

Bodenschutz und Klimawandel

– Böden als Kohlenstoffsенке und -quelle





- **Humus- und C_{org} -Gehalte von Ackerböden**
Räumliche Variabilität, Tiefenverteilung, Humusdynamik
- **Bedeutung und Funktionen des Humus**
Beziehungen zwischen C_{org} und Bodeneigenschaften
- **Kohlenstoffspeicherung in Böden und Klimaschutz**
Möglichkeiten und Grenzen der C-Sequestrierung
- **Schlussfolgerungen**



Definition des Begriffes „Humus“:

„Humus ist die in oder auf dem Boden befindliche abgestorbene organische Substanz, die einem stetigen Ab-, Um- und Aufbauprozess unterworfen ist.“

Bei 58 % C im Humus:

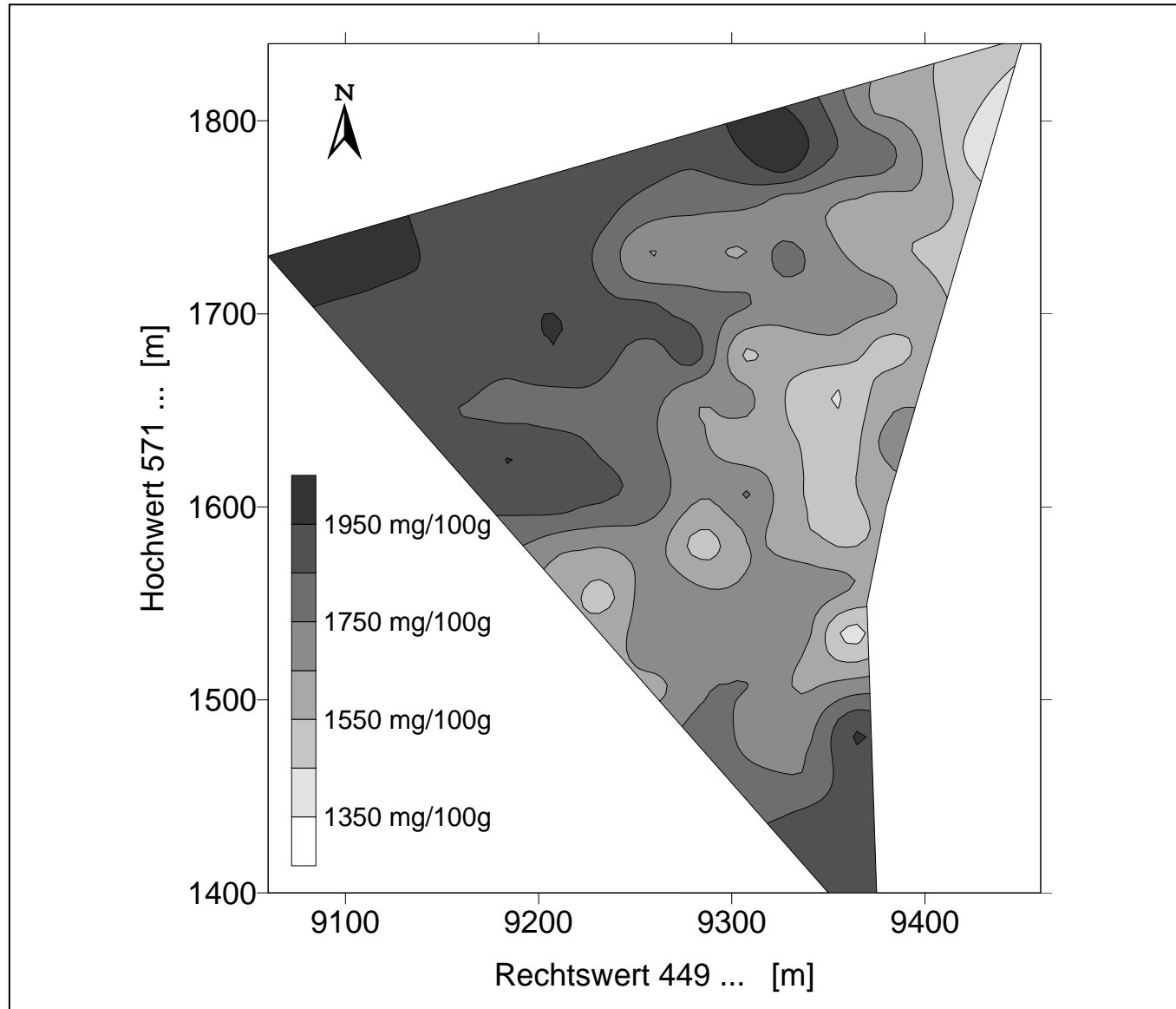
1 % C entspricht 1,72 % Humus,

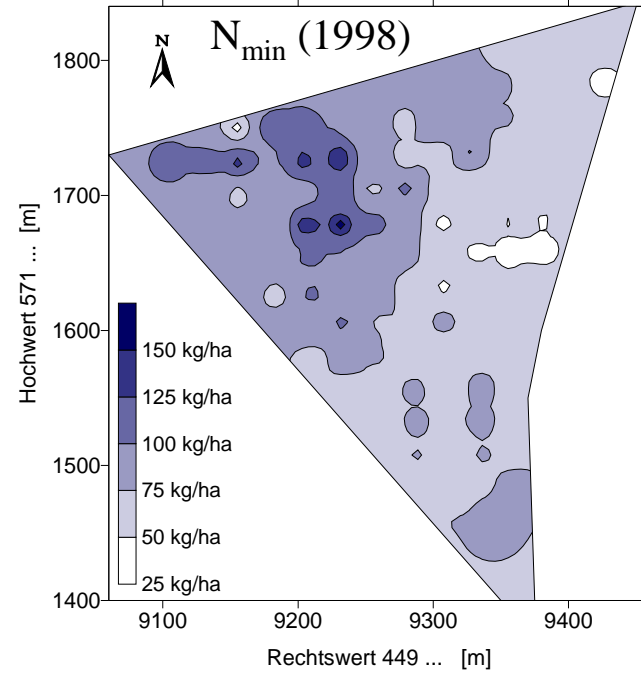
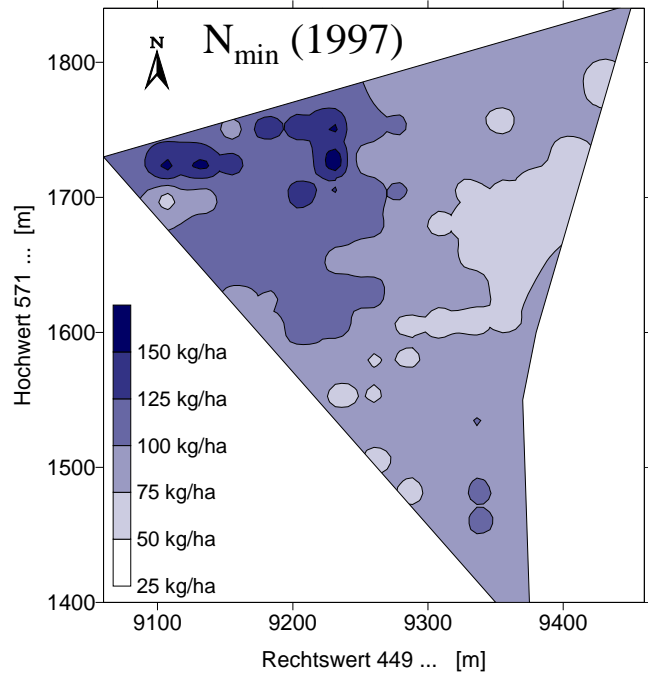
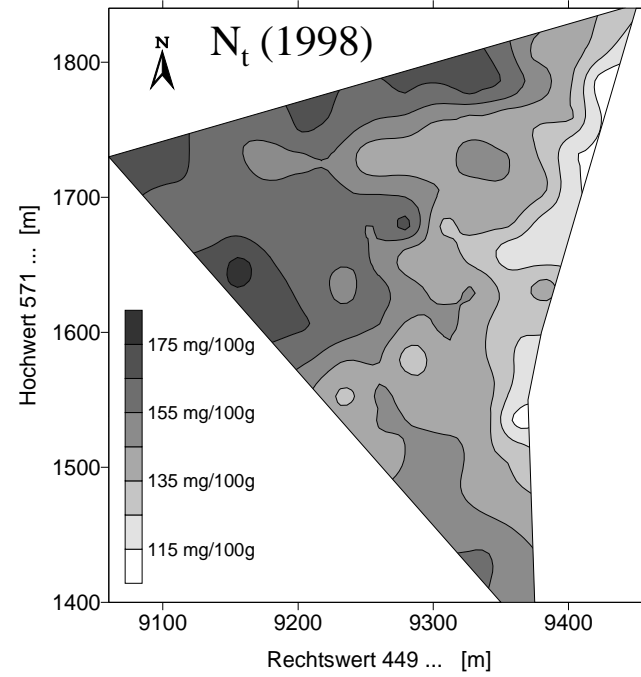
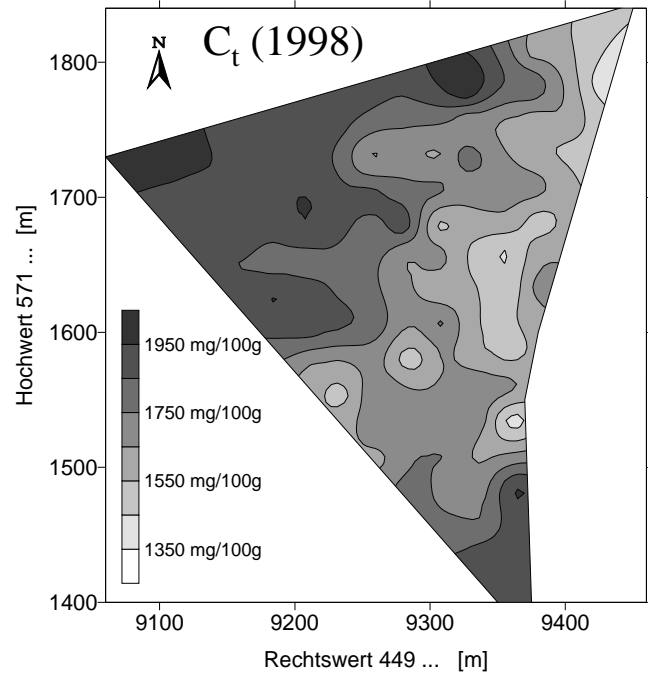
1 % C entspricht $\approx 45 \text{ t C ha}^{-1} = 78 \text{ t Humus ha}^{-1}$

Bei einem C : N - Verhältnis von $10 : 1 = 4500 \text{ kg N ha}^{-1}$



Räumliche Variabilität der C_{org} -Gehalte auf einem Ackerschlag (Hülsbergen 2003)

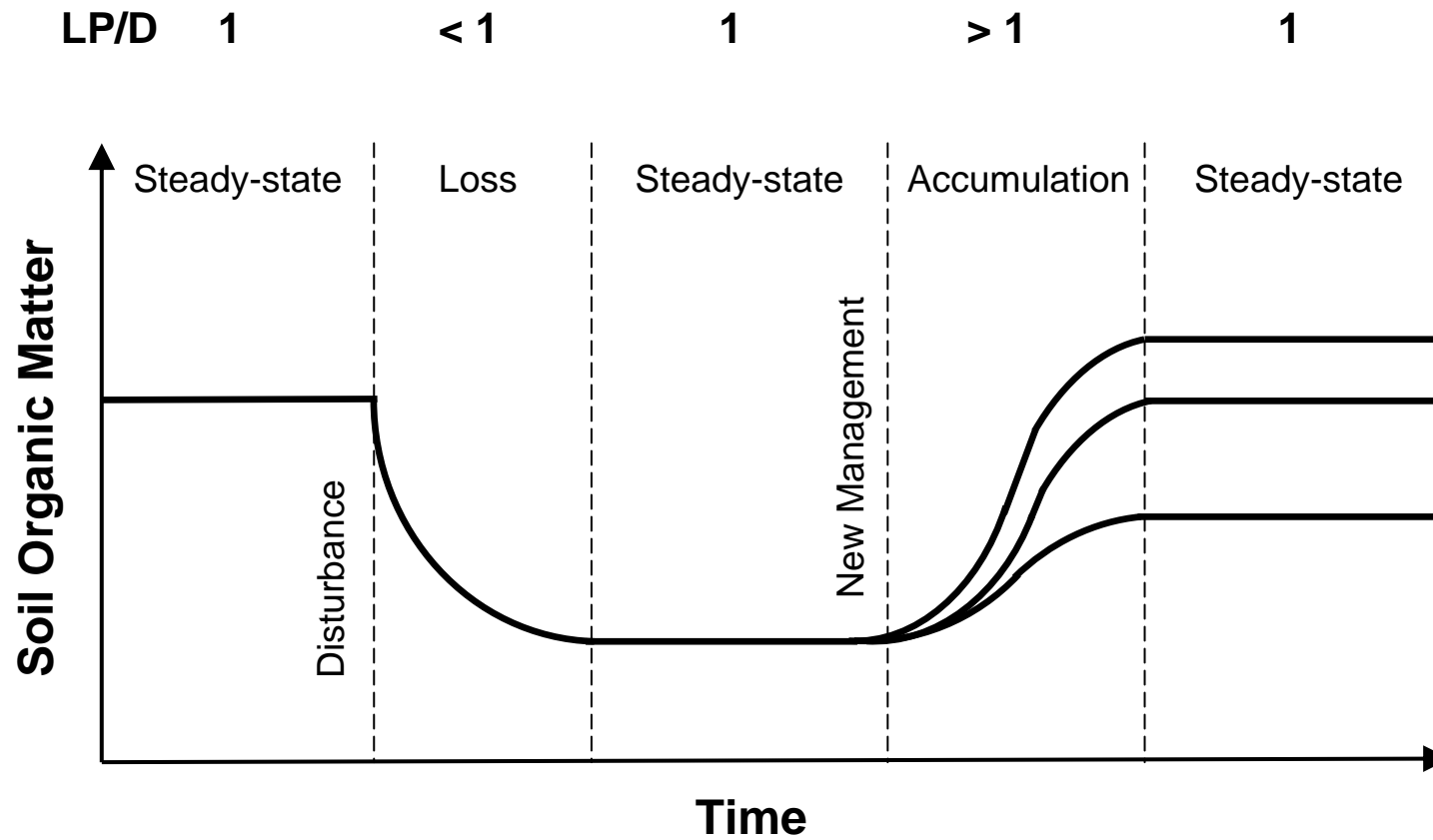






Entwicklung von Humusgehalten

(nach Johnson et al. 1995)

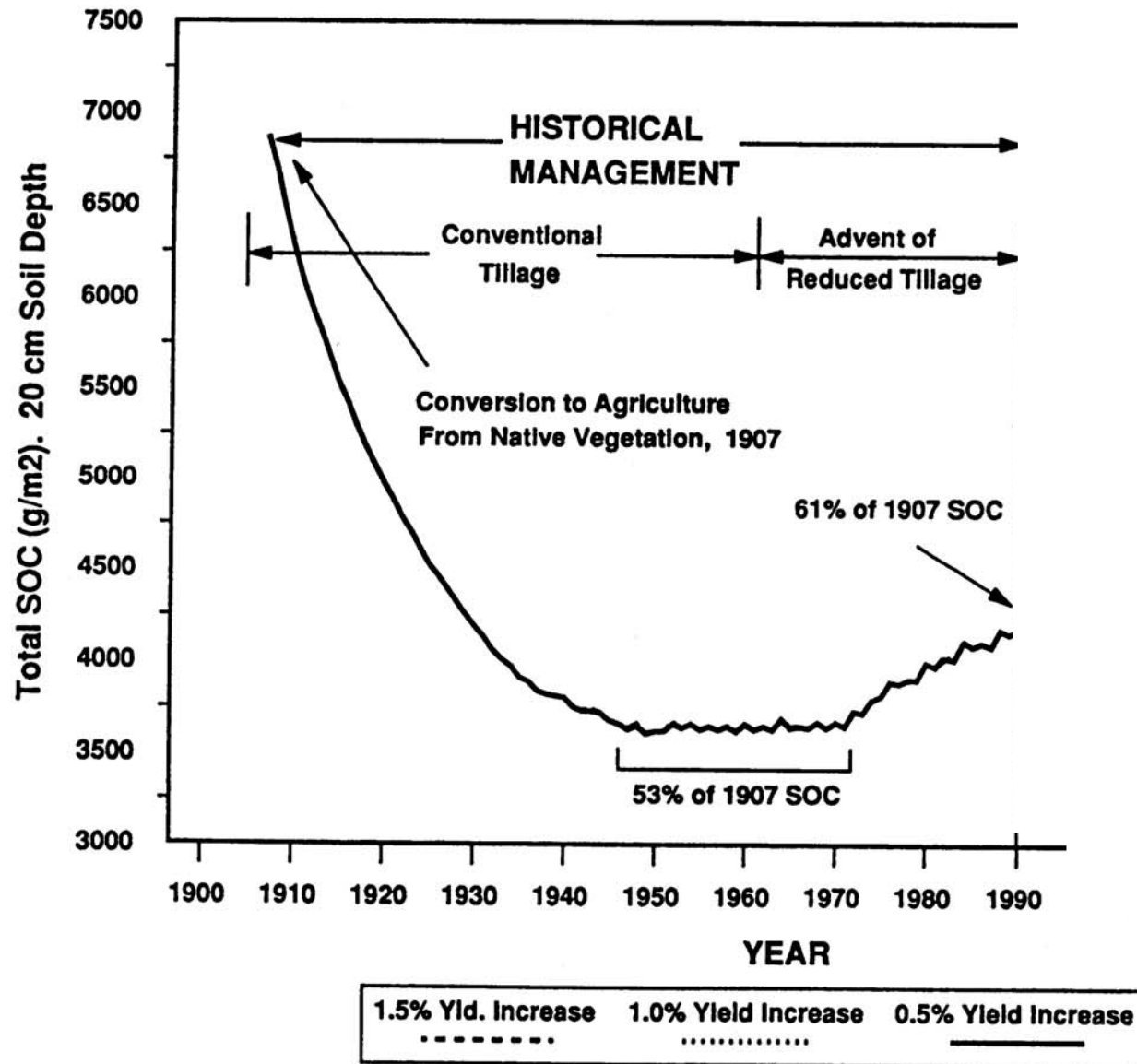


LP = Litter production

D = Decomposition

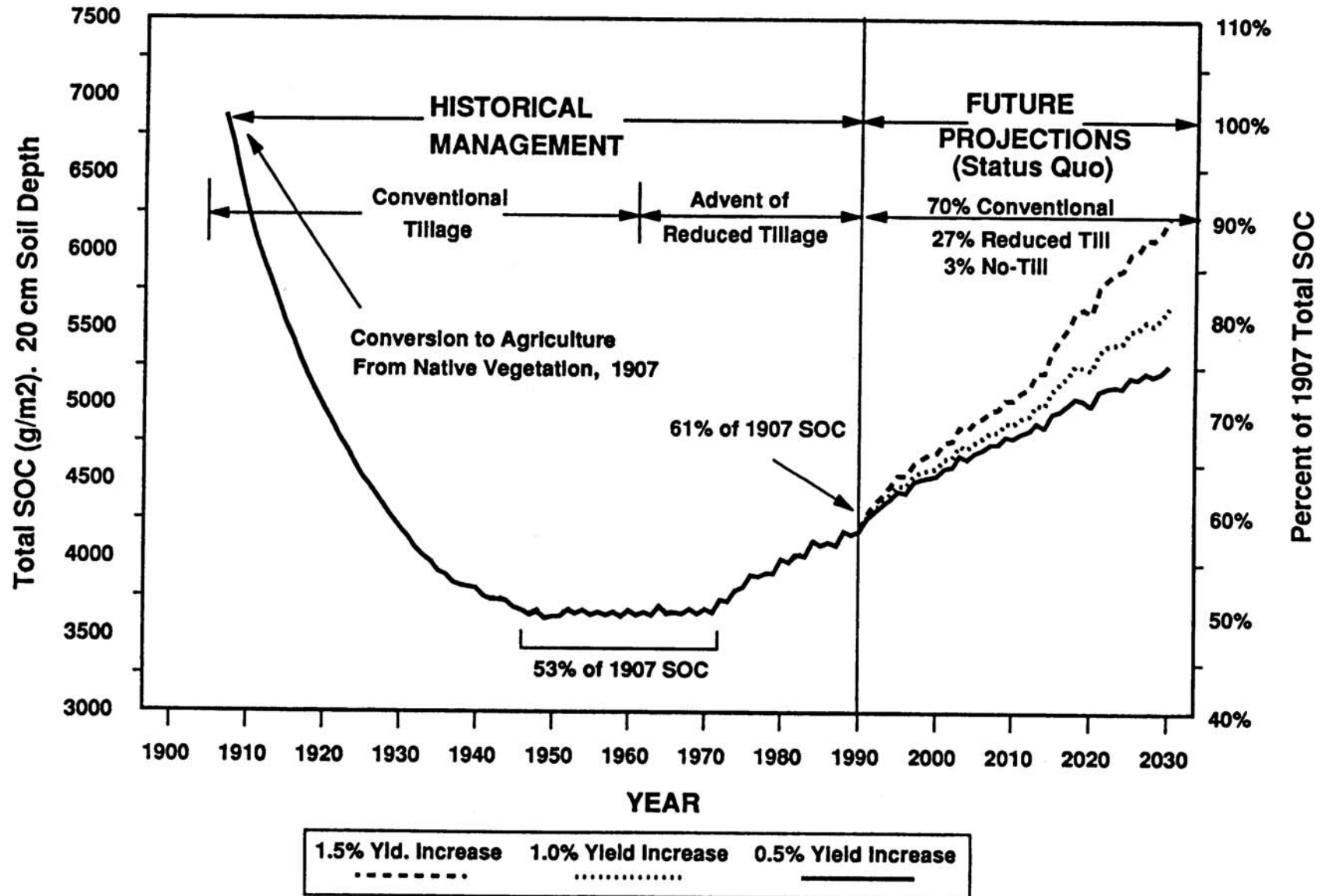


Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S. scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S. scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





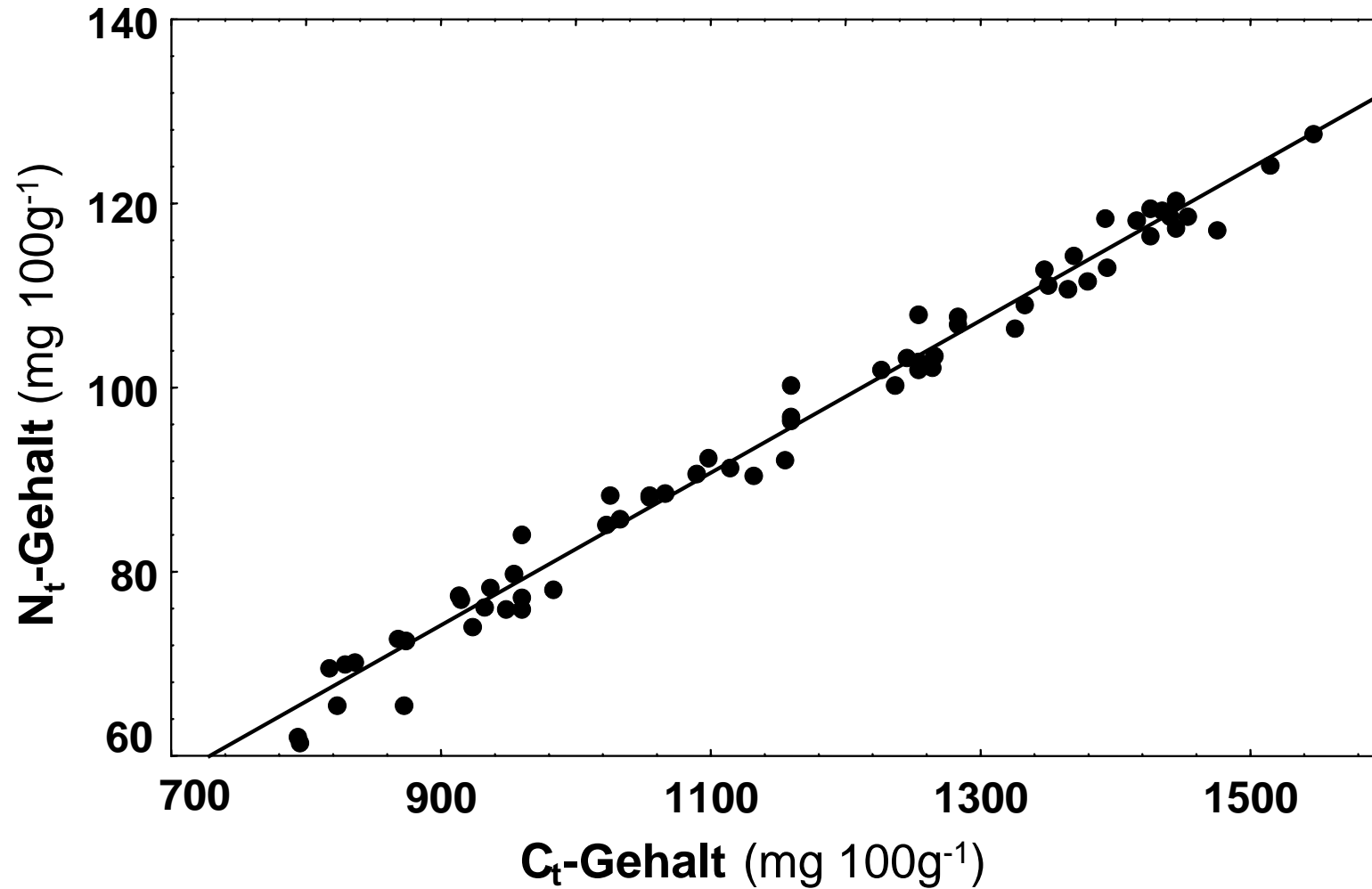
➤ **Ackerbauliche und ökologische Funktionen:**

- **Speicher und Transformator von Nährstoffen (N, P, S)**
wichtiger Pool im N-Kreislauf mit 95 bis 98 % des Boden-N
- **Förderung der bodenbiologischen Aktivität**, mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch Bodenfauna; phytosanitäre Wirkungen
- **Aufbau eines günstigen Bodengefüges**, Aggregatstabilität, Wasserspeicherung, Infiltrationsrate, Durchwurzelbarkeit
- **Senke für CO₂**, C-Speicherung
Beeinflussung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre (Klimarelevanz)



Beziehungen zwischen C_t - und N_t -Gehalten

Düngungsversuch Seehausen (Hülsbergen 2003)



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

$$B = 0,98^+$$

$$s_R = 2,3$$



Düngungsversuch Seehausen

Korrelationskoeffizienten, n = 64 (Hülsbergen 2003)



	Bodenchemische Parameter					
	C_{hwl}	N_t	N_{hwl}	NO_3-N	NH_4-N	N_{min}
C_t	0,93	0,98	0,91	0,72	n.s.	0,68

	Bodenbiologische Parameter			Bodenphysikalische Parameter		
	Katalase	C_{mik}	Regenwürmer	TRD	PV	Grob-Poren
C_t	0,83	0,66	0,37	- 0,50	0,50	0,68



Ergebnisse des DOK-Versuches, 21 Jahre Versuchsdauer

(D = biologisch-dynamisch, O = organisch-biologisch, K = konventionell)

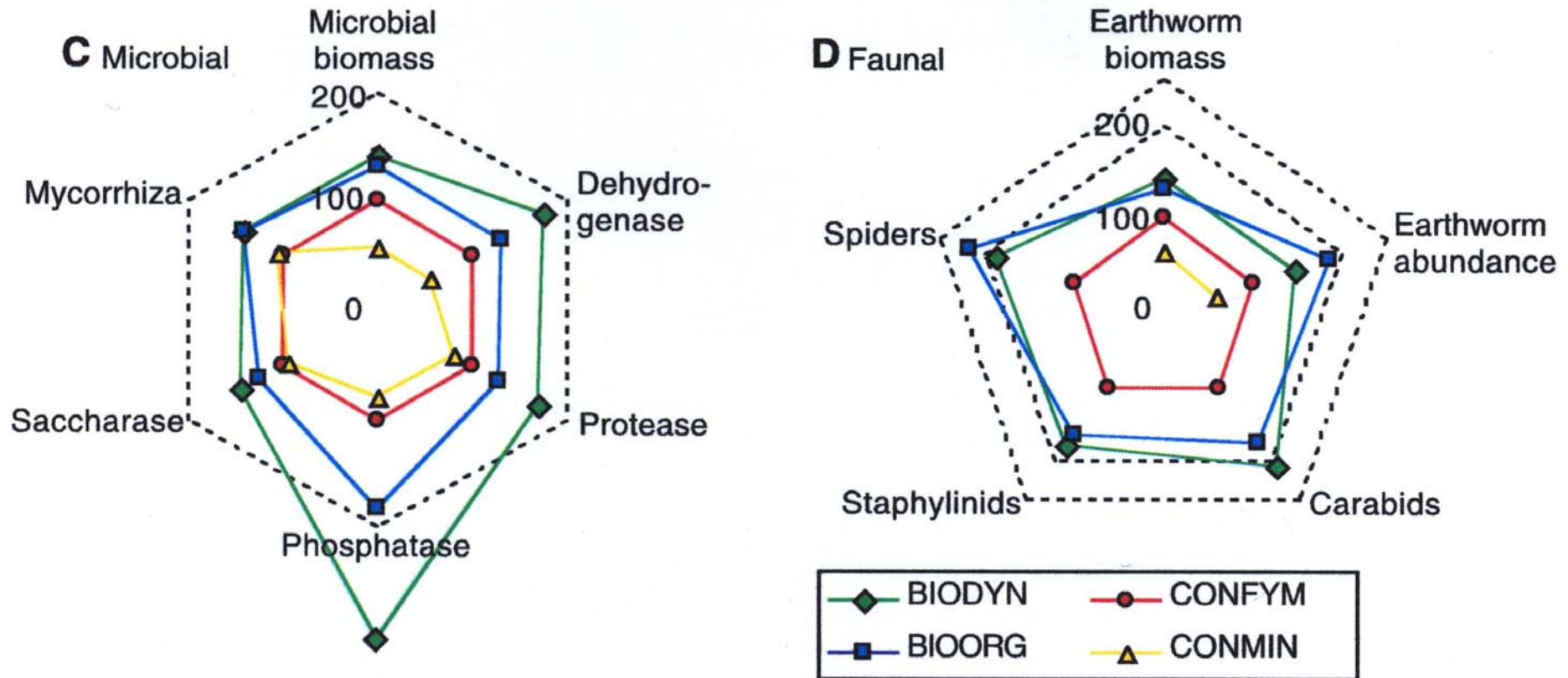


MÄDER, P., A. FLIEßBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED & U. NIGGLI (2002):
Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *SCIENCE* **296**, 1694-1697.



Soil properties in soils of the DOC farming systems

(D = Bio-Dynamisch, O = Bio-Organic, C = Conventional)



MÄDER, P., A. FLIEßBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED & U. NIGGLI (2002):
Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. SCIENCE **296**, 1694-1697.



Ergebnisse des DOK-Versuches, 21 Jahre Versuchsdauer

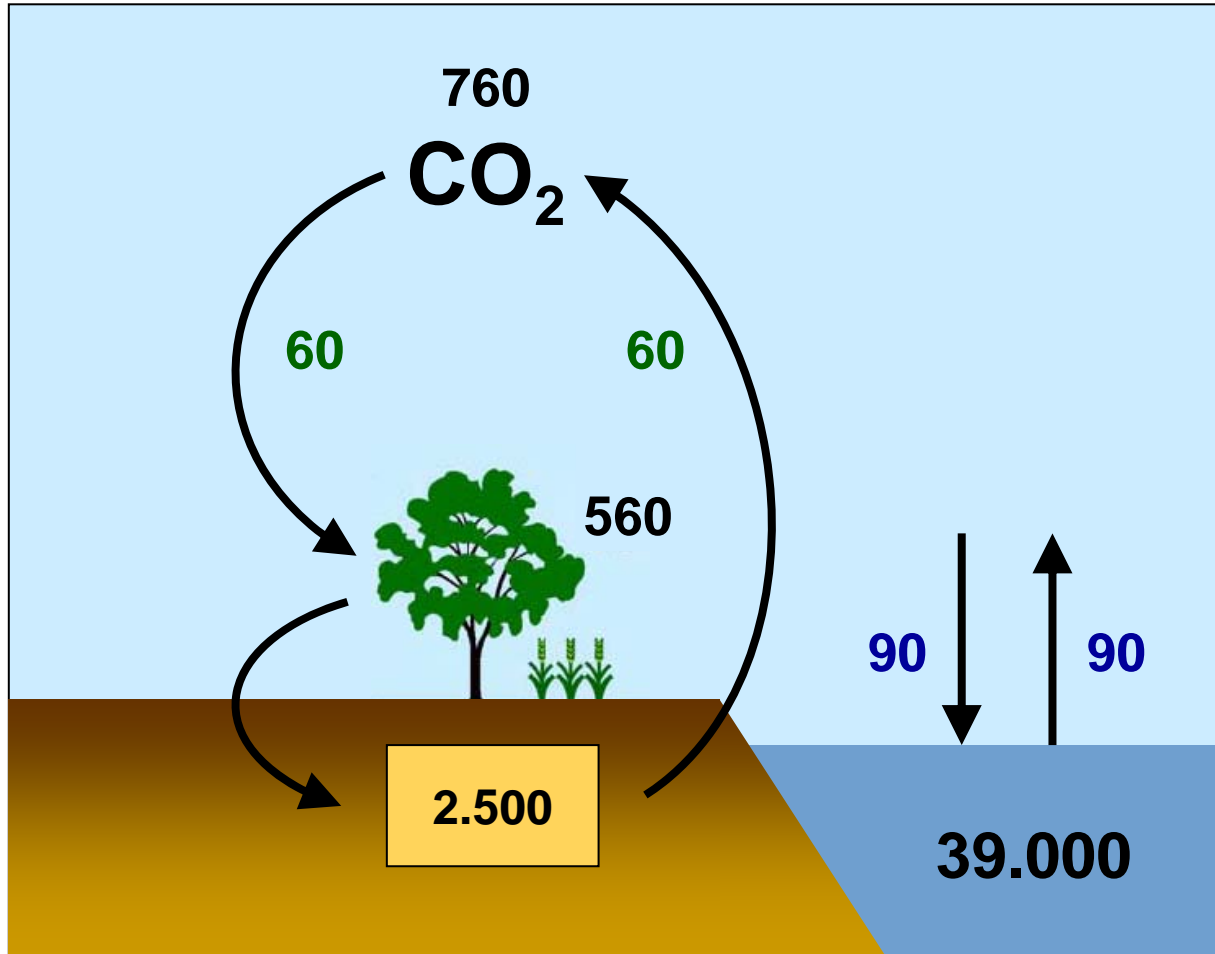
(D = biologisch-dynamisch, O = organisch-biologisch, K = konventionell)



Biodynamic (**A**) and conventional (**B**) soil surface in winter wheat plots. Earthworm casts and weed seedlings are more frequent in the biodynamic plot. Disaggregation of soil particles in the conventional plots leads to a smoother soil surface. Wheat row distance is 0.167 m.

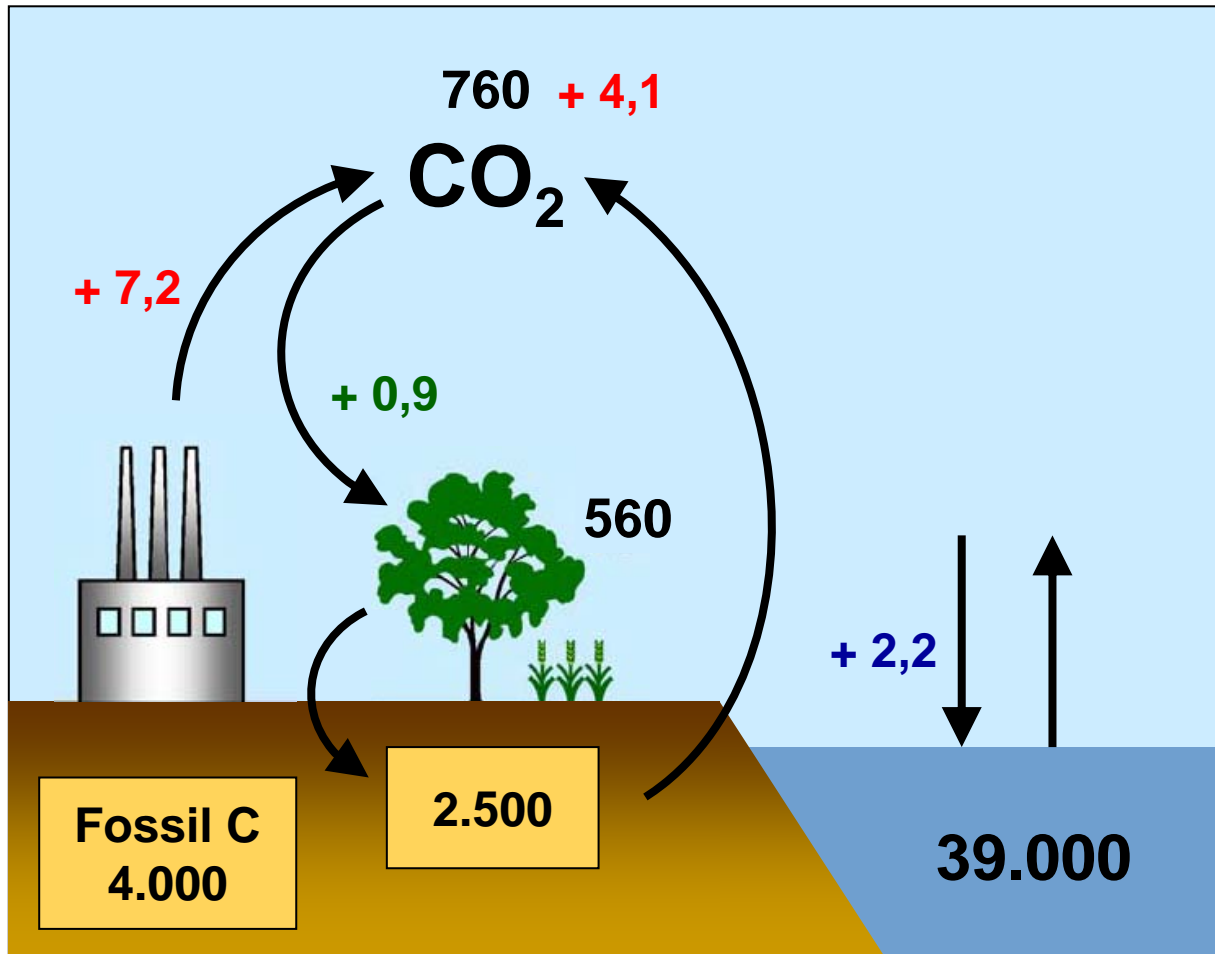


Der globale Kohlenstoffkreislauf (Mrd. t C)





Der globale Kohlenstoffkreislauf (Mrd. t C)



C-Emissionen

Welt: 7,2 Mrd. t

= 1,1 t C pro Kopf

CO₂-Emission pro Kopf

Welt: 4 t

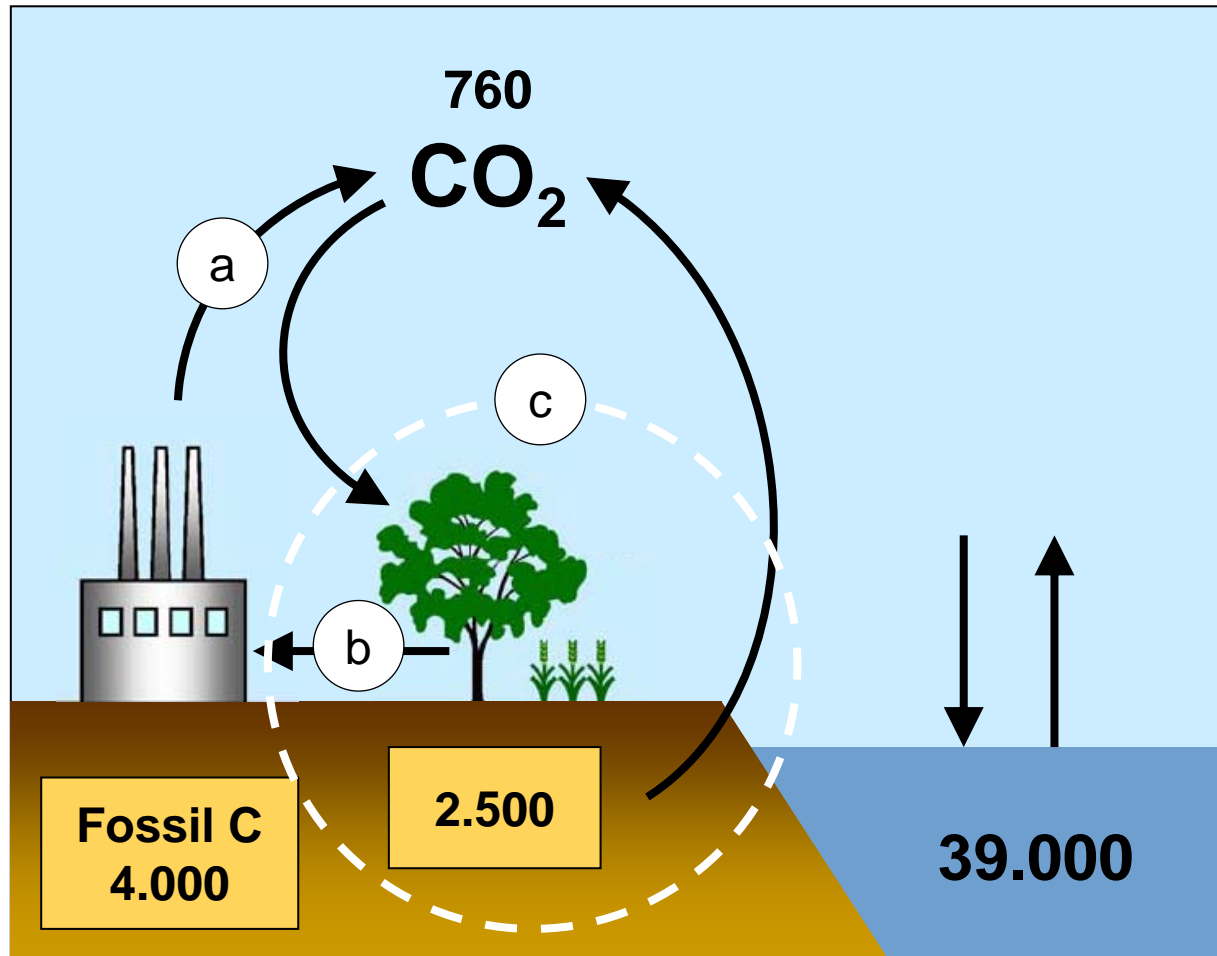
Deutschland: 10 t

USA: 20 t

Indien: 1 t



Der globale Kohlenstoffkreislauf (Mrd. t C)

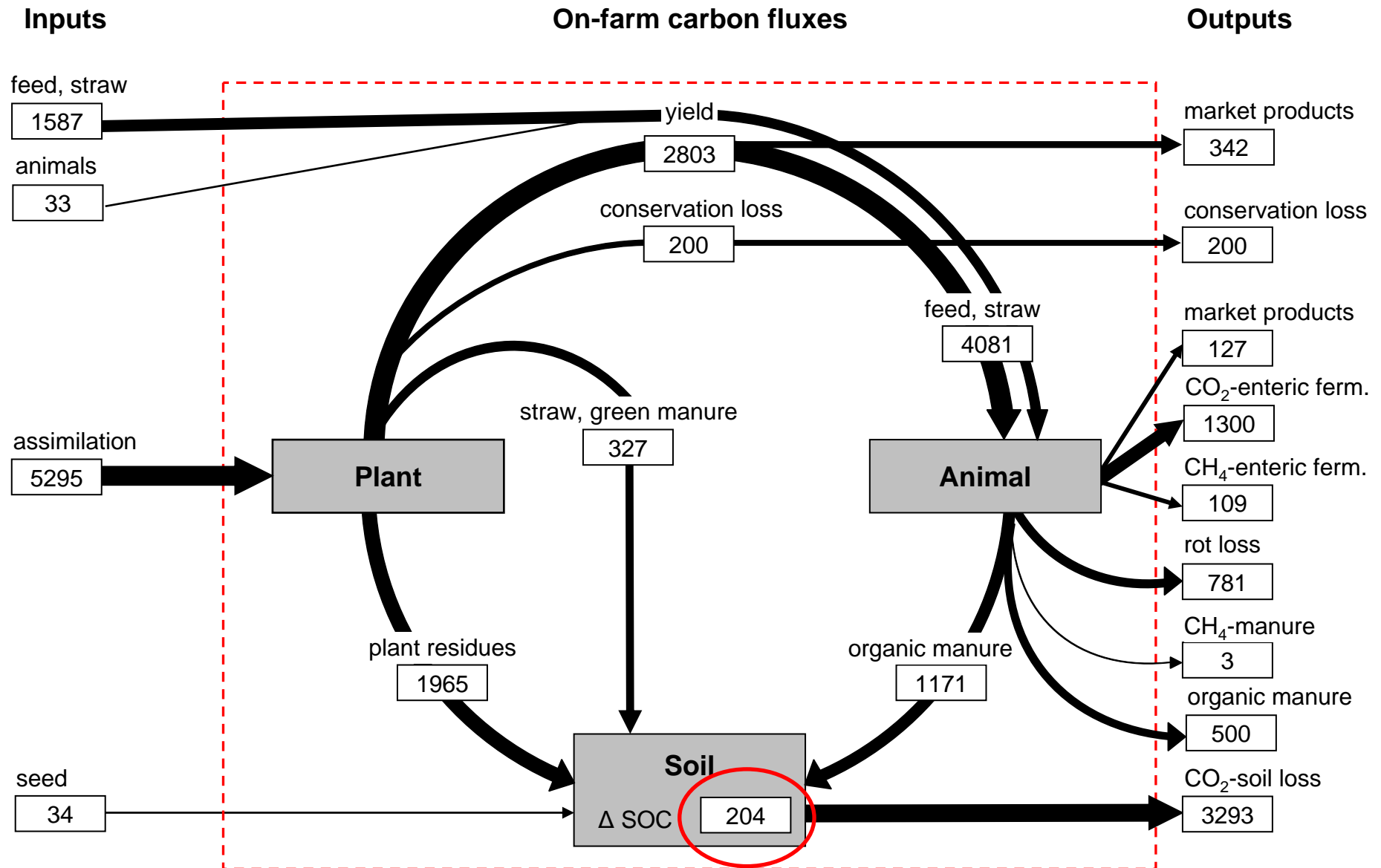


- a) Reduzierung von Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe
- b) Nutzung von photosynthetisiertem C als Bioenergieträger
- c) Erhöhung der C-Speicherung in Böden und in der Phytomasse



Carbon cycle of the organic farming system Scheyern

(kg C ha⁻¹ a⁻¹) Küstermann, Kainz & Hülsbergen (2008): Renewable Agric. and Food Systems 23, 38-52.





Carbon cycle of the conventional farming system Scheyern

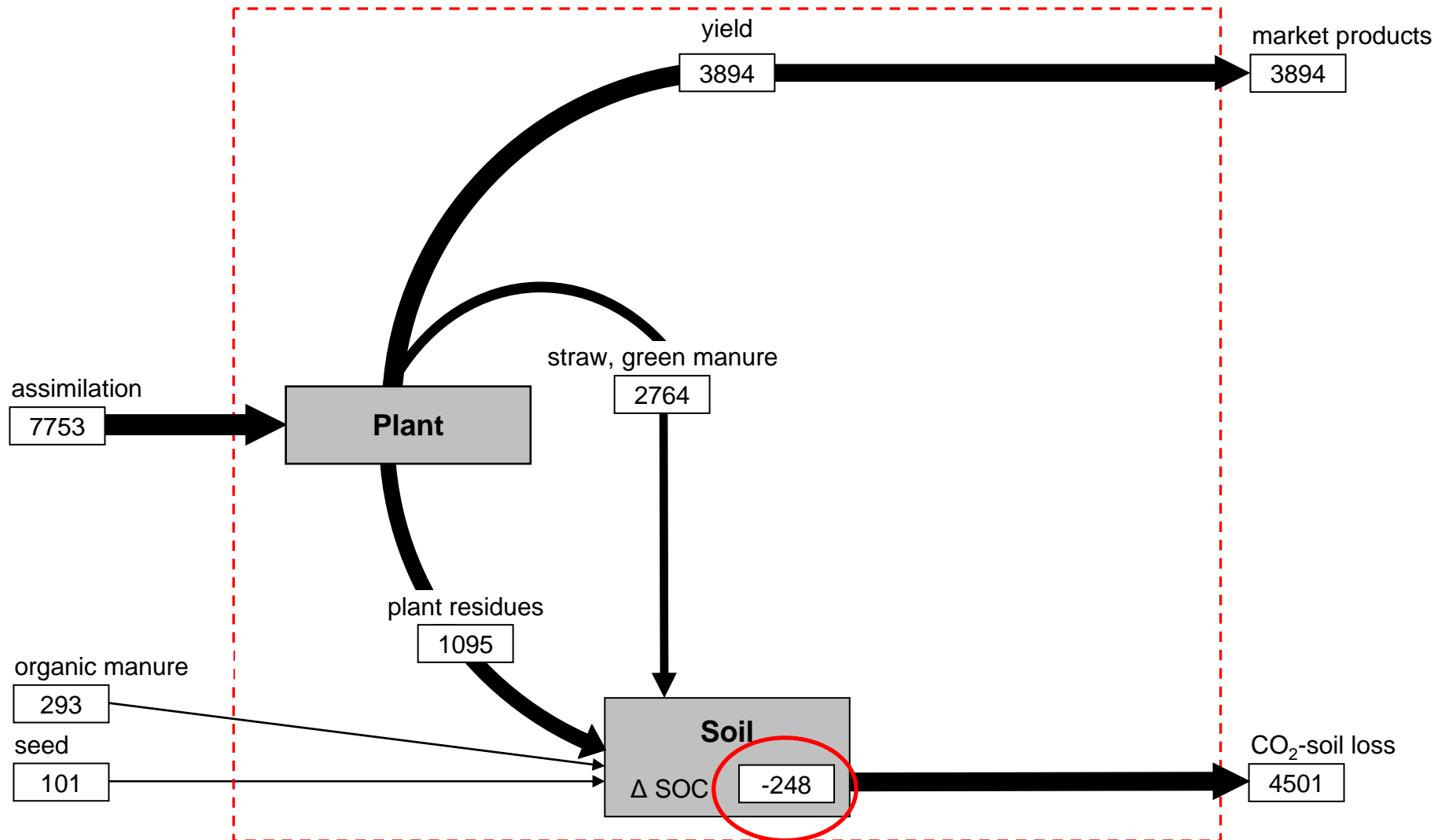
(kg C ha⁻¹ a⁻¹) Küstermann, Kainz & Hülsbergen (2008): Renewable Agric. and Food Systems 23, 38-52.



Inputs

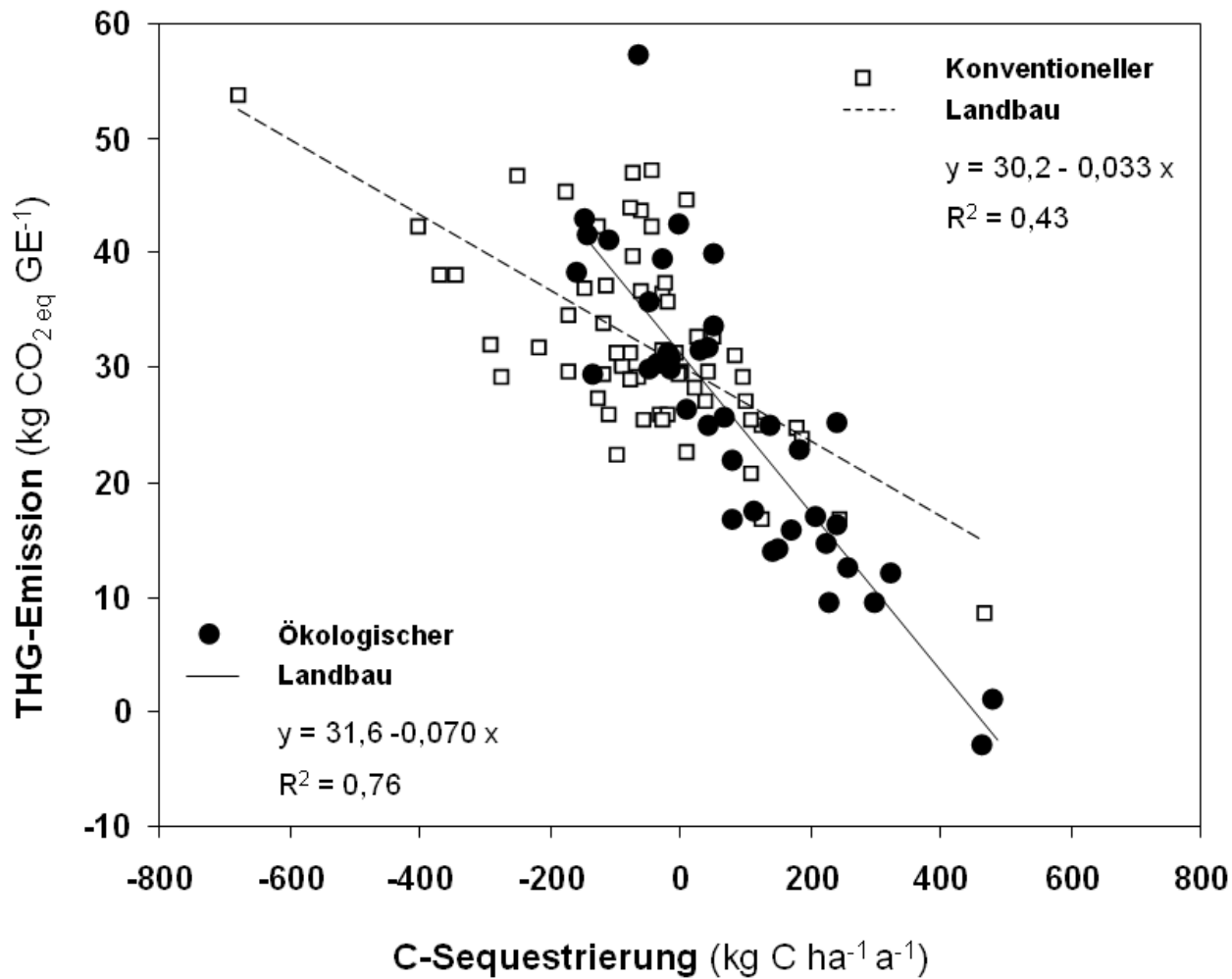
On-farm carbon fluxes

Outputs





Beziehung zwischen der C-Sequestrierung und den THG-Emissionen im Pflanzenbau, 102 Praxisbetriebe (Hülsbergen & Schmid 2010)

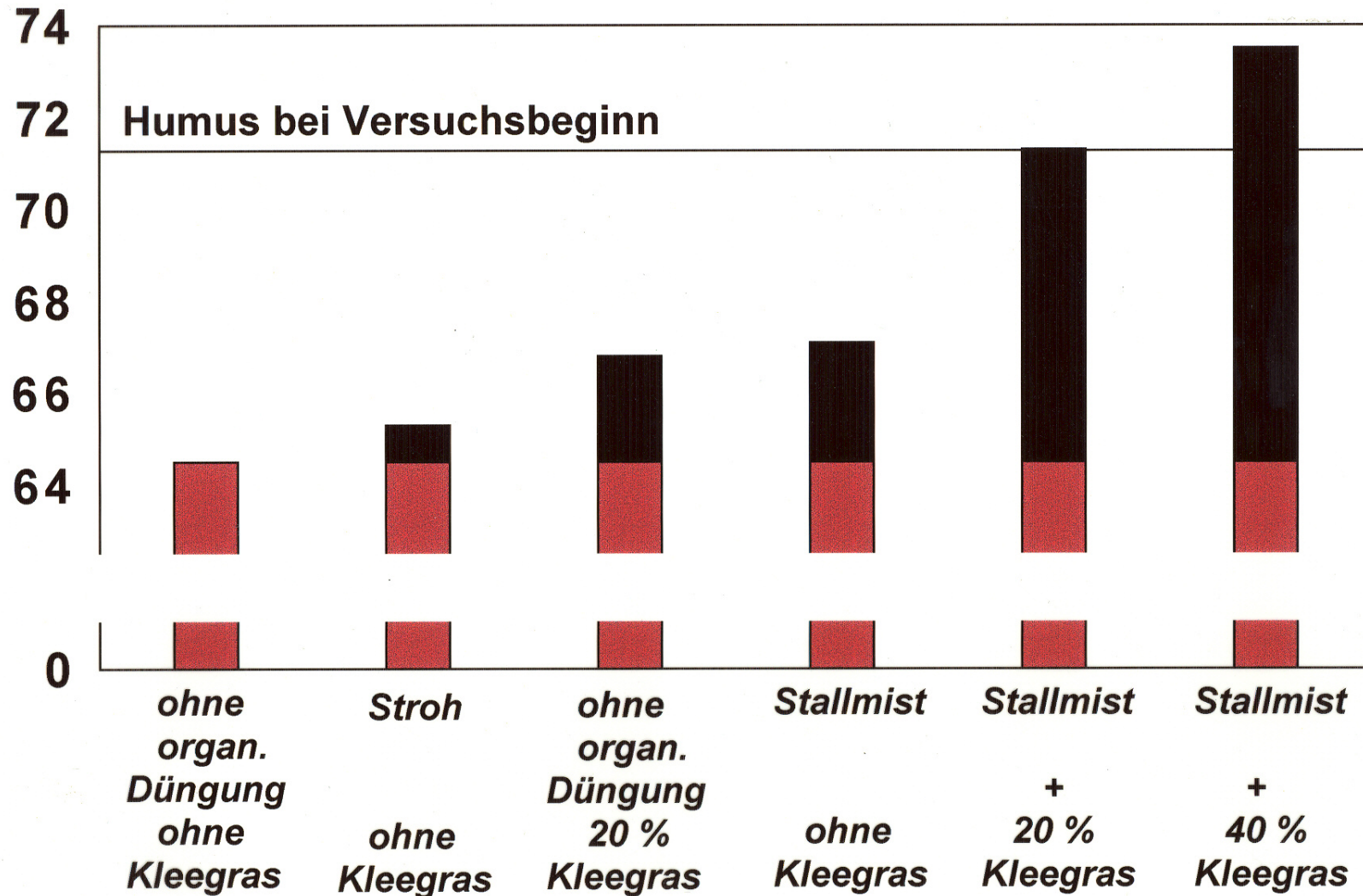




Humusmengen bei unterschiedlicher Düngung / Fruchtfolge, Dauerversuch auf sLehm, 5 Jahre nach Versuchsanlage (RAUHE 1965)



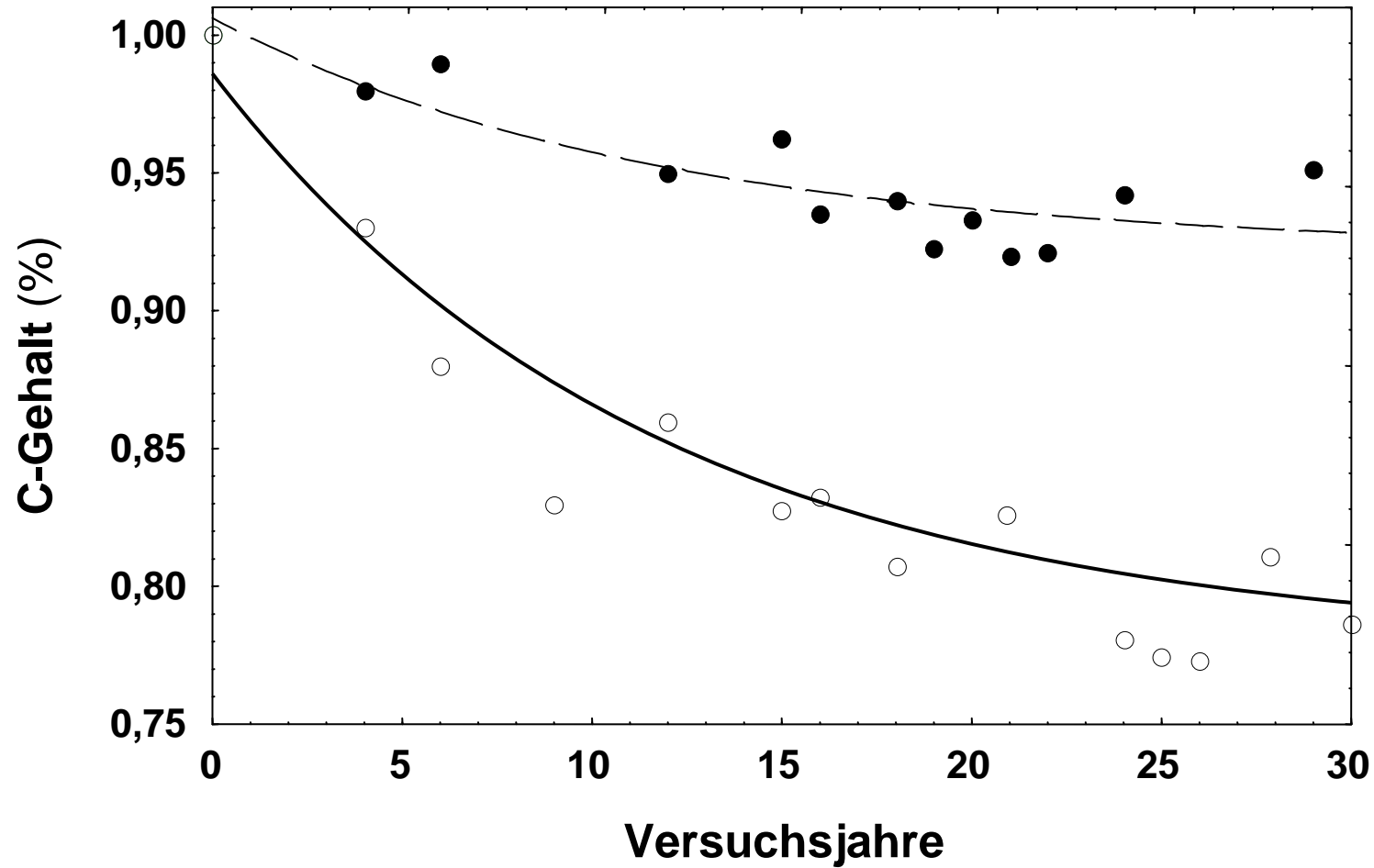
Humus (t/ha)





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

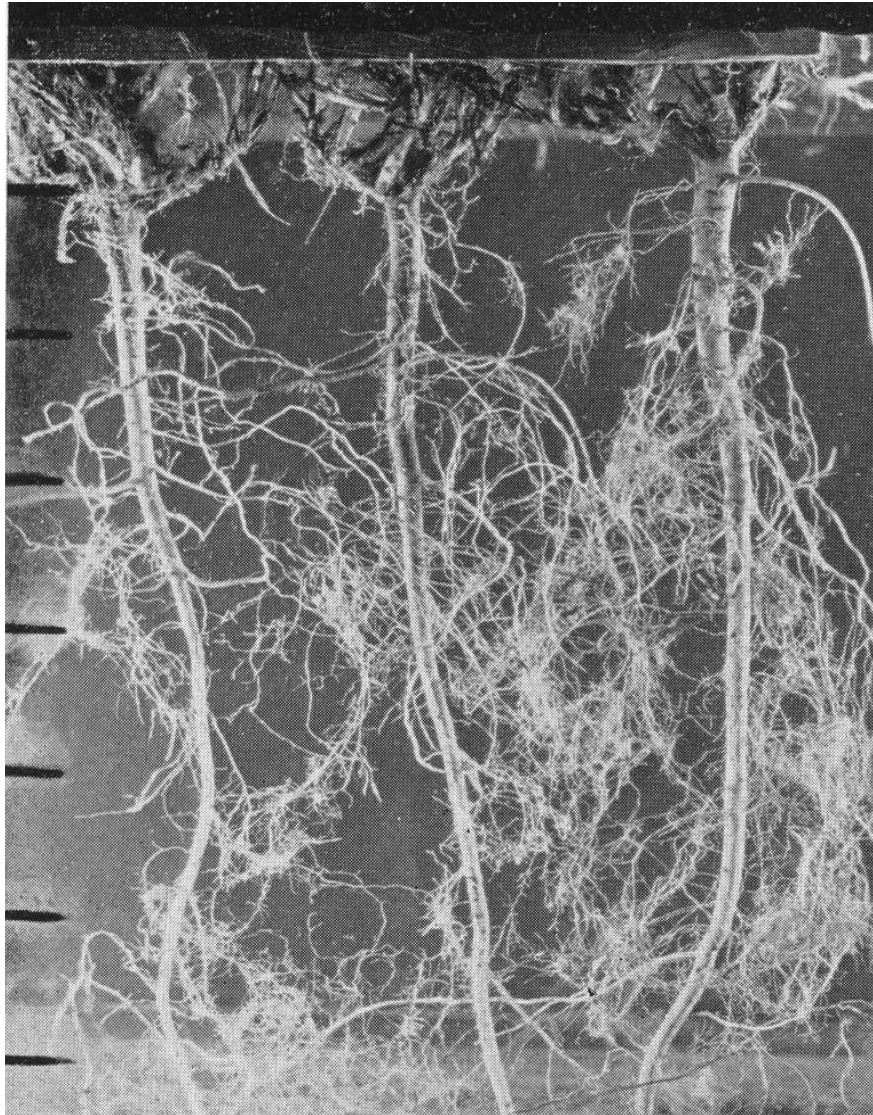
Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (Hülsbergen 2003)



● 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)

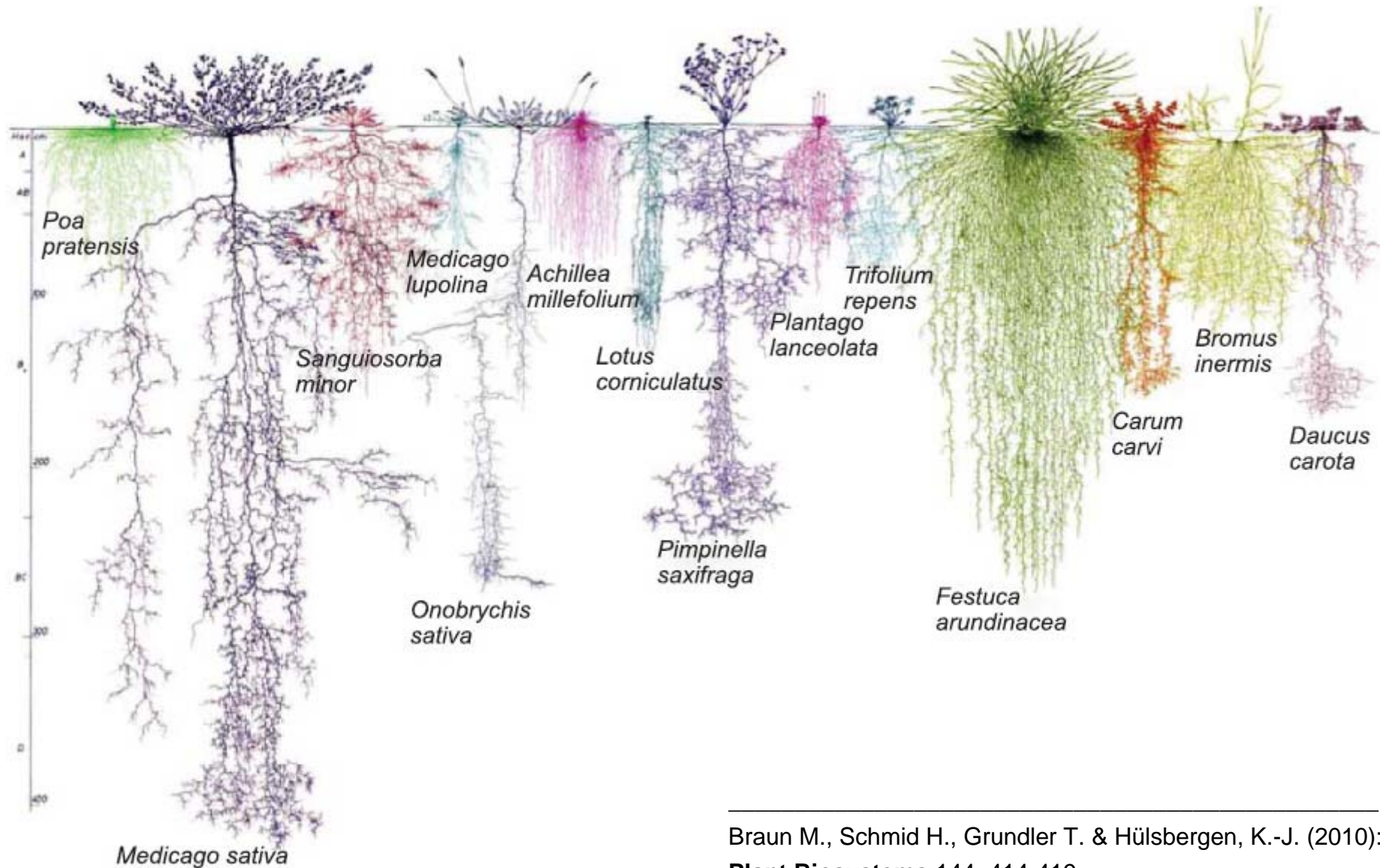


Bodentiefe cm	C_t -Gehalt mg/100g Boden			ΔC_t - Vorrat	ΔCO_2 - Bindung
	FF III	FF V	Differenz	kg/a	kg/a
0 - 20	830	990	+ 160	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 138	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 168	+ 616
0 - 60			+ 447	+ 466	+ 1708

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



Root distribution pattern of species used in a grass-clover mixture



Braun M., Schmid H., Grundler T. & Hülshbergen, K.-J. (2010): **Plant Biosystems** 144, 414-419.

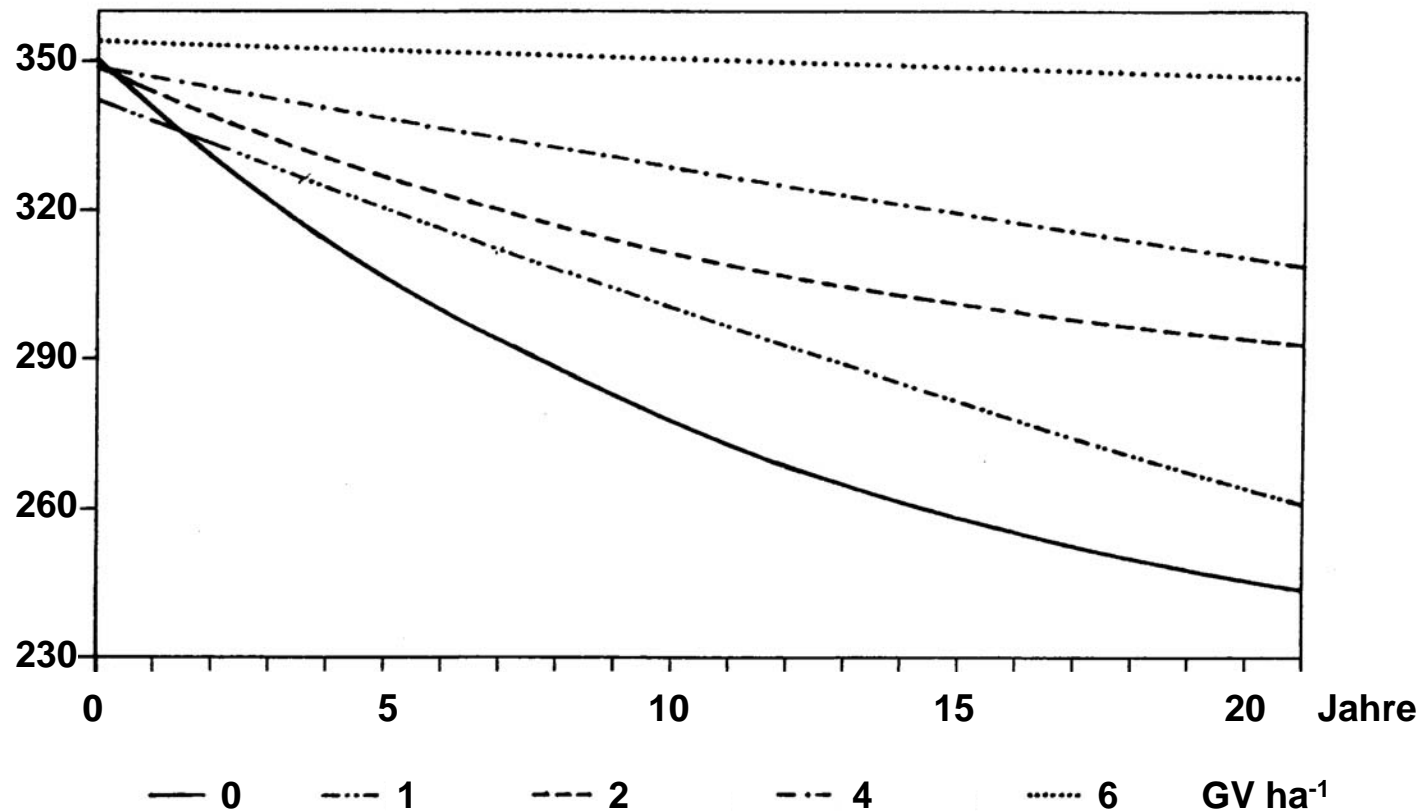


Entwicklung der N_{org} -Gehalte nach Grünlandumbruch

Dauerversuch Lauterbach, Erzgebirge



N_{org} (mg 100 g^{-1} Boden)



Humusabbau (Variante mit 0 GV ha⁻¹):

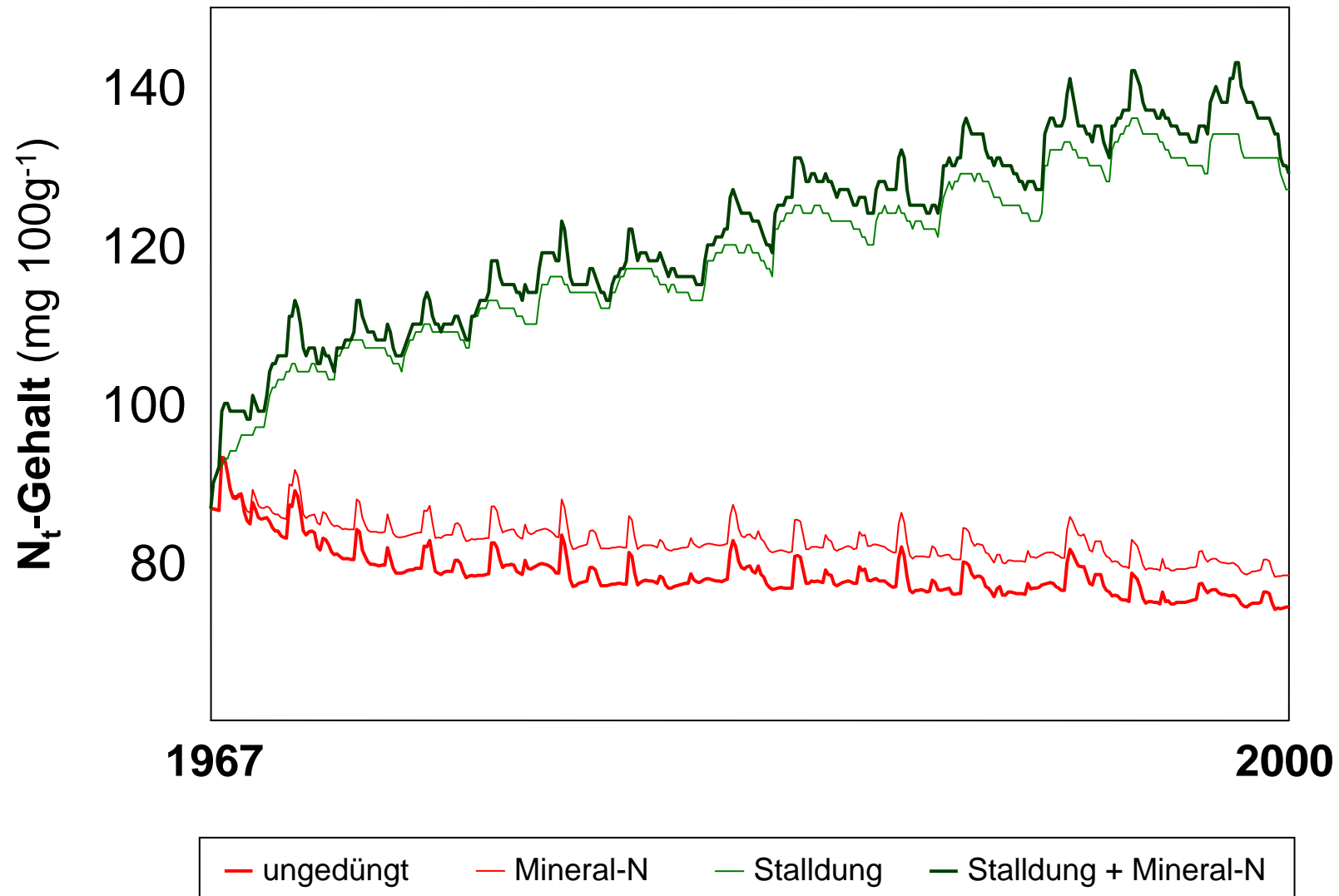
$2.200 \text{ kg N ha}^{-1} = 110 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

$22.000 \text{ kg C ha}^{-1} = 1.100 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1} = \text{ca. } 4000 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$



Entwicklung der N_t -Gehalte, Messwerte und Simulationswerte

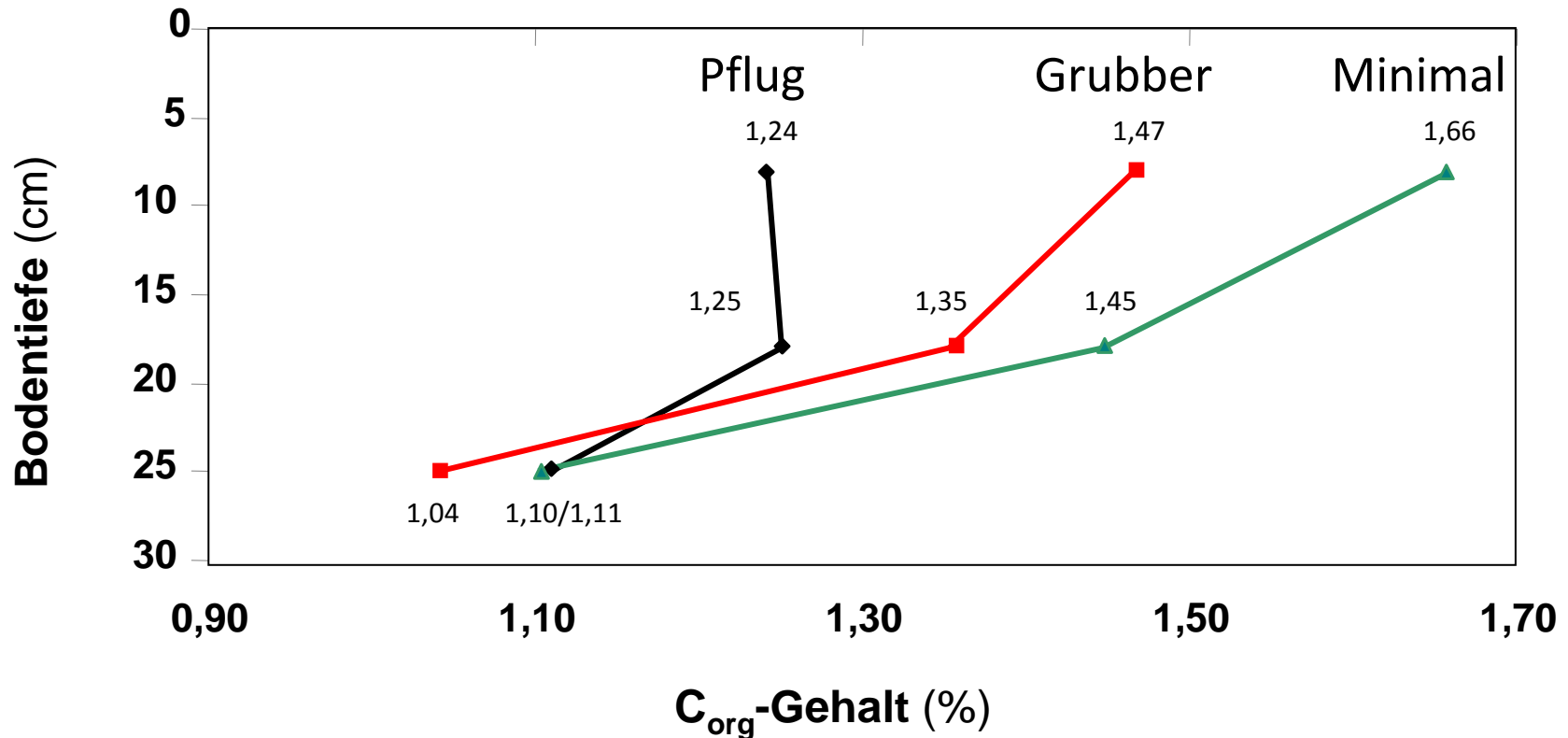
(Düngungsversuch Seehausen)





C_{org} -Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülsbergen 2011)



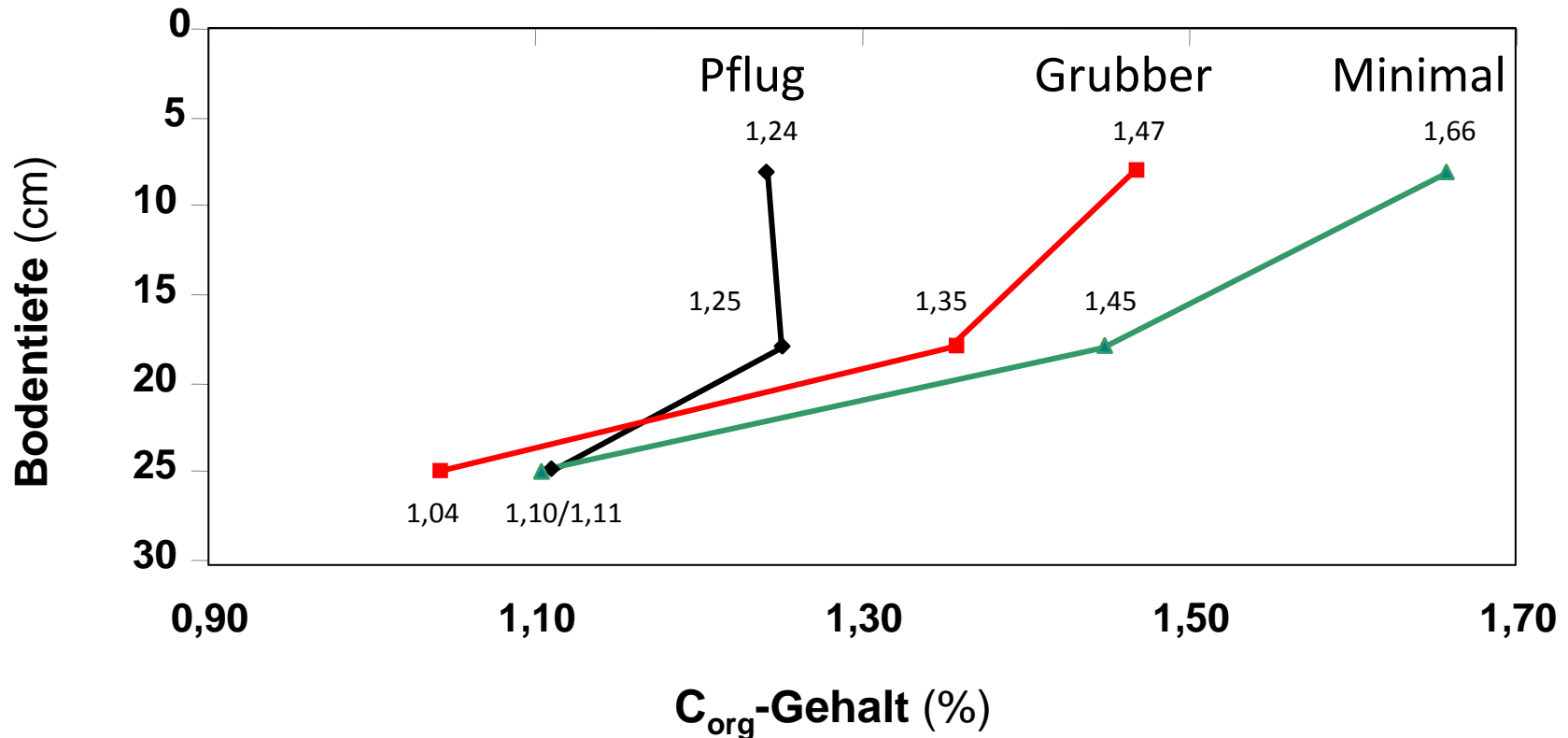
Anlagejahr: 1992 Messung: 2005

Fruchtfolge: Mais – Winterweizen – Kartoffeln – Winterweizen



C_{org} -Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülsergen 2011)



	Pflug	Grubber	Minimal
C_{org} (t ha ⁻¹)	41,1	46,3	52,5
ΔC_{org} (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	- 300	+ 500	+ 150

C-Sequestrierung in Agroforstsystemen





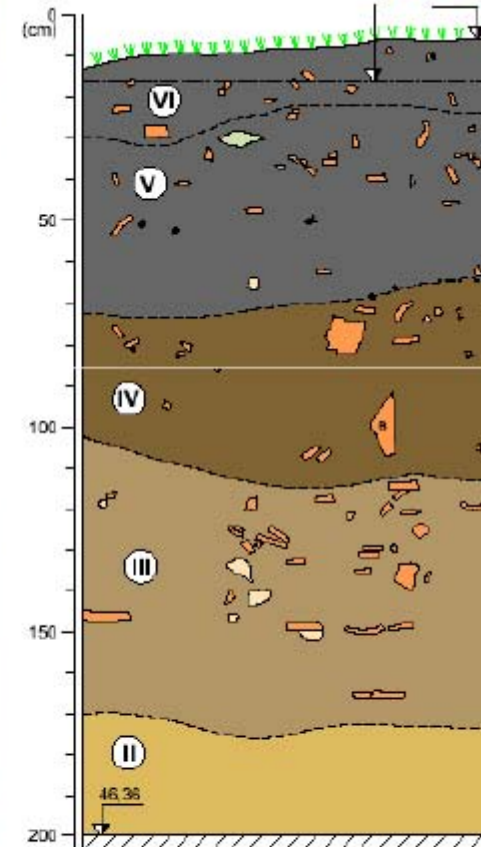
Terra Preta – Bodenprofile im Vergleich



Natürlicher Boden
des Amazonas



Terra Preta oberhalb
des natürlichen Bodenhorizonts



Auffällig: Zahlreiche Tonscherben
(8.000 bis 12.000 Gefäße/ha)



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 kg C ha⁻¹ a⁻¹, das entspricht ca. 1,5 bis 2,0 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹
- **Verbindung von Boden- und Klimaschutz**
Bekannte und umsetzbare Maßnahmen, nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsfähigkeit, wenig Risiken