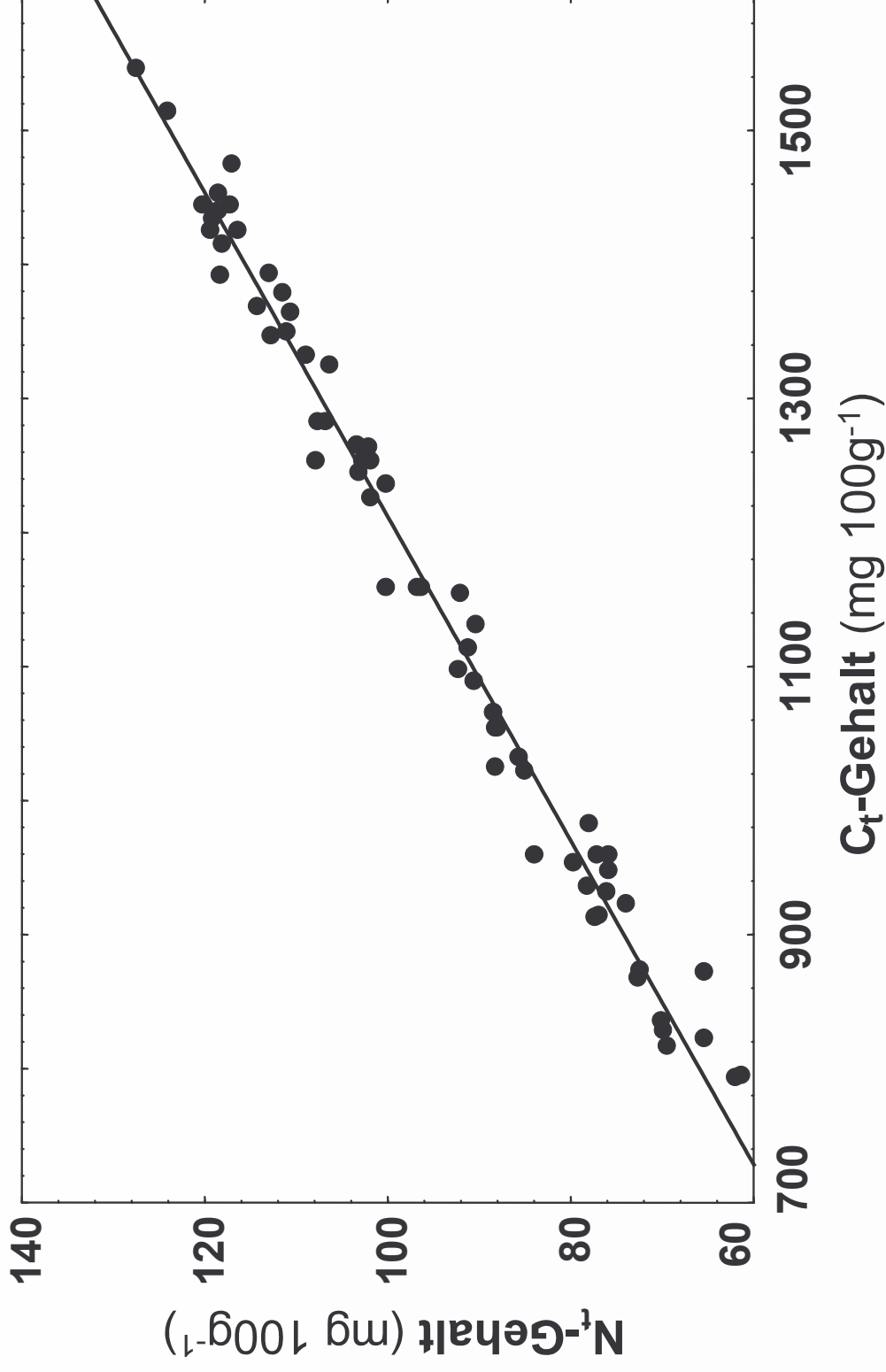
Ton < 13 %: Humusgehalt > 1 %

Ton > 13 %: Humusgehalt > 1,5 %



Beziehungen zwischen C_t - und N_t -gehalten

Düngungsversuch Seehausen (2000)



$$y = -0,29 + 0,083 x_1$$

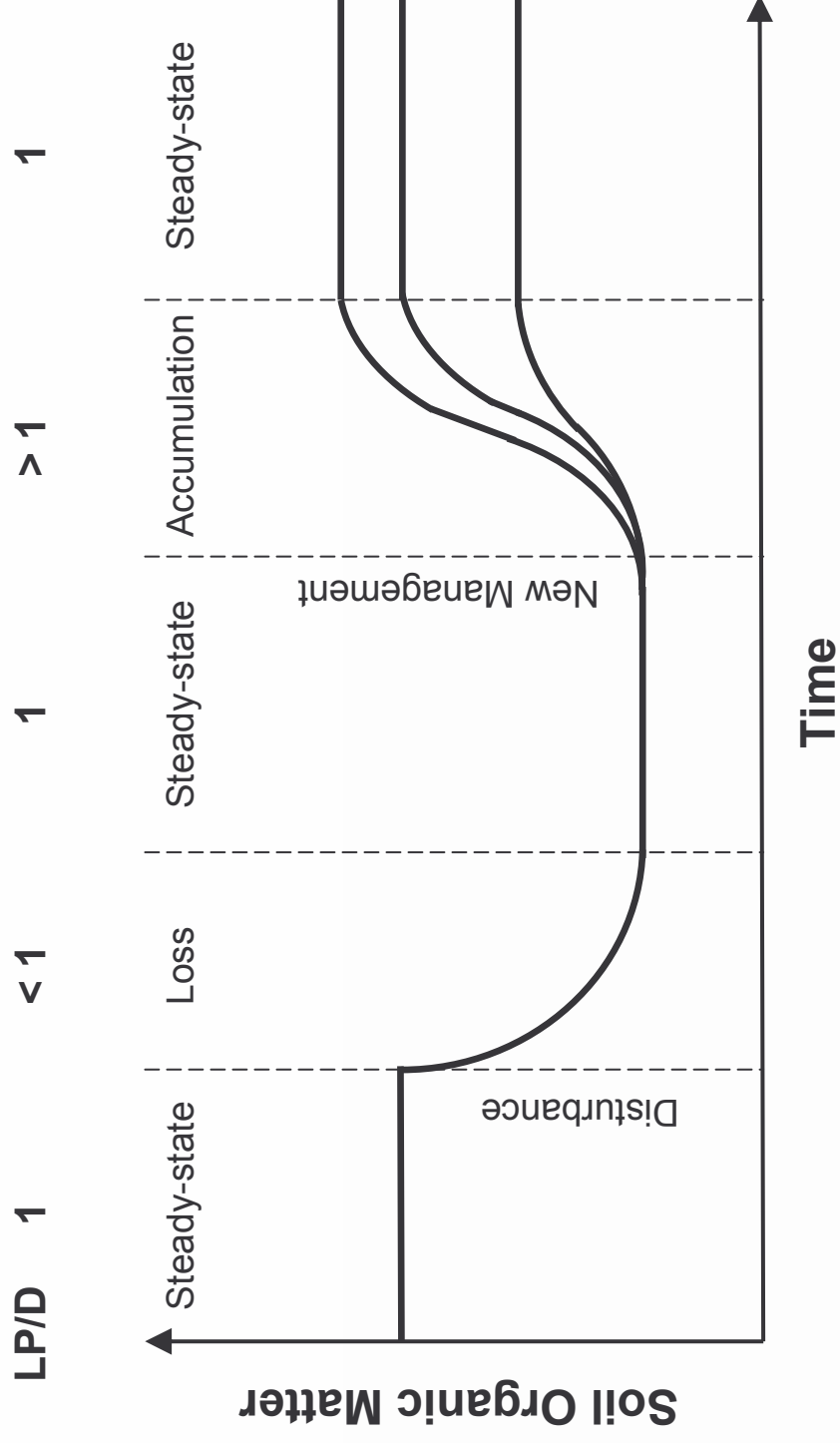
$$B = 0,98^+$$

$$s_R = 2,3$$



Entwicklung von Humusgehalten

(nach Johnson et al. 1995)



LP = Litter production

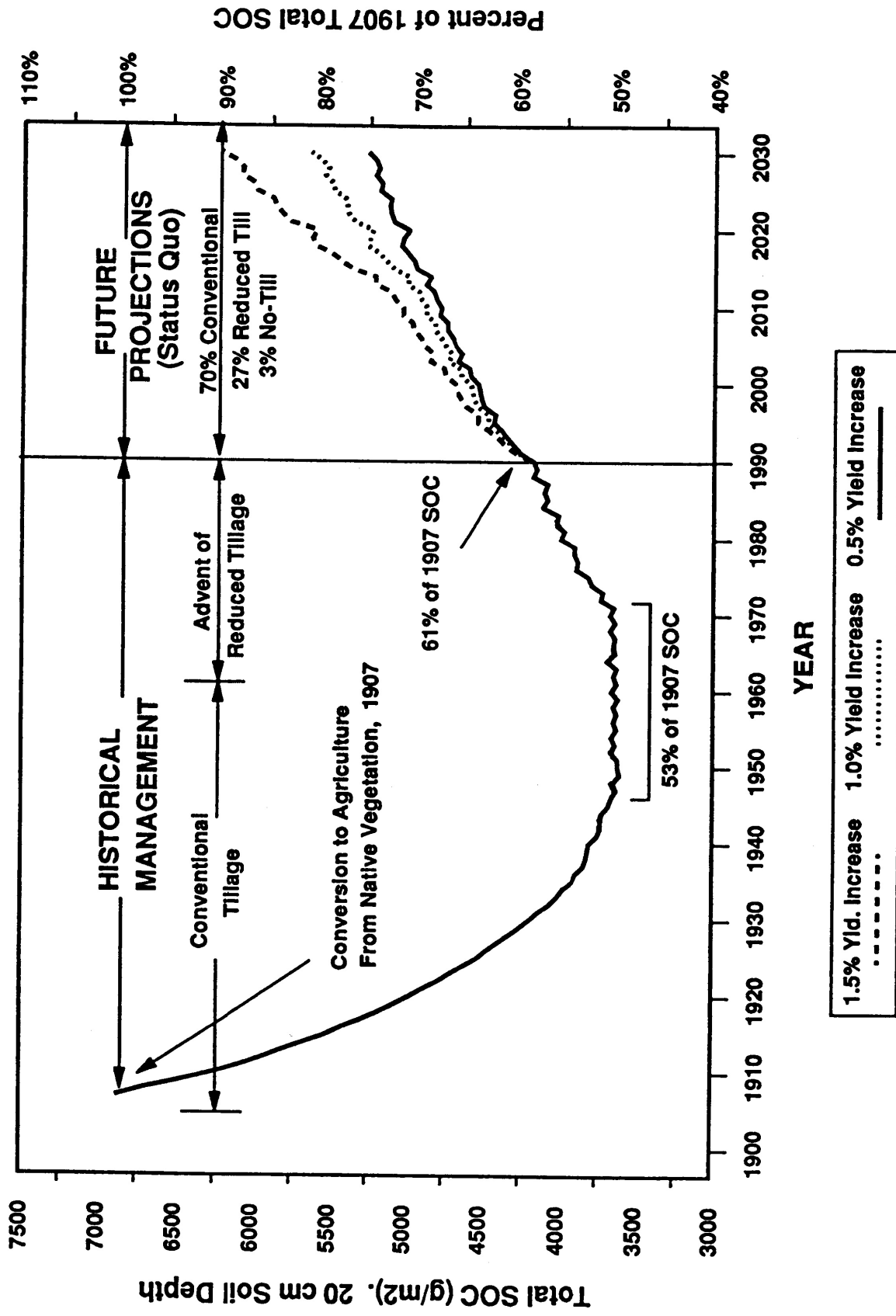
D = Decomposition



Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S.

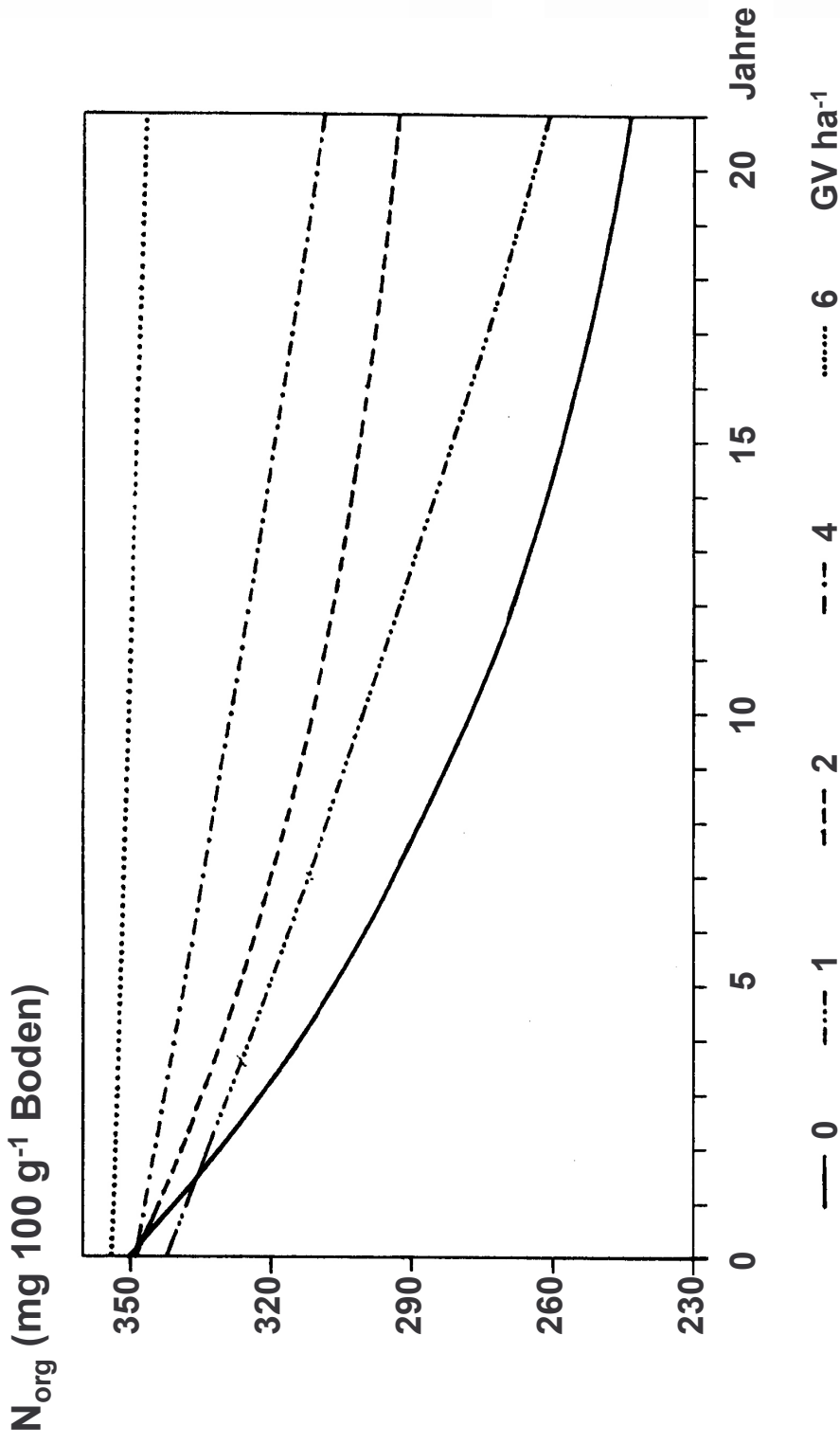


scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)



Entwicklung der N_{org} -Gehalte nach Grünlandumbbruch

Dauerversuch Lauterbach, Erzgebirge (Hülsbergen et al. 1996)



Humusabbau (Variante mit 0 GV ha⁻¹):

2.200 kg N ha⁻¹ = 110 kg N ha⁻¹ a⁻¹

22.000 kg C ha⁻¹ = 1.100 kg C ha⁻¹ a⁻¹ = ca. 4000 kg CO₂ ha⁻¹ a⁻¹



Grünlandumbbruch und Silomaisanbau in Deutschland

(dlz agrarmagazin 2008, Roßberg & Hartmann 2007)

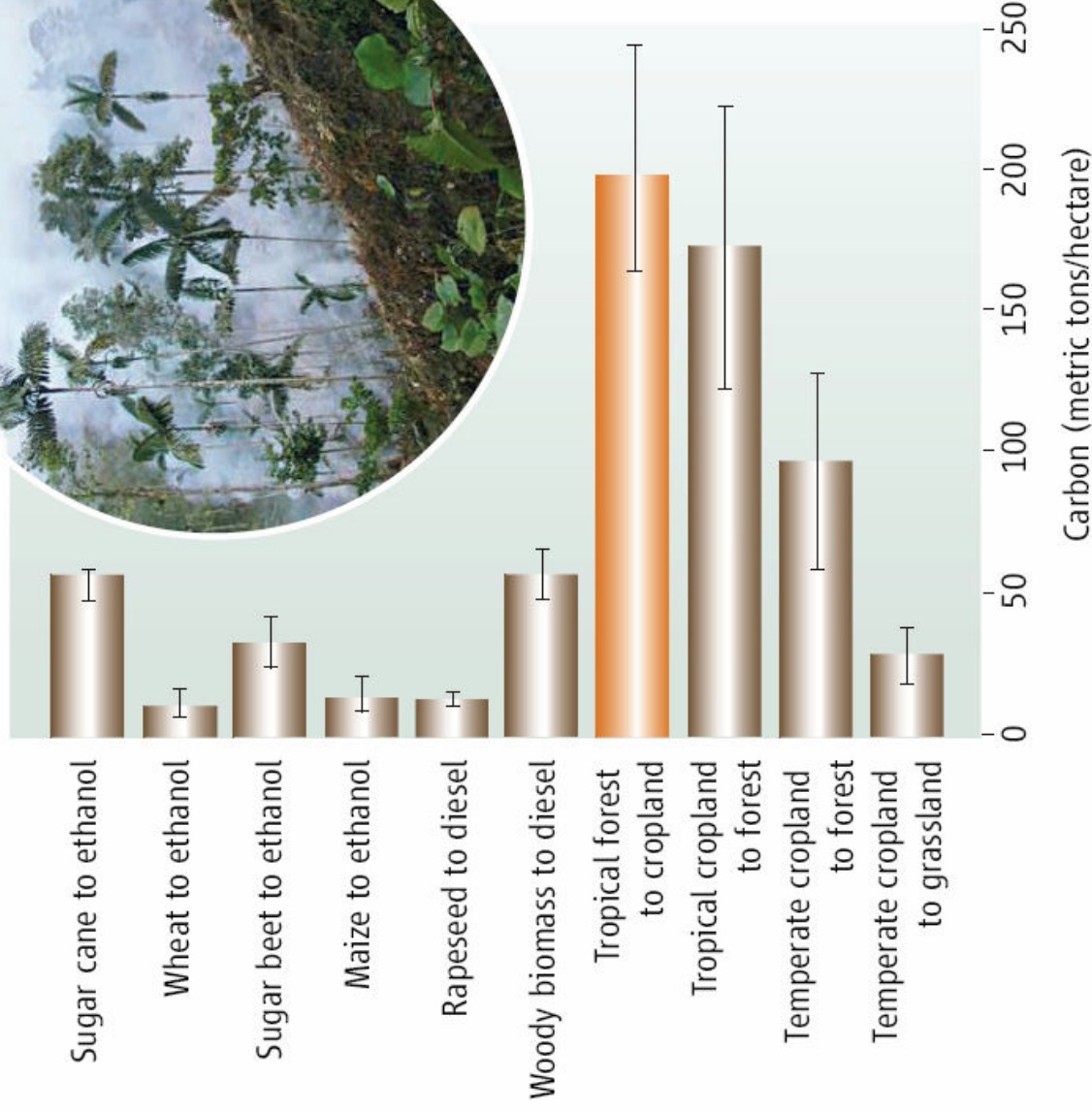


Die Grünlandfläche nahm in Deutschland von 2003 bis 2007 um 154.000 ha (3,1 %) ab, in Schleswig-Holstein sogar um 5 %.

**In 90 % aller Biogasanlagen wird Mais als Substrat eingesetzt.
Der Silomaisanbau stieg von von 1,12 (2002) auf 1,35 Mio ha (2006).
Im Jahr 2006 wurden 162.000 ha Mais für die Biogasproduktion angebaut, das sind 12 % der Maisanbaufläche.**



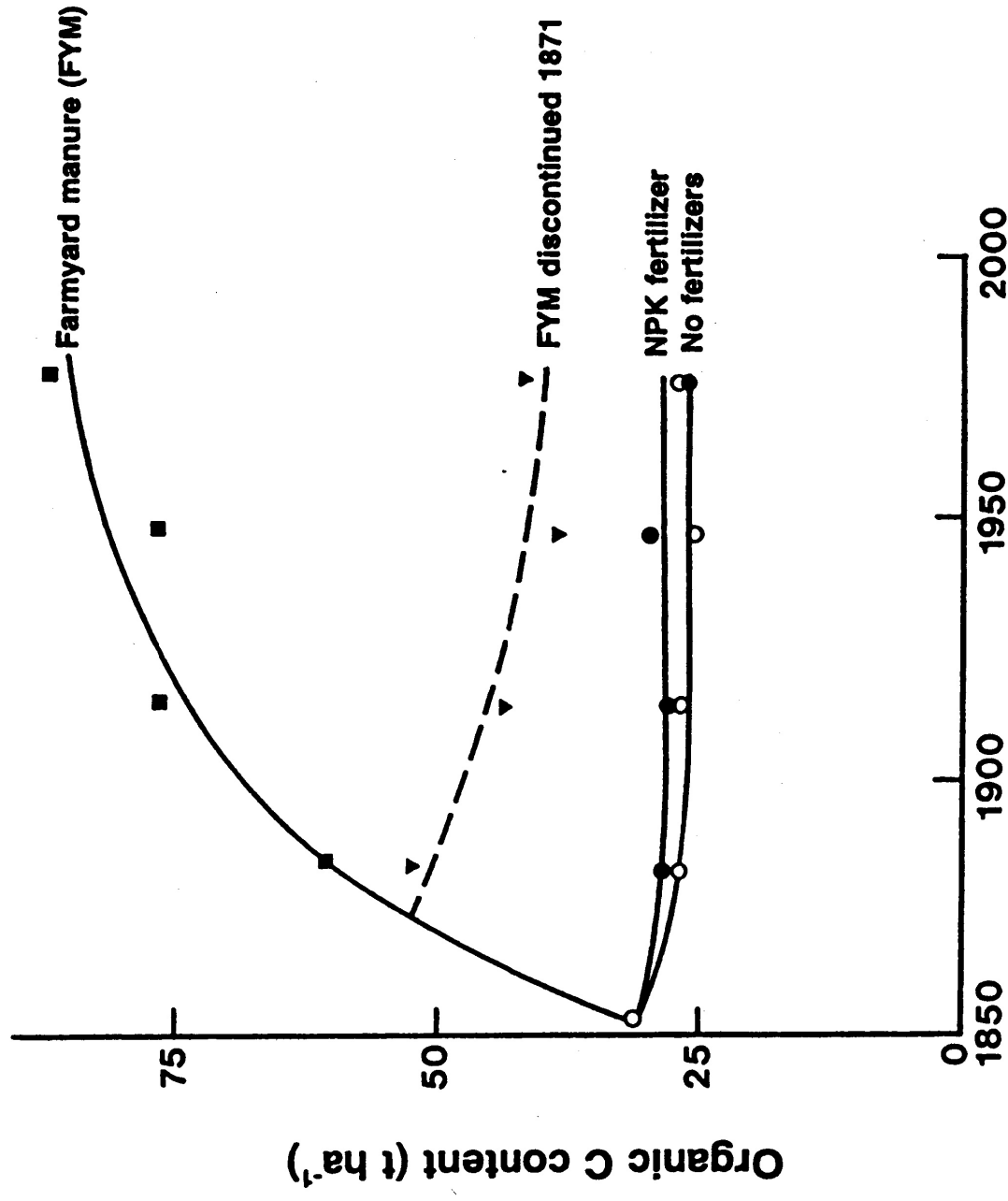
Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? Righelato & Spracklen (2007): Science 317, 902.



Cumulative avoided emissions per hectare over 30 years for a range of biofuels compared with the carbon sequestered over 30 years by changing cropland to forest and the loss of carbon to the atmosphere by conversion of forest to cropland.

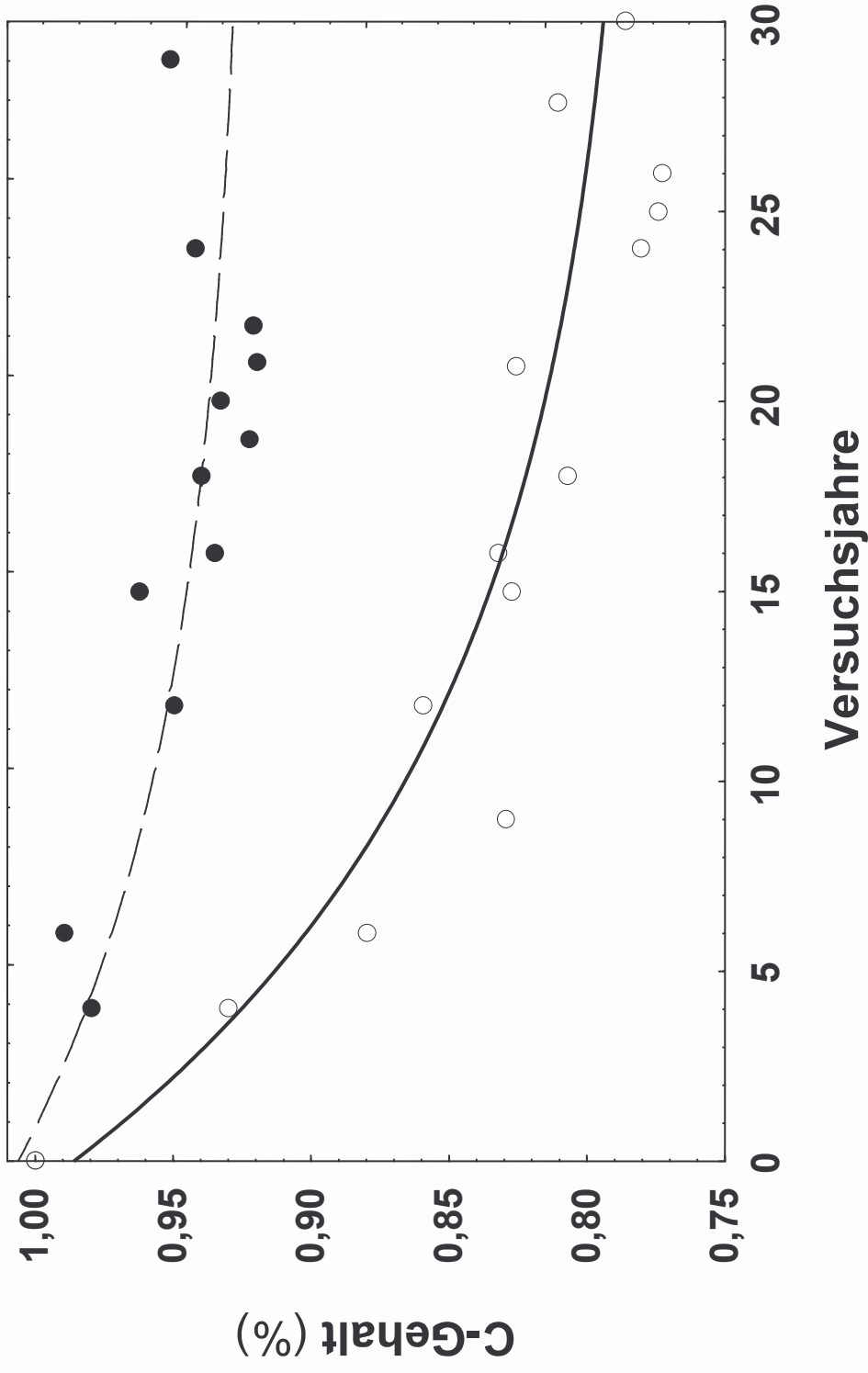
Changes of soil organic C content in the Hoosfield

Continuous barley experiment (JOHNSTON 1986)



Einfluss von Klee-Luzerne-Gras auf die C_{org} -Gehalte

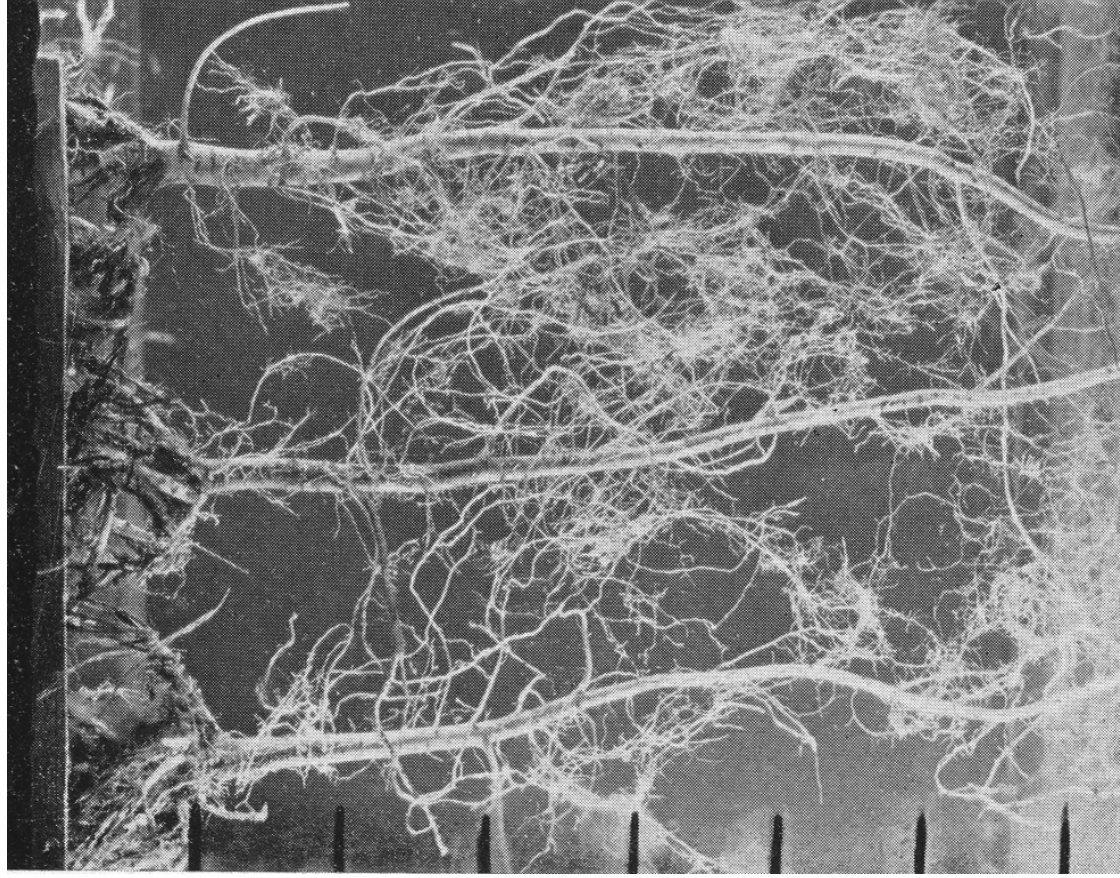
Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (Hülsbergen 2003)



- Fruchtfolge mit Klee-Luzerne-Gras
- Fruchtfolge ohne Klee-Luzerne-Gras



Wurzelbild der Luzerne





Einfluss des Luzerneanbaus auf die C_{org} -Gehalte und -Vorräte

Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm, 6. Fruchtfolge (30 Jahre)

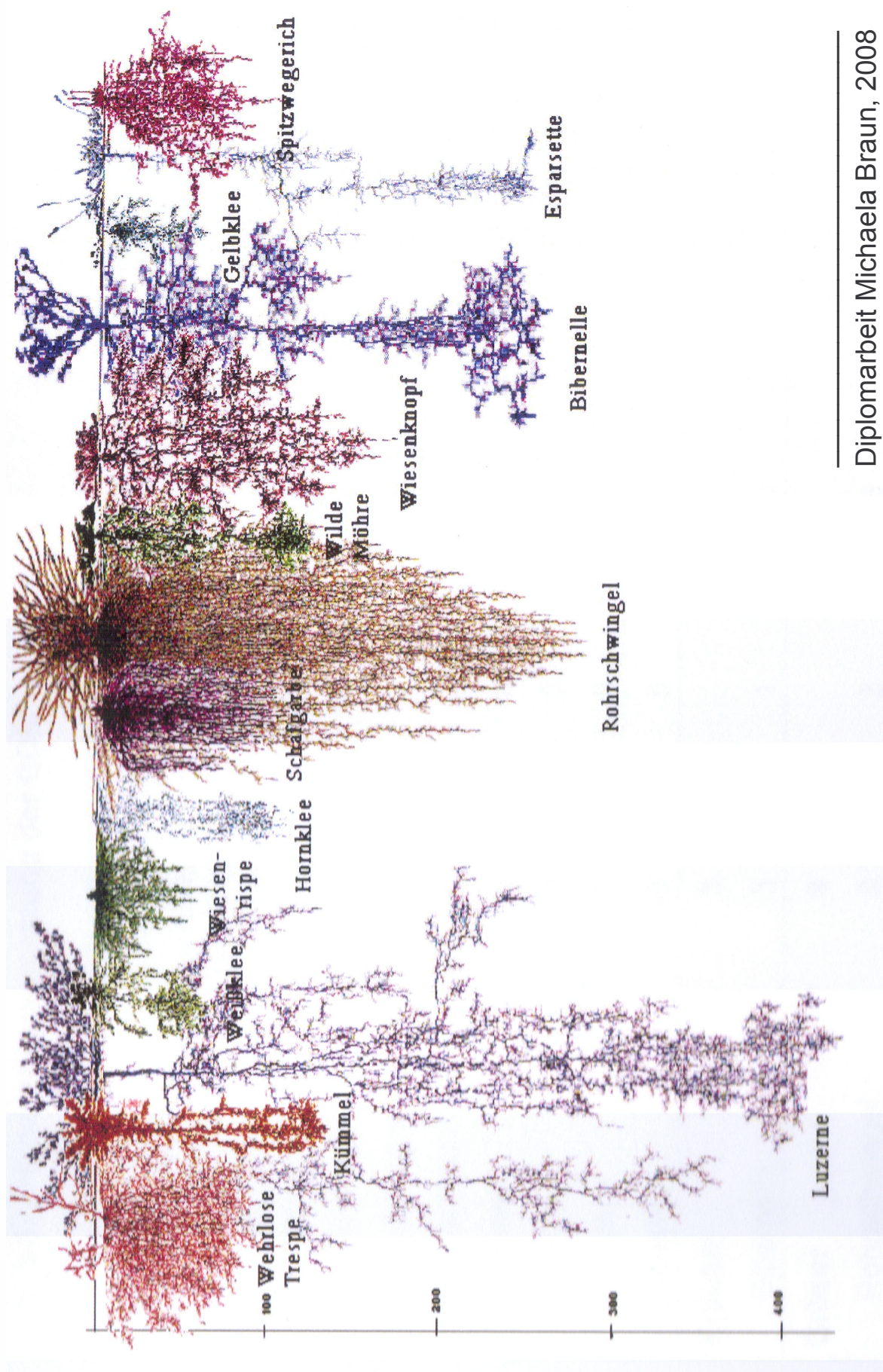


Bodentiefe cm	C_t -Gehalt mg/100g Boden		ΔC_t - Vorrat kg/a	ΔCO_2 - Bindung kg/a
	FF III	FF V		
0 - 20	830	990	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 616
0 - 60		+ 447	+ 466	+ 1708

TRD: Schicht 0 - 20 cm: $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, Schicht 20 - 60 cm: $1,6 \text{ g cm}^{-3}$



Wurzelbilder der Futtermischung Braun



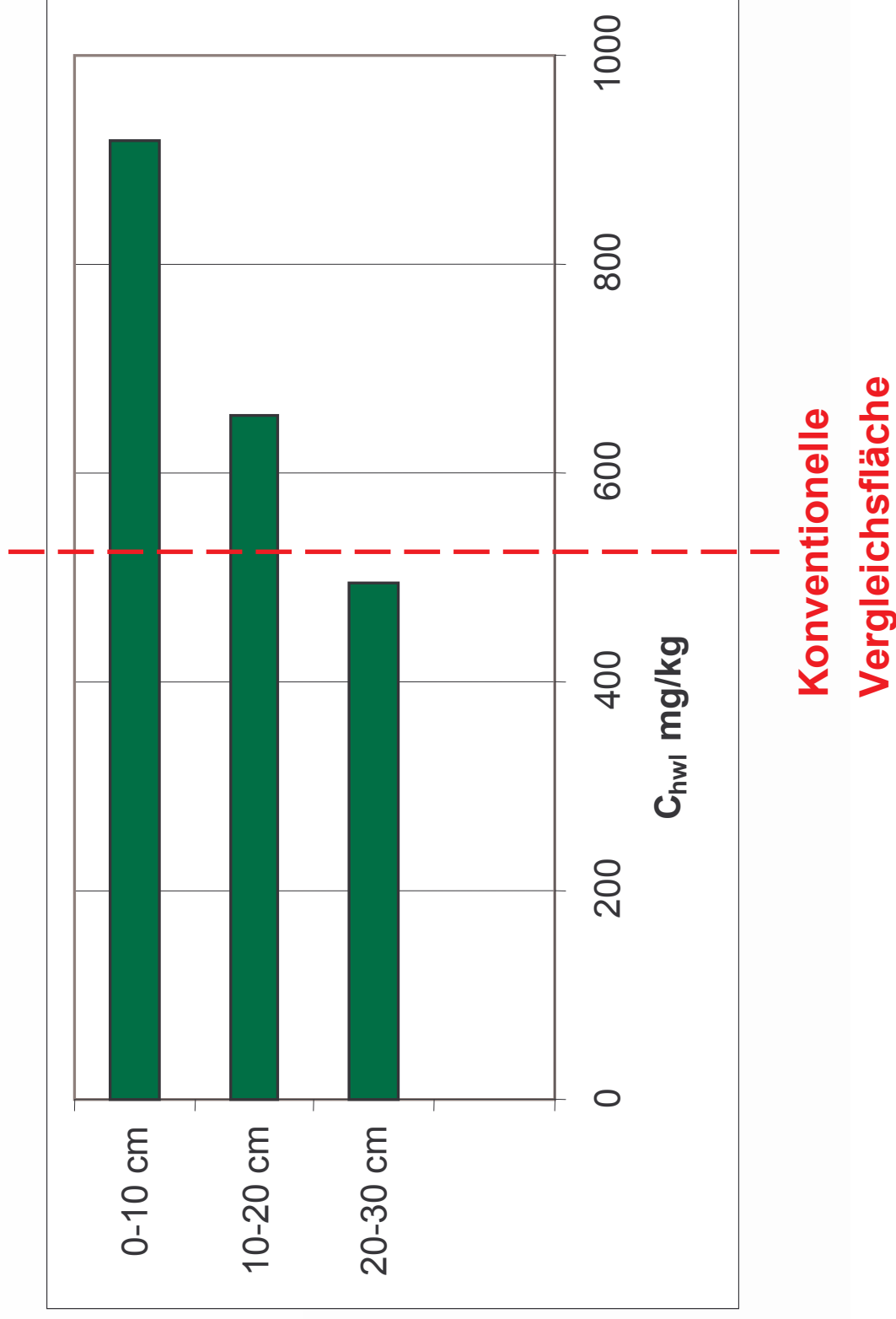
Wurzeln im Unterboden (100 cm Tiefe) an Klüften und in Regenwurmröhren





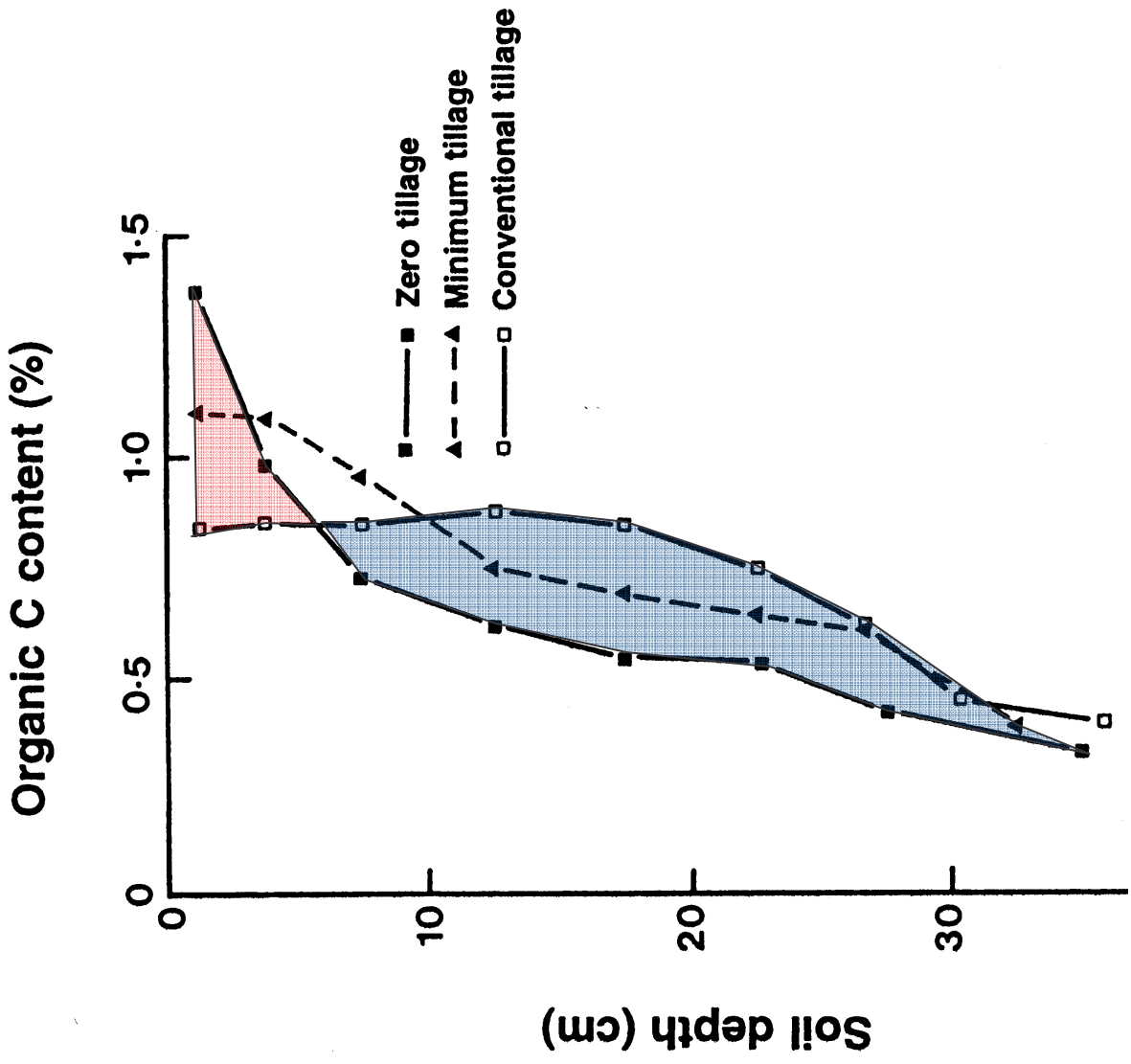
Umsetzbare Organ. Substanz ökologischer und konv. Flächen

Beispiel: Braun, Freising (pfluglose Bodenbearbeitung)

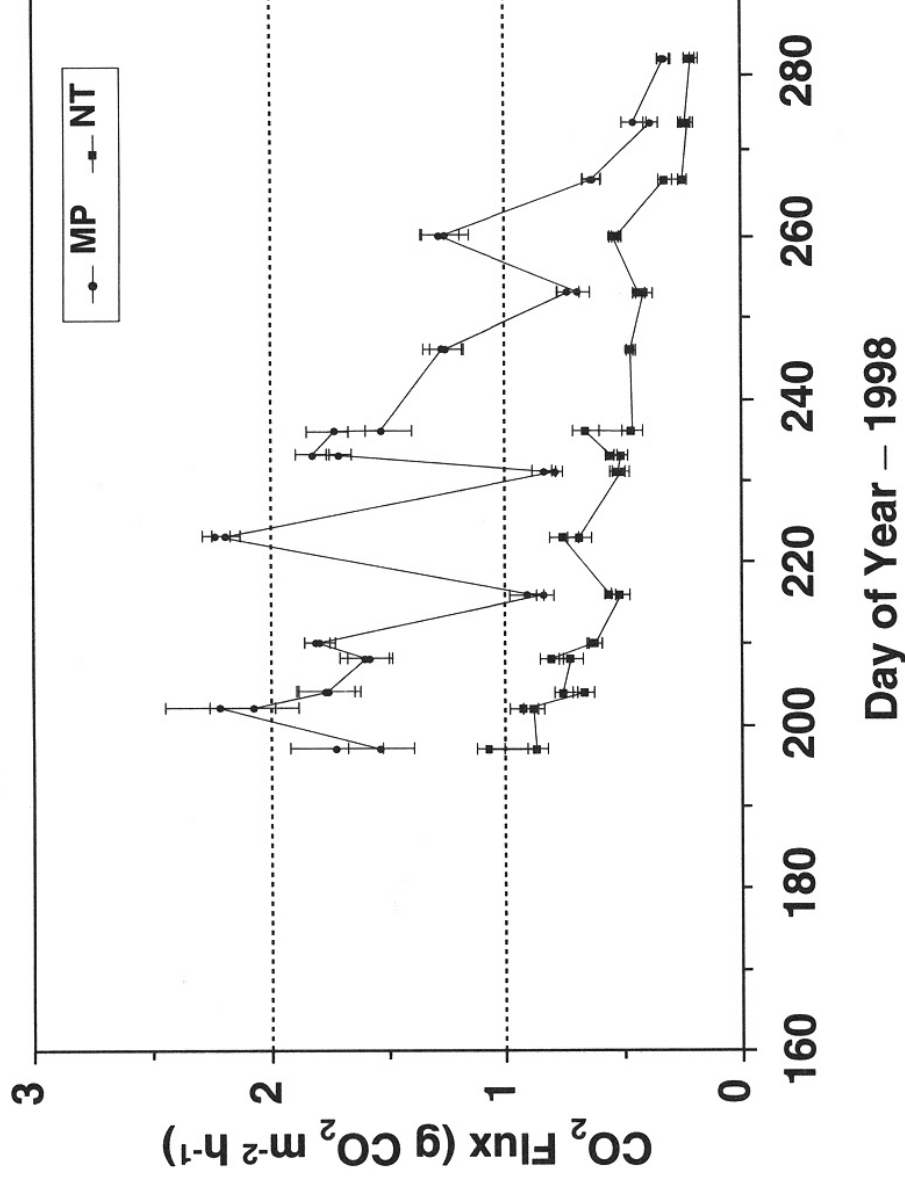




Profiles of organic C in a soil after 10 years of different tillage (DOUGLAS et al. 1986)

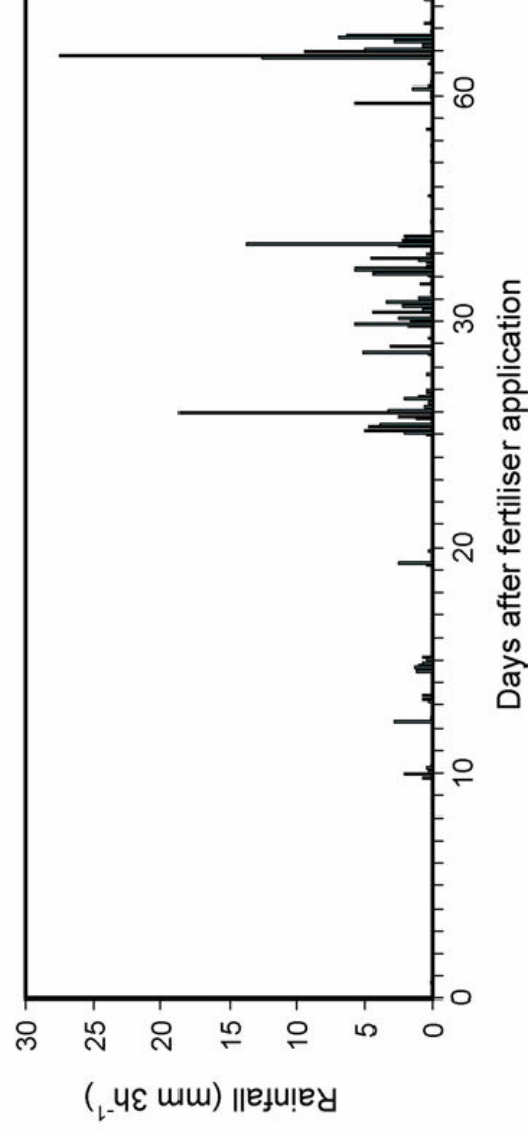
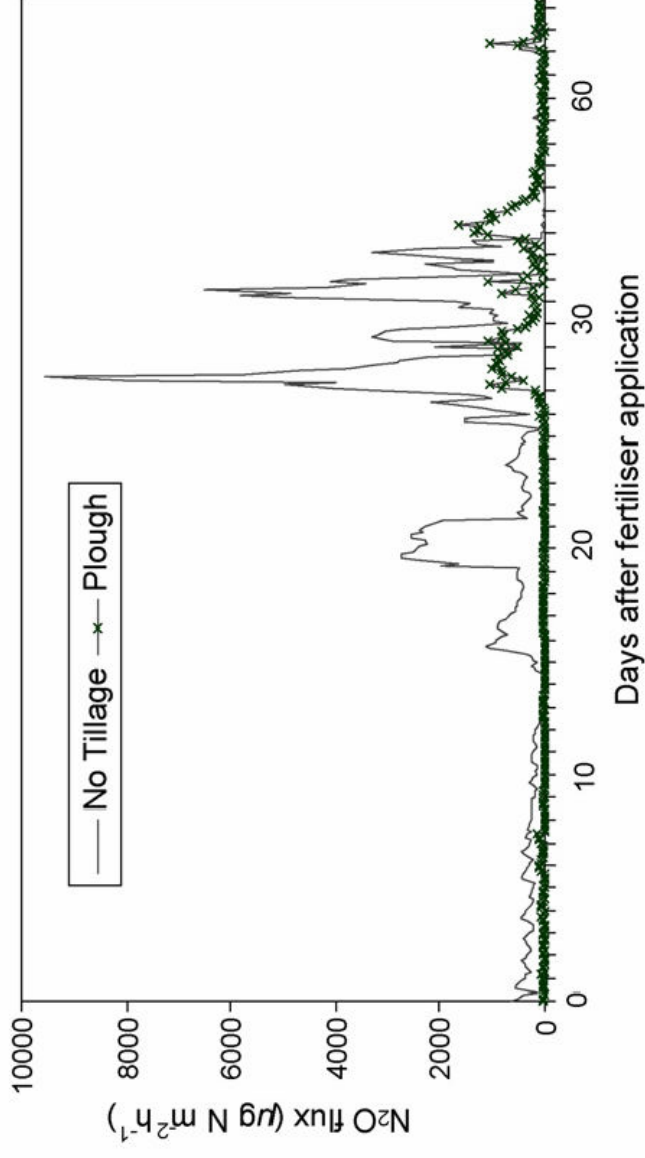


CO₂ Flux 87 Days after Tillage



The average CO₂ flux from moldboard plow and not-tilled treatments as a function of time during the 1998 season.

Nitrous oxide flux and rainfall from large plots of the no-tillage and ploughed to 20 cm treatments. Ball et al. (2008)



C-Sequestrierung in Agroforstsystemen





Agroforstwirtschaft auf Grünland

*Walnüsse/Grünland,
Unterer Lindenhof bei Reutlingen*



Agroforstwirtschaft auf Ackerland

*Walnüsse/Hartweizen,
Südfrankreich bei Montpellier*

Form der Landnutzung, in der Bäume (Sträucher) auf derselben Fläche angepflanzt werden, auf der auch ein- oder mehrjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen kultiviert werden.

Umwelt- und Ressourcenschutz:

- Verminderung von
 - Wind- und Wassererosion
 - unerwünschtem Stoffausttrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen



Foto: Unterseher,



Gesellschaft:

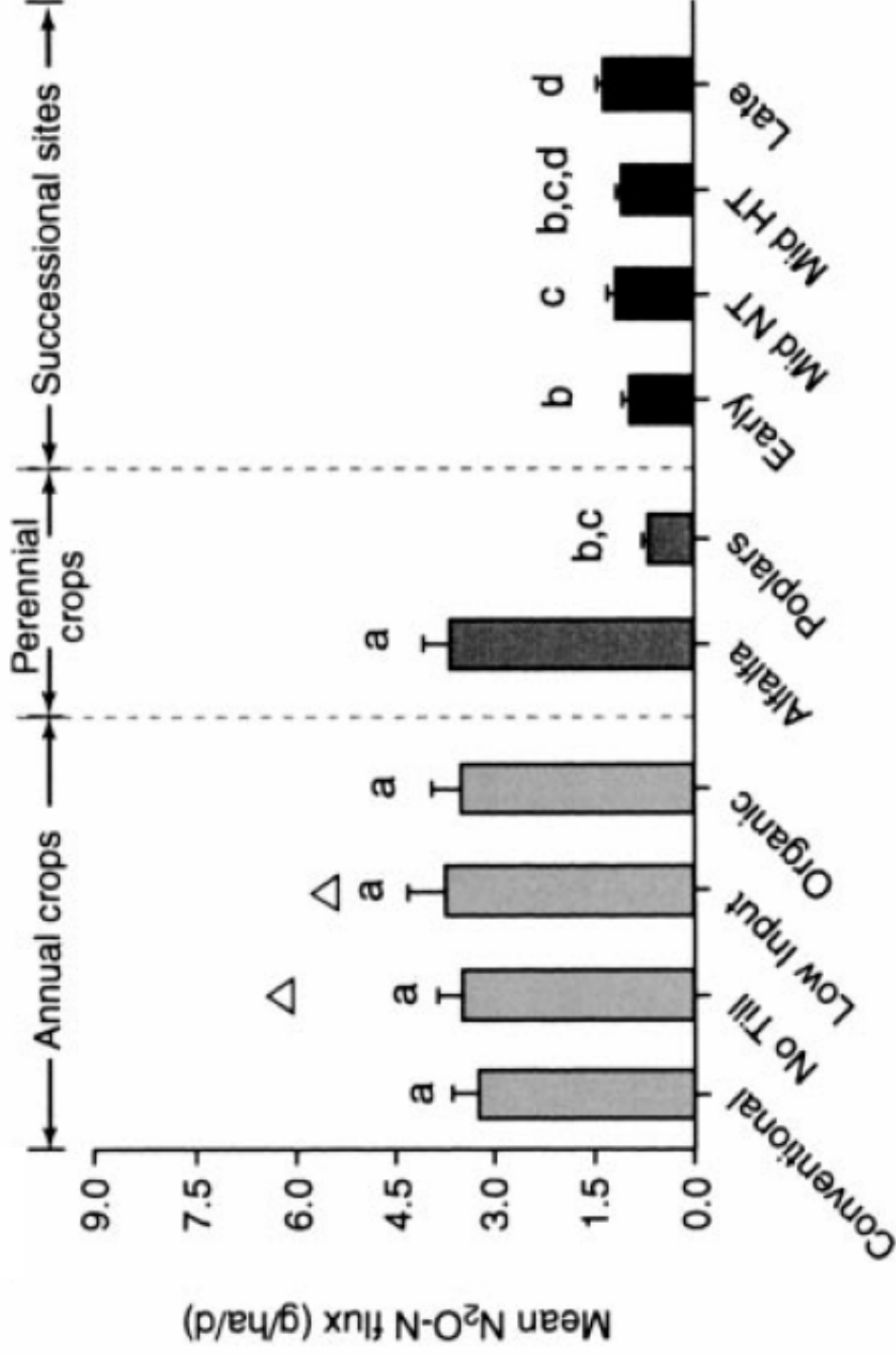
- lokale Klimaregulierung
- Schaffung von attraktivem Erholungsraum



N₂O production in annual and perennial cropping systems and unmanaged systems



Robertson et al. (2000): Science 289, 1922-1925.





Robertson et al. (2000): Science 289, 1922-1925.

Units are CO₂ equivalents (g m⁻² year⁻¹)

Ecosystem management	CO ₂					N ₂ O	CH ₄	Net GWP
	Soil C	N fertilizer	Lime	Fuel				
Annual crops (corn-soybean-wheat rotation)								
Conventional tillage	0	27	23	16	52	-4	114	
No till	-110	27	34	12	56	-5	14	
Low input with legume cover	-40	9	19	20	60	-5	63	
Organic with legume cover	-29	0	0	19	56	-5	41	
Perennial crops								
Alfalfa	-161	0	80	8	59	-6	-20	
Poplar	-117	5	0	2	10	-5	-105	
Successional communities								
Early successional	-220	0	0	0	15	-6	-211	
Midsuccessional (HT)*	-32	0	0	0	16	-15	-31	
Midsuccessional (NT)*	0	0	0	0	18	-17	1	
Late successional forest	0	0	0	0	21	-25	-4	

*HT, historically tilled; NT, never tilled.



Estimates on the extent of agroforestry practices in the world and their carbon-sequestration potentials. Nair et al. (2008)



Region/practice	Estimated area (million ha)	Potential for C sequestration (Pg C y ⁻¹ ; sum of above- and below-ground storage)	Source
Africa, Asia, and the Americas: silvopastoral, agrosilvopastoral, and agrosilvopastoral.	585–1215	1.1–2.2	Dixon (1995)

20 % of the arable area (1,534 million ha)

15 % of the pasture lands (3,442 million ha)

$1534 \times 0.20 + 3442 \times 0.15 = 823$ million ha

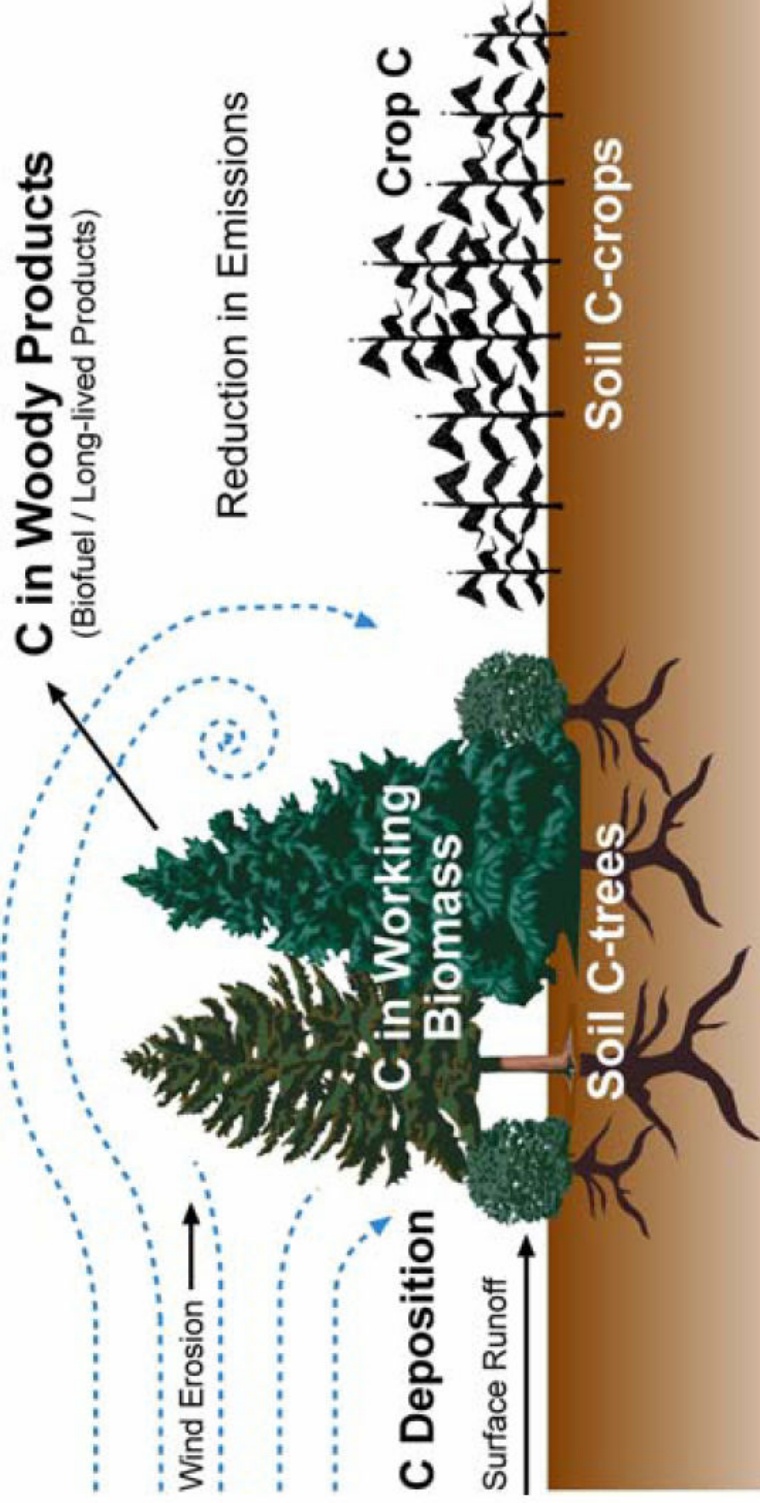


Comparison of CO₂ sequestered under two management options

Schoeneberger (2008): Agroforest Syst.



Practice	Years	C t ha ⁻¹ yr ⁻¹	CO ₂ t ha ⁻¹ yr ⁻¹
Cropland in no-till	1 – 10	0.32	1.17
	11 – 20	0.35	1.28
	21 – 30	0.18	0.66
	31 – 40	0.09	0.33
	41 – 50	0.05	0.18
Cropland in windbreaks	1 – 10	0.64	2.36
	11 – 20	2.44	8.99
	21 – 30	4.69	17.23
	31 – 40	2.54	9.34
	41 – 50	2.95	10.84





C-Akkumulation im Rohboden (in %) einer Alley-Cropping-Versuchsfläche nach 9 Jahren (n = 17), Freese 2007



Tiefe (cm)	1997	2005		
		Baumstreifen	Baumstreifen / Feld	Feld
0 - 10	0,45	1,55	1,13	1,04
10 - 30		0,85	1,03	0,99

Verdopplung bis Verdreifachung des C-Gehaltes im Boden



Humusgehalte (%) in Abhängigkeit vom Tierbesatz

Bodenschicht 0 – 20 cm (WEIß 1990), n = 337

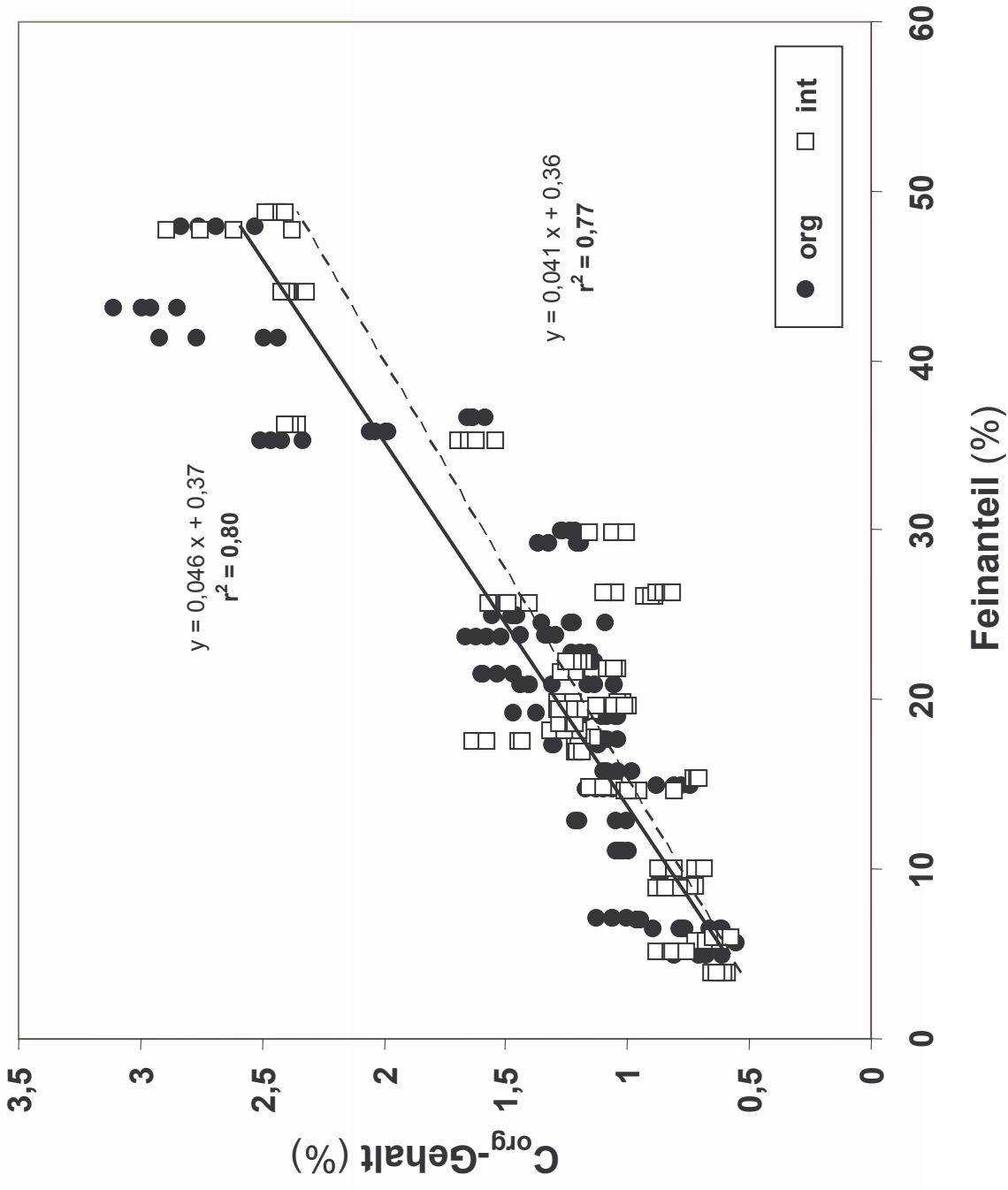


Tierbesatz (GV ha ⁻¹)					
	0	0,1 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,9	2
Ökol. Landbau	2,36	2,88	2,90	3,10	3,43
Konv. Landbau	2,65	2,50	2,76	2,89	2,98
Differenz	- 0,29	+ 0,38	+ 0,14	+ 0,21	+ 0,45



Abhängigkeit des C_{org} -Gehaltes von der Bodentextur

(Hoyer & Hülsbergen 2007)





Potentiale der C-Bindung in Böden

zusammengestellt anhand eigener Messungen und der Literatur

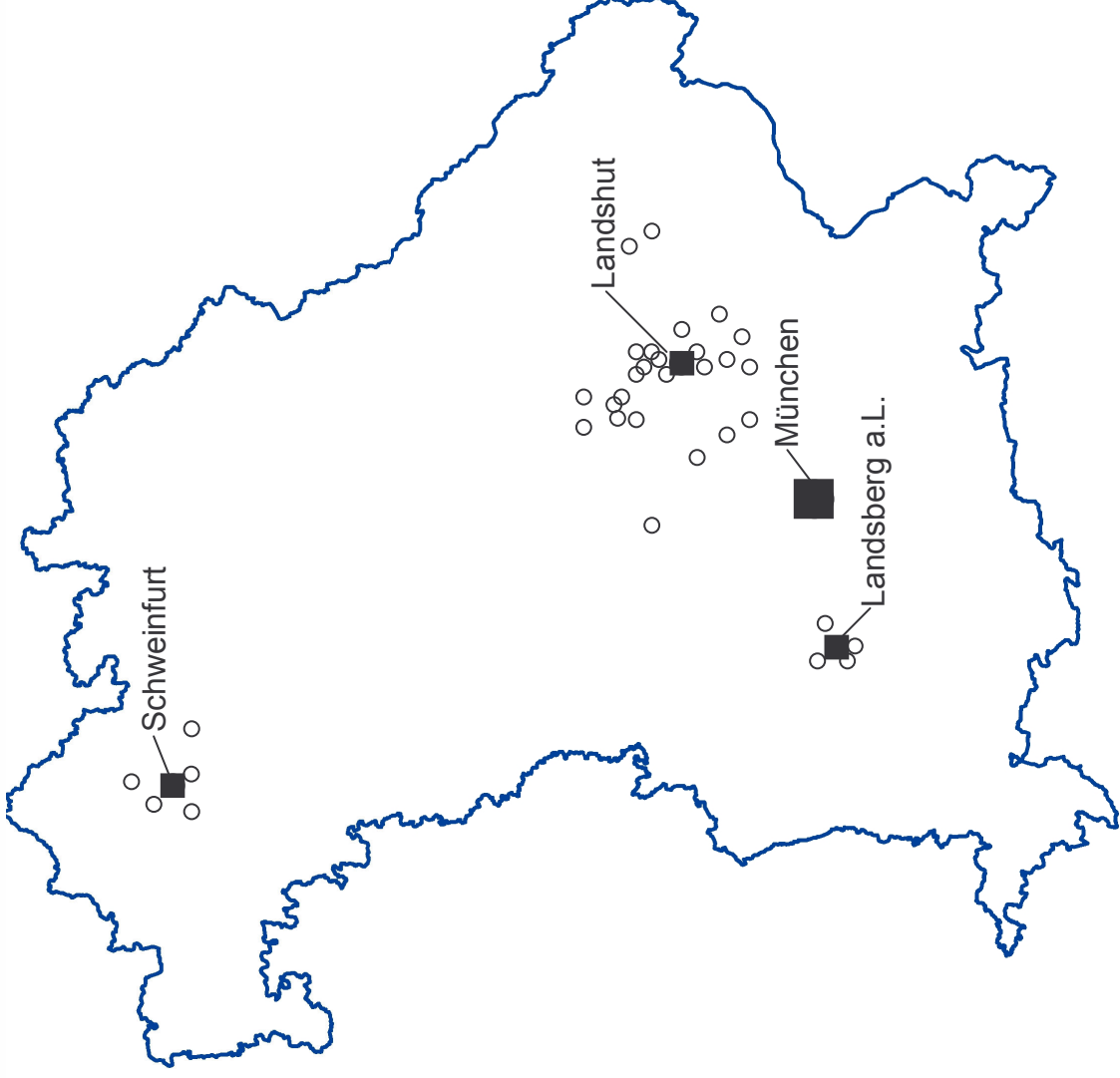


Maßnahme	C-Bindung t ha ⁻¹ a ⁻¹
Umwandlung von Grünland in Ackerland, Umbruch begrünter Dauerbrache	> - 1,0
Umwandlung von Ackerland in Grünland, begrünte Dauerbrache	> 1,0
Anbau mehrjähriger Leguminosen/-Gräser	0,6 bis > 1,0
Anbau von Silomais	- 0,4 bis - 0,8
Organische Düngung (Stalldung, Gärreste, Kompost)	> 0,5
Reduzierte Bodenbearbeitung (pfluglos, Direktsaat)	0 bis 0,25

- **begrenzte C-Speicherkapazität der Böden**
abhängig vom Ausgangsgehalt, zeitlich begrenzt, schwierig nachweisbar
- **realistisch sind C-Akkumulationsraten**
bis ca. $500 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, das entspricht ca. $1,5$ bis $2,0 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$
- **Tendenziell höhere C-Gehalte im Ökologischen Landbau**
+ $0,2$ bis $0,3 \%$ C, das entspricht ca. 10 bis 15 t C ha^{-1} bzw. 35 bis $50 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$

Emissionsinventur von Betrieben im Tertiärhügelland

(Küstermann, Prem, Engelmann & Hülsbergen 2007)





Analyse betrieblicher Kohlenstoffkreisläufe

(Küstermann, Kainz & Hülshagen 2007)



Inputs

feed, straw 1587
 animals 33

internal farm cycling

yield 2803
 conservation loss 200

assimilation 5295

plant residues 1965

straw, green manure 327

feed, straw 4081

market products 342
 conservation loss 200

market products 127
 CO₂-enteric ferm. 1300
 CH₄-enteric ferm. 109

rot loss 781
 CH₄-manure 3
 organic manure 500
 CO₂-soil loss 3293

organic manure 1171

seed 34

Soil
 Δ SOC 204

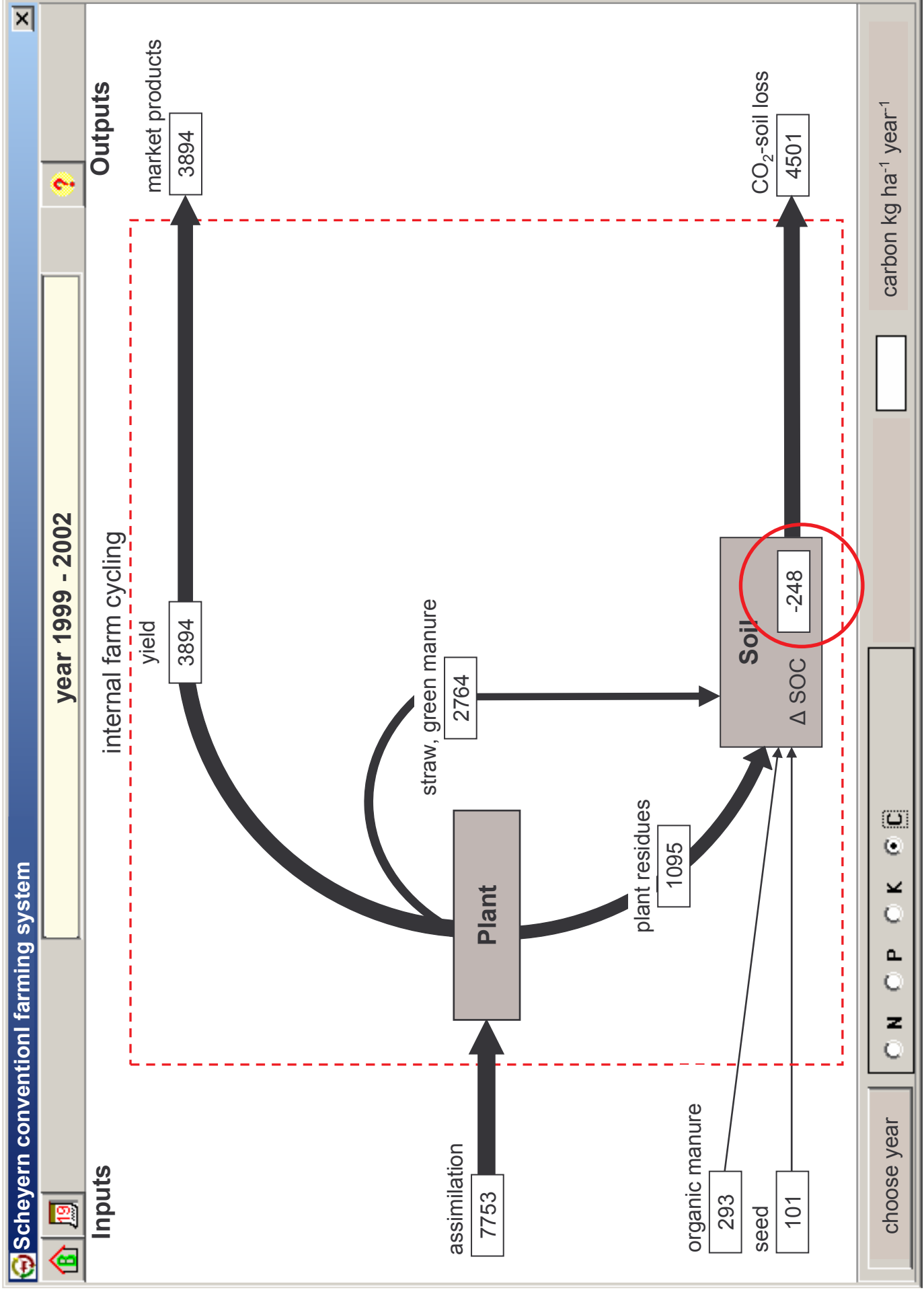
choose year

N P K C

carbon kg ha⁻¹ year⁻¹

Outputs

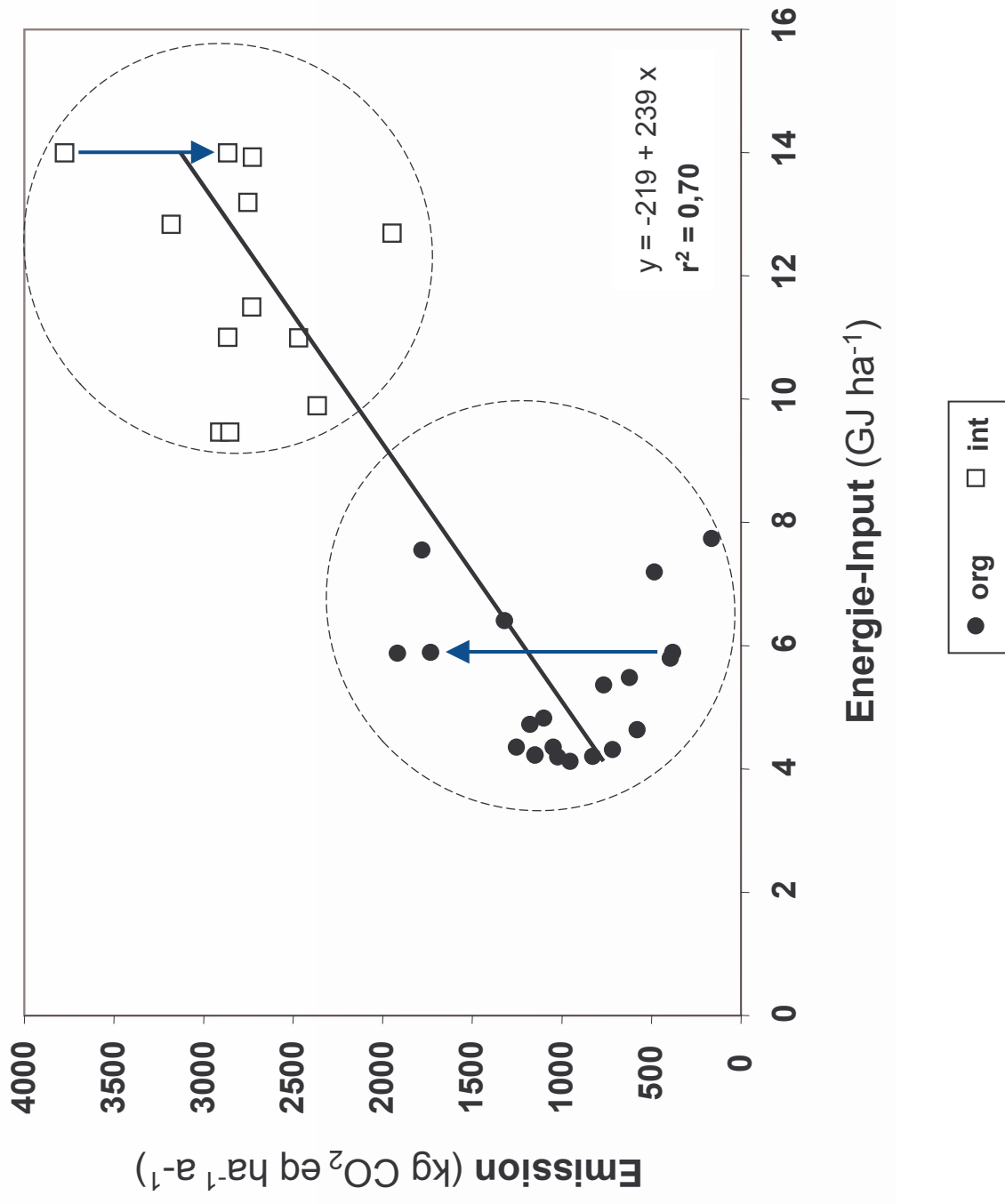






Energieinput und Emission von Treibhausgasen

(Küstermann & Hülsbergen 2007)





Emission von Treibhausgasen je Produkteinheit

(Küstermann & Hülsbergen 2007)

