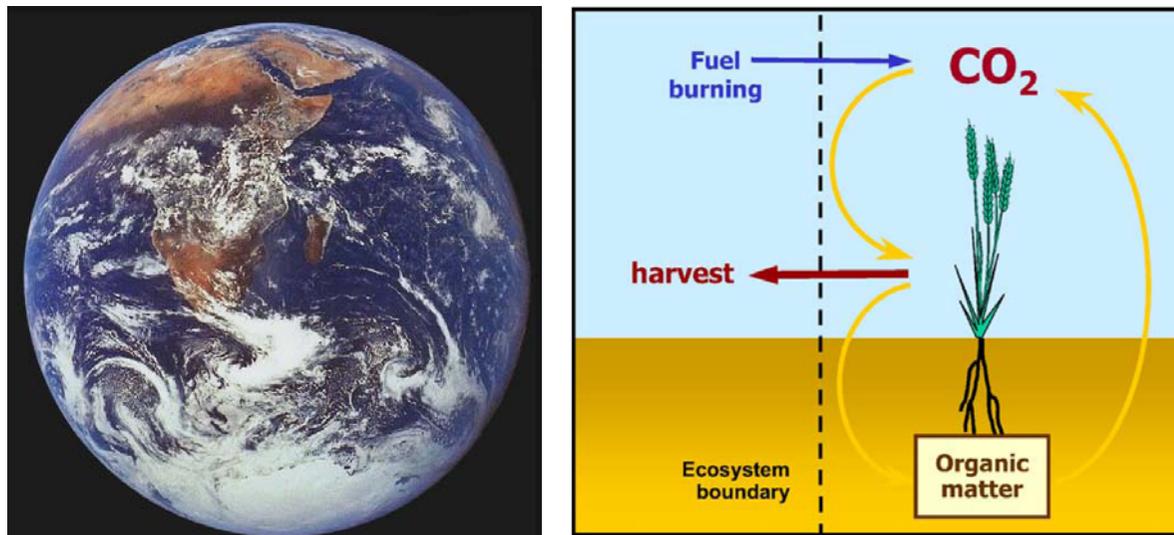


# Wie kann der ökologische Landbau zur Reduktion des Energieeinsatzes und zum Klimaschutz beitragen?



**Bioland**  
ÖKOLOGISCHER LANDBAU

Tagungsprogramm  
*Klimawandel  
und Biolandbau*



# Süddeutsche Zeitung

MÜNCHNER NEUESTE NACHRICHTEN AUS POLITIK, KULTUR, WIRTSCHAFT U

ADT-AUSGABE

HMG

München, Freitag, 23. Februar 2007

63. Ja

UN-Forscher zeigen Auswege aus der Klimakatastrophe

## Die Erde ist noch zu retten

Halbierung des Kohlendioxid-Ausstoßes bis 2050 möglich und auch bezahlbar / Kernkraft bleibt umstritten

Von Patrick Illinger

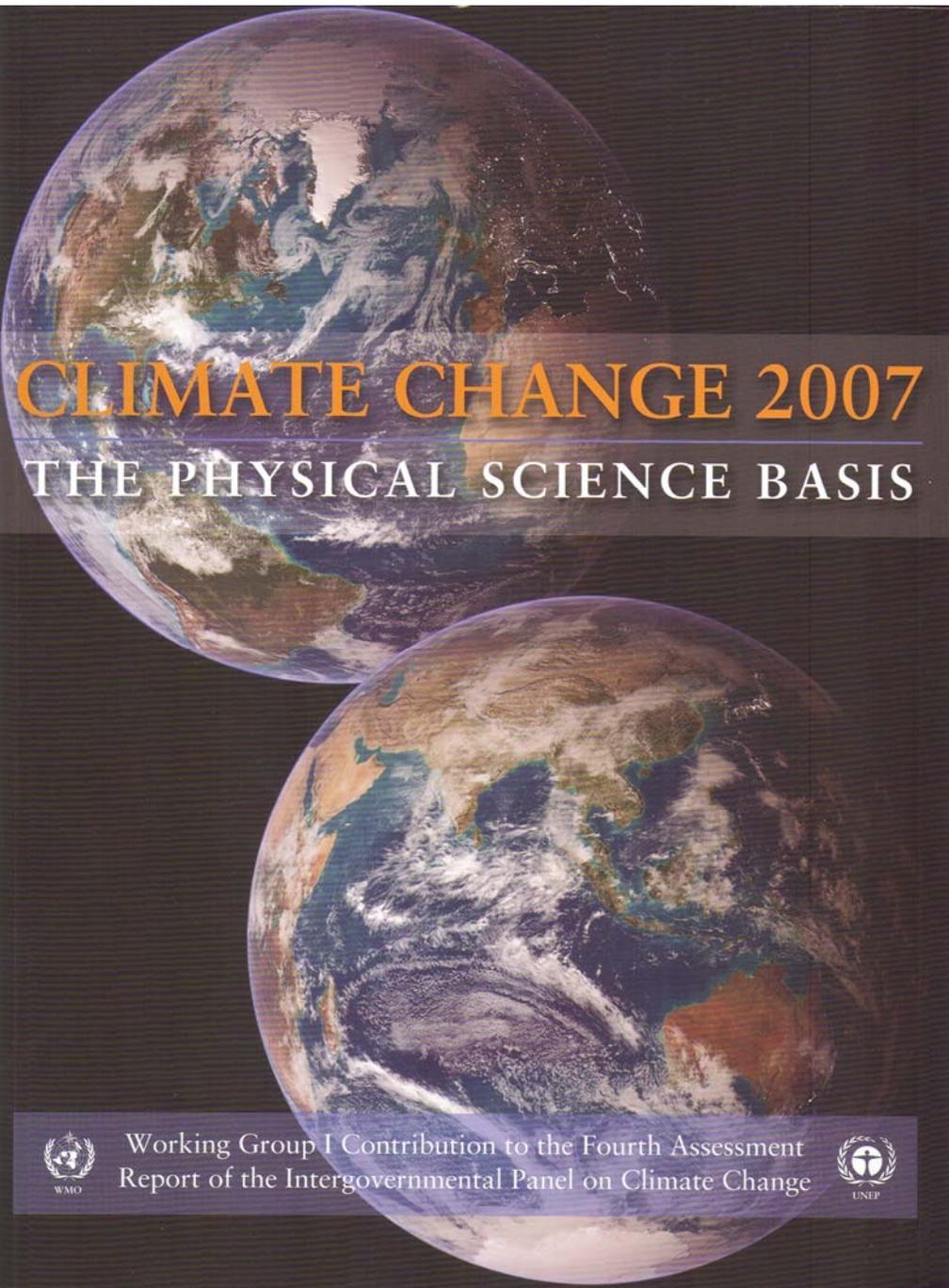
München – Wissenschaftler halten eine radikale Trendwende beim Klimawandel für machbar. Dies geht aus dem Entwurf für den letzten Teil des Weltklimaberichts der UN hervor. Demnach muss der weltweite Kohlendioxid-Ausstoß spätestens von 2020 an abnehmen, wenn die globale Erwärmung bis zum Jahr 2100 auf zwei Grad Celsius beschränkt werden soll. Dafür ist den Forschern zufolge jedoch sofortiges Handeln nötig: Die Menschheit muss auf effizientere und CO<sub>2</sub>-arme Energieformen umsteigen.



Februar 2007

## Klimabericht des IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change



# CLIMATE CHANGE 2007

## THE PHYSICAL SCIENCE BASIS



Working Group I Contribution to the Fourth Assessment  
Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

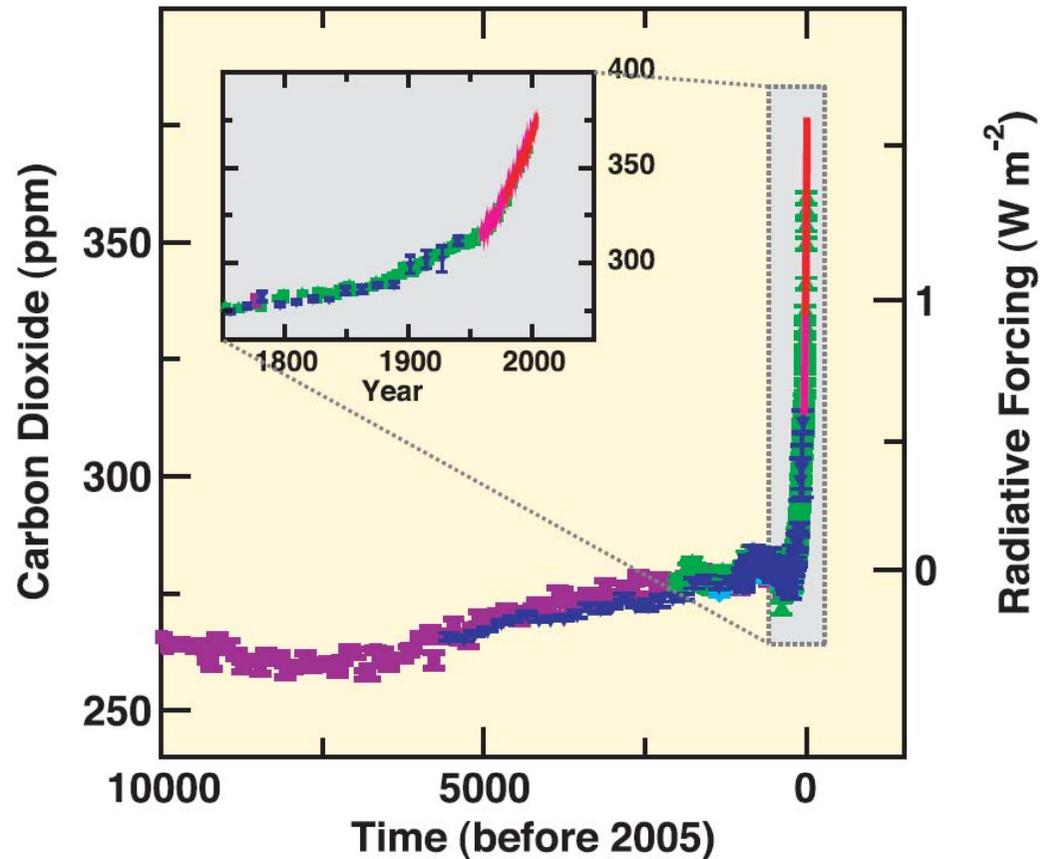






# Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre

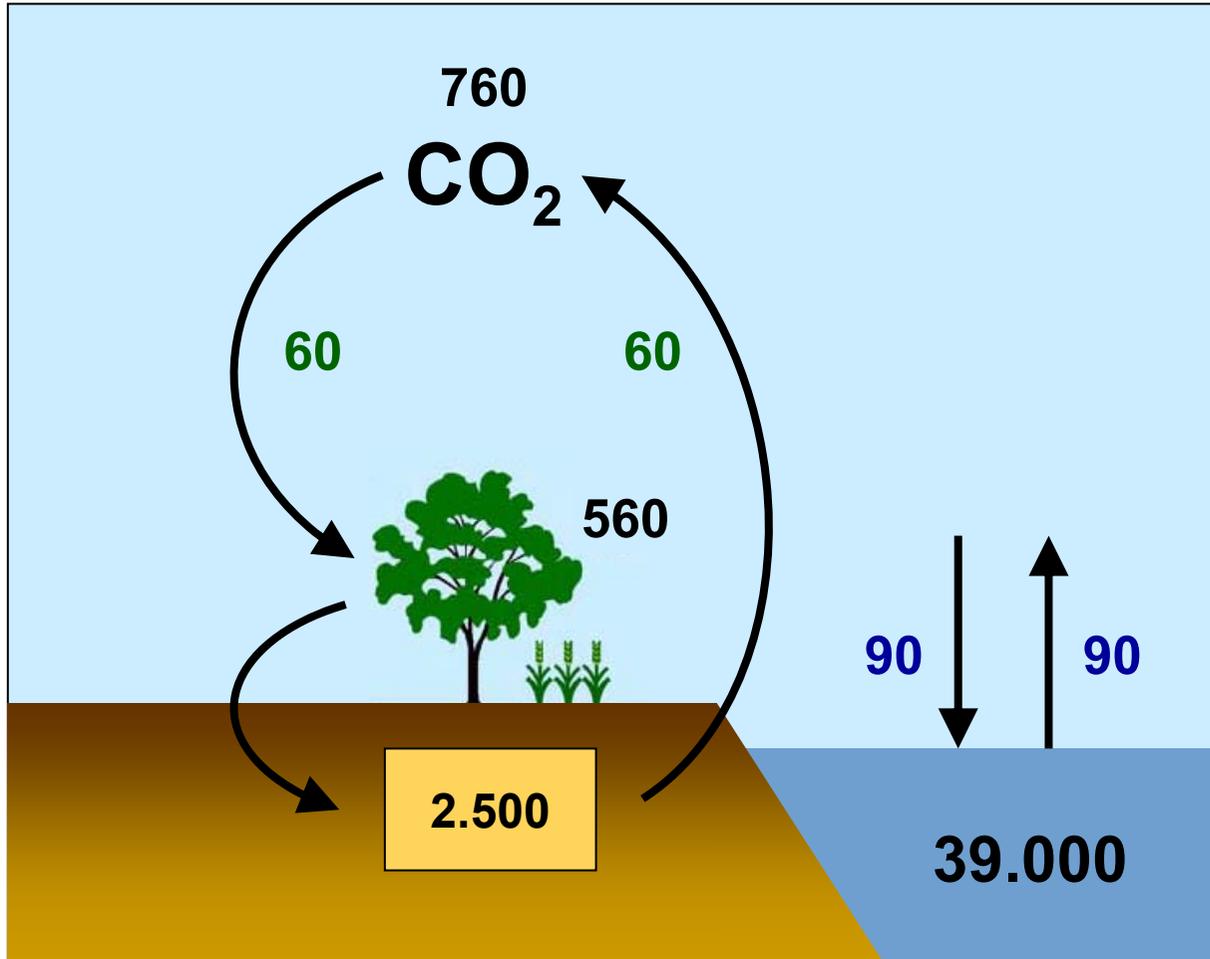
IPCC (2007): Climate Change: The Scientific Basis.



Veränderung	+ 35 %
Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt	60 %
Anteil der Landwirtschaft + Landnutzung	10 %

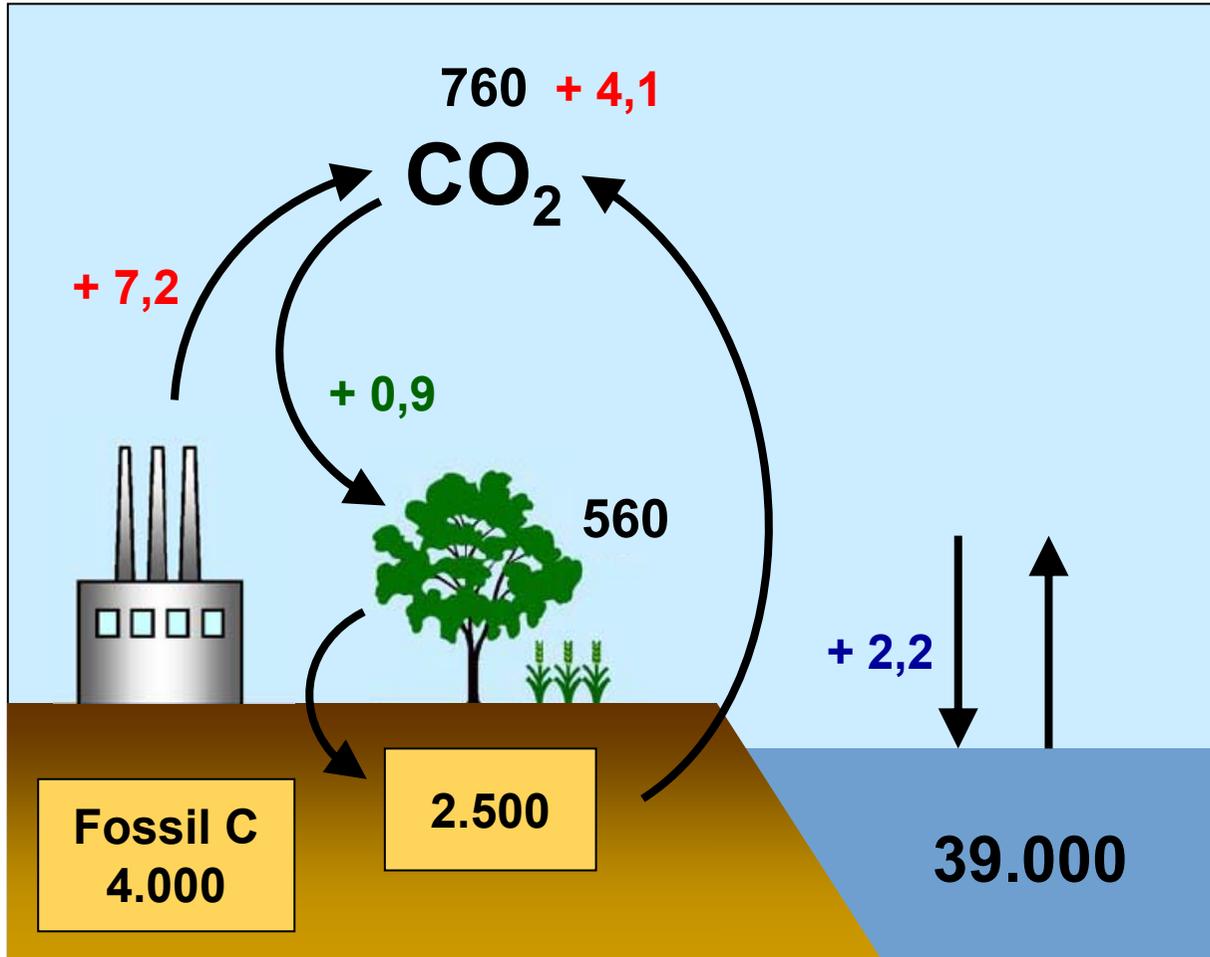


# Der globale Kohlenstoffkreislauf (Mrd. t C)





# Der globale Kohlenstoffkreislauf (Mrd. t C)



## C-Emissionen

Welt: 7,2 Mrd. t

= 1,1 t C pro Kopf

## CO<sub>2</sub>-Emission pro Kopf

Welt: 4 t

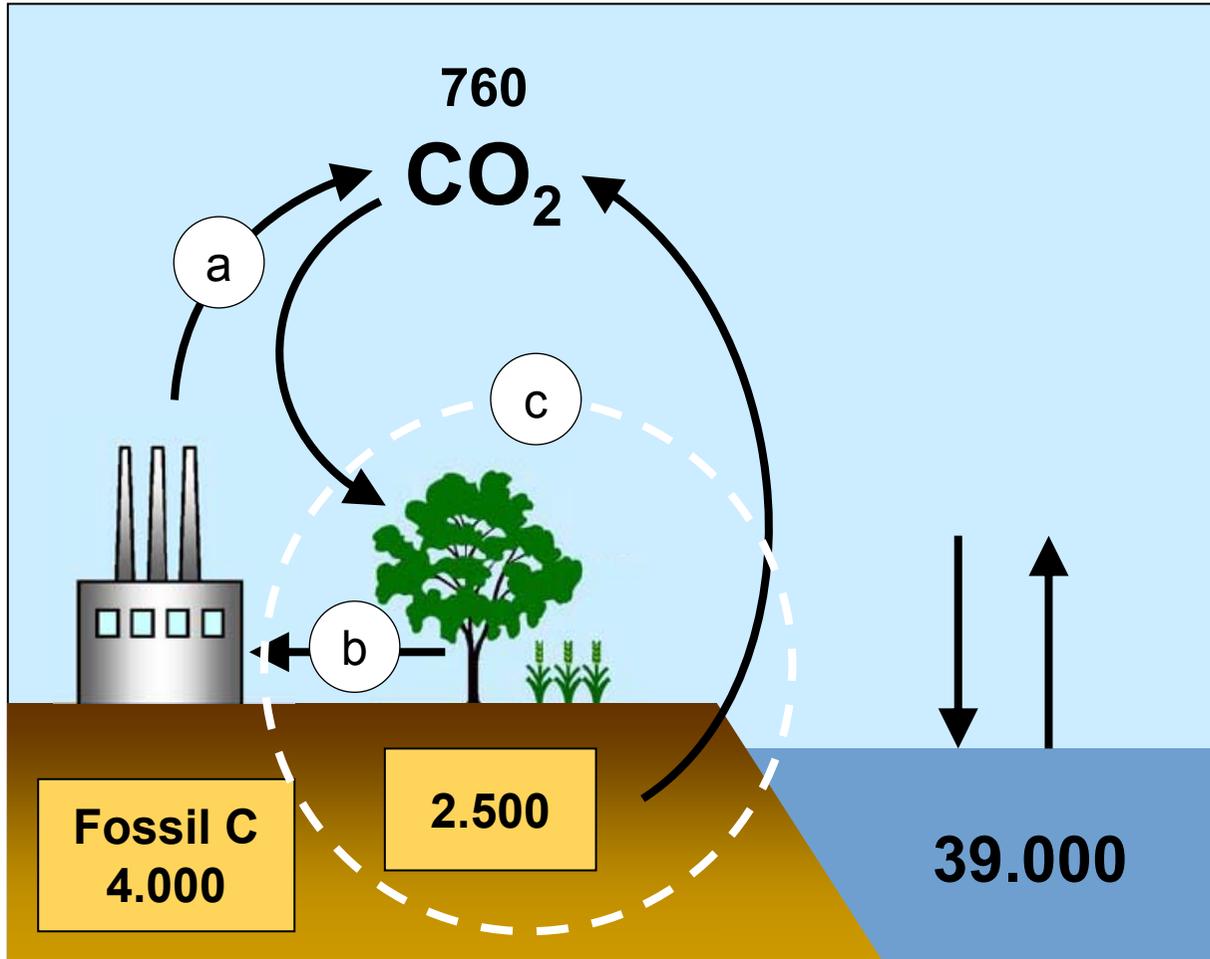
Deutschland: 10 t

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



## Spezifische Treibhauspotentiale (Global warming potential)



Treibhaus- gas	Konzentration (ppm)		Lebens- dauer	GWP
	vor- industriell	2005		
			a	100 a
CO <sub>2</sub>	~ 280	379	variabel	1
CH <sub>4</sub>	0,70	1,77	12	23
N <sub>2</sub> O	0,27	0,32	120	296



**CO<sub>2</sub>-Bindung durch Humusaufbau**

**Kohlenstoffkreislauf**

**Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung**





## **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:**

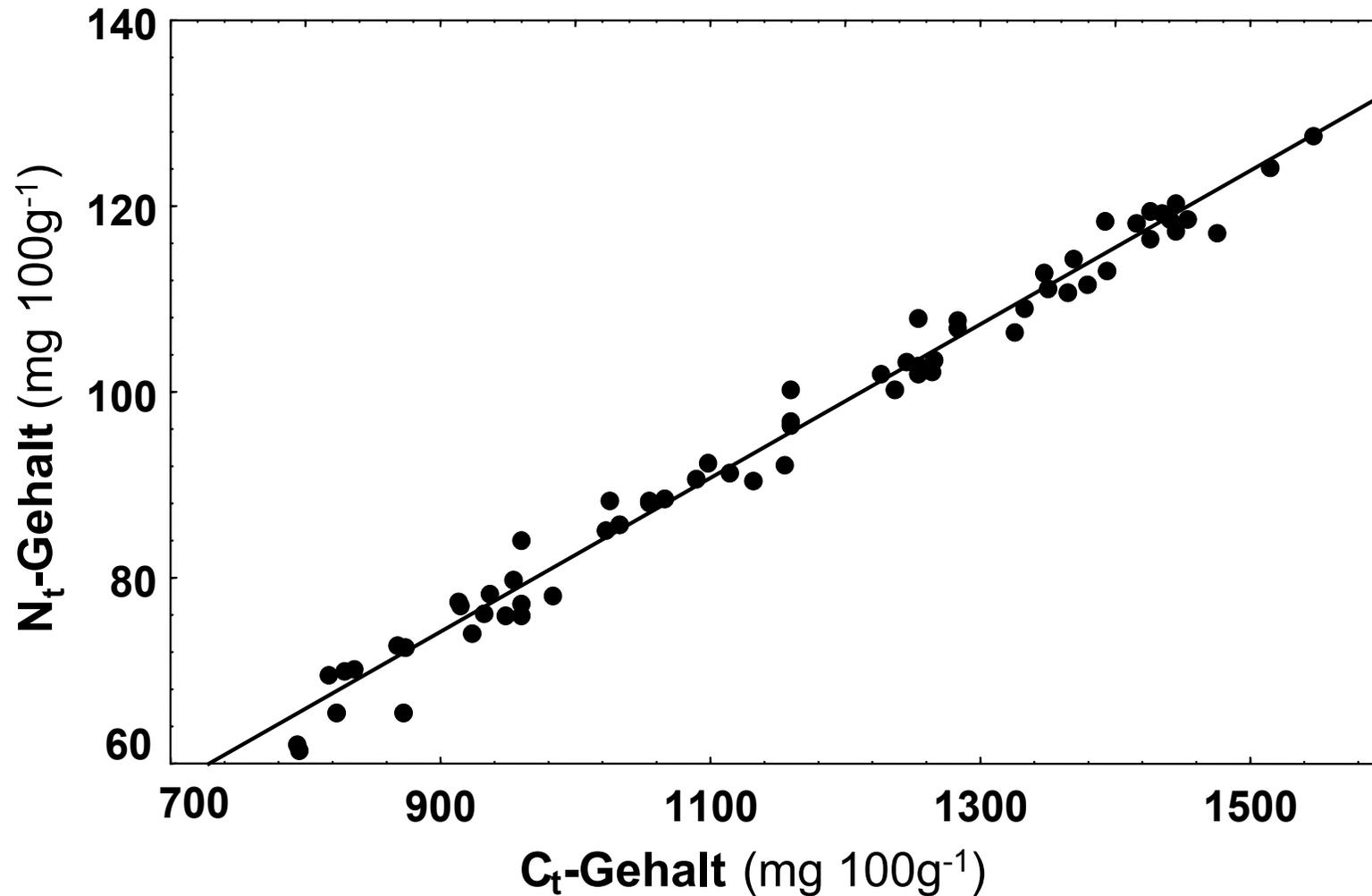
**Ton < 13 %: Humusgehalt > 1 %**

**Ton > 13 %: Humusgehalt > 1,5 %**



# Beziehungen zwischen $C_t$ - und $N_t$ -Gehalten

Düngungsversuch Seehausen (2000)



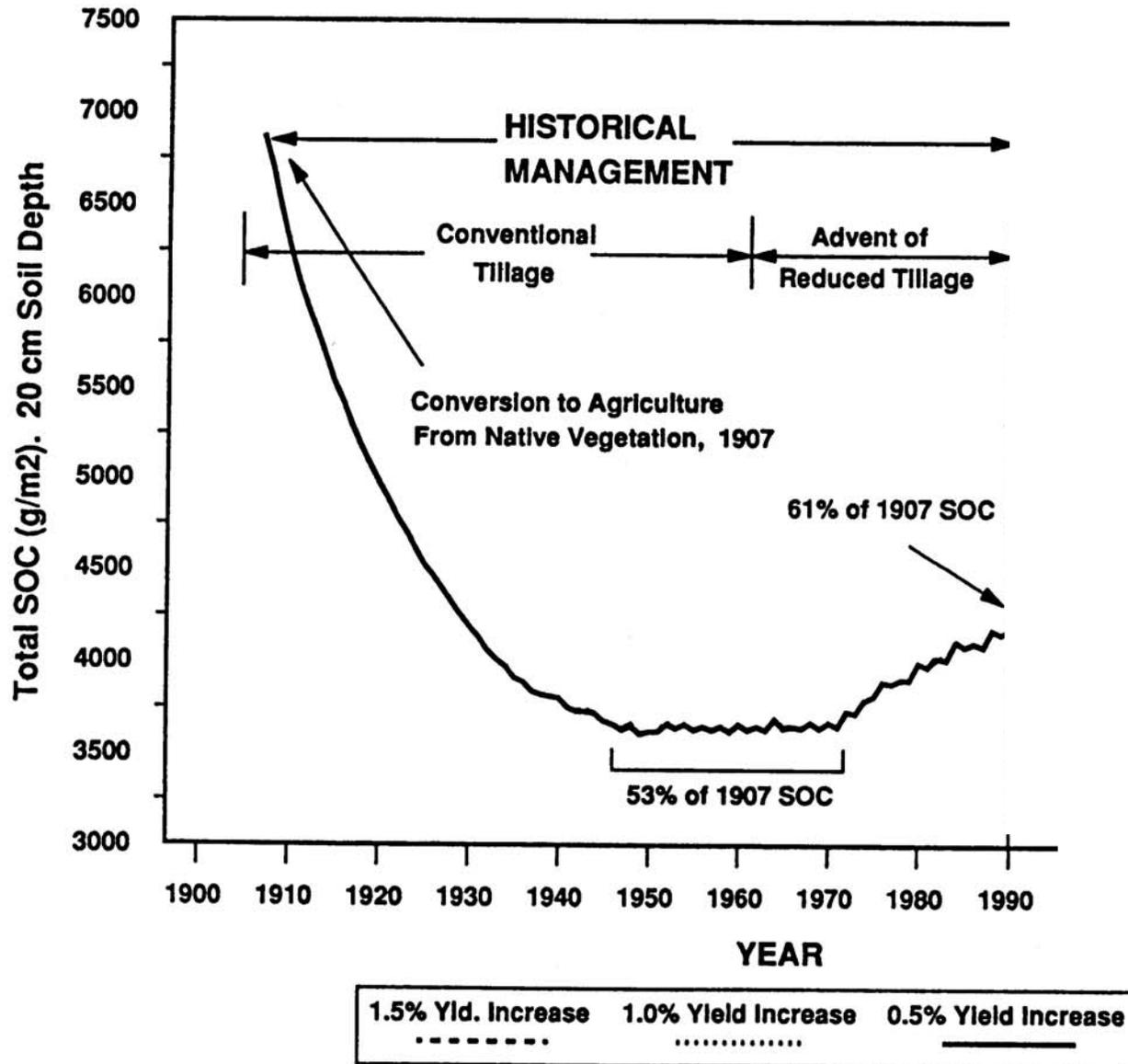
$$y = -0,29 + 0,083 x_1$$

$$B = 0,98^+$$

$$s_R = 2,3$$

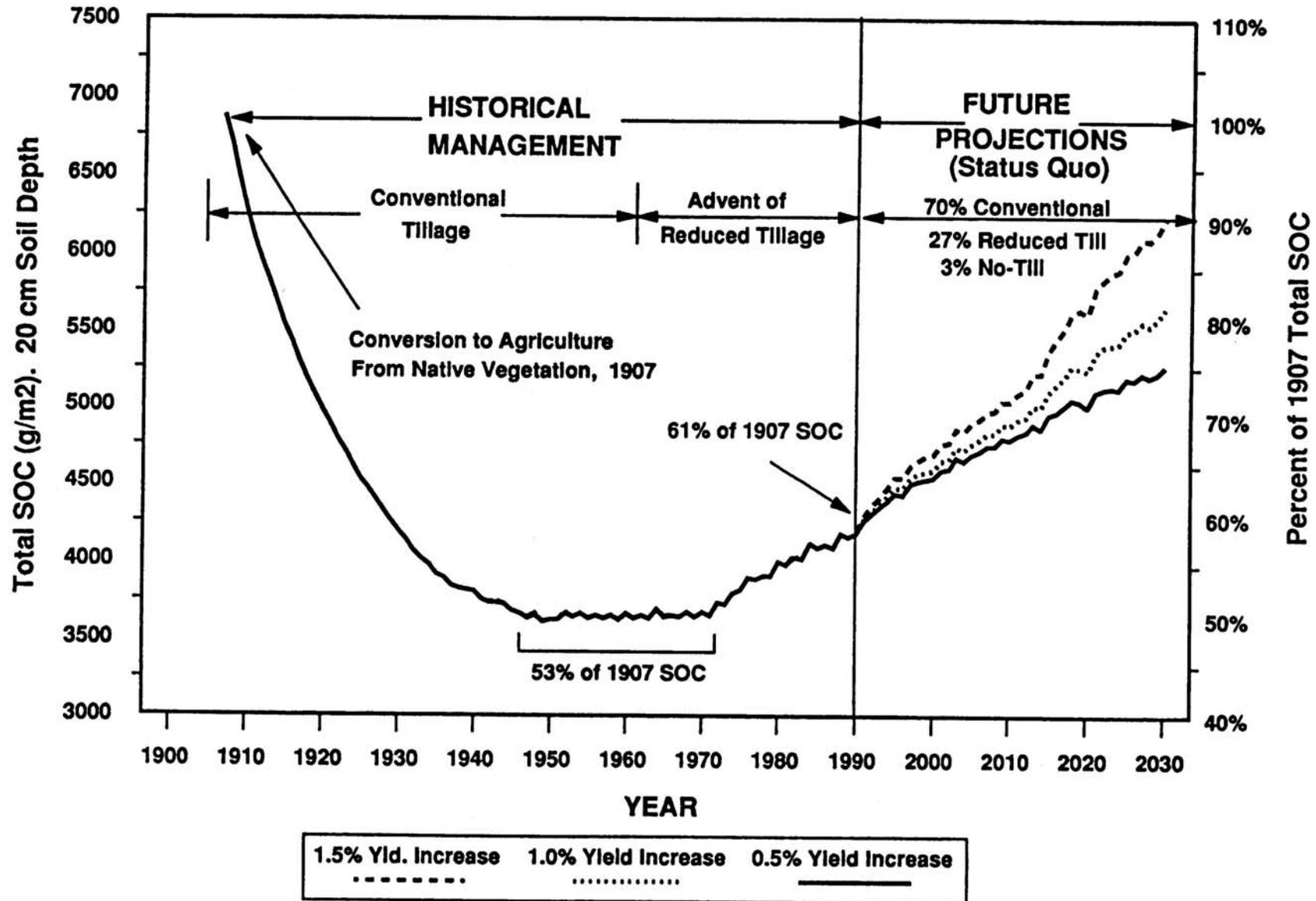


# Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S. scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





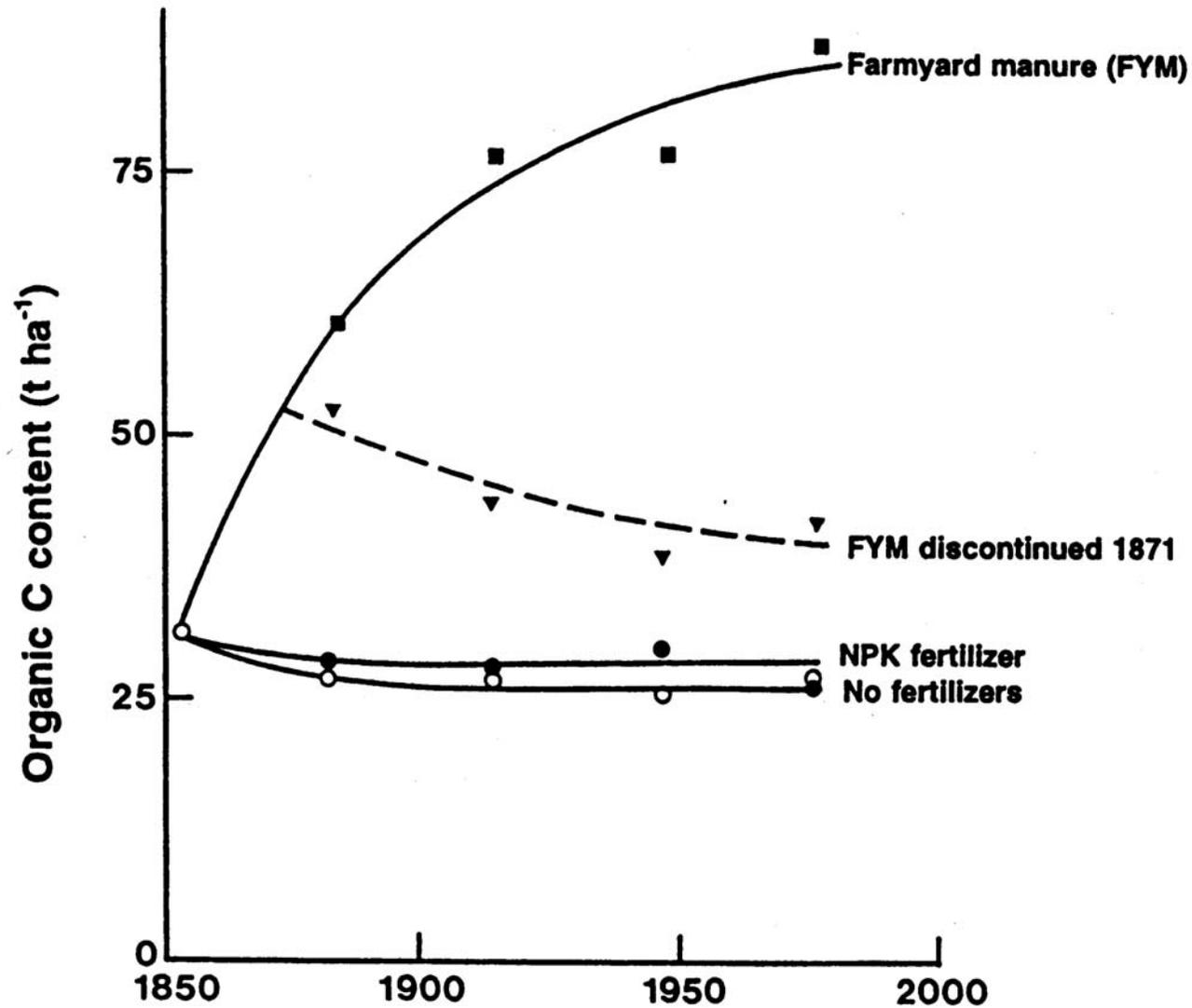
# Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S. scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





# Changes of soil organic C content in the Hoosfield

Continuous barley experiment (JOHNSTON 1986)

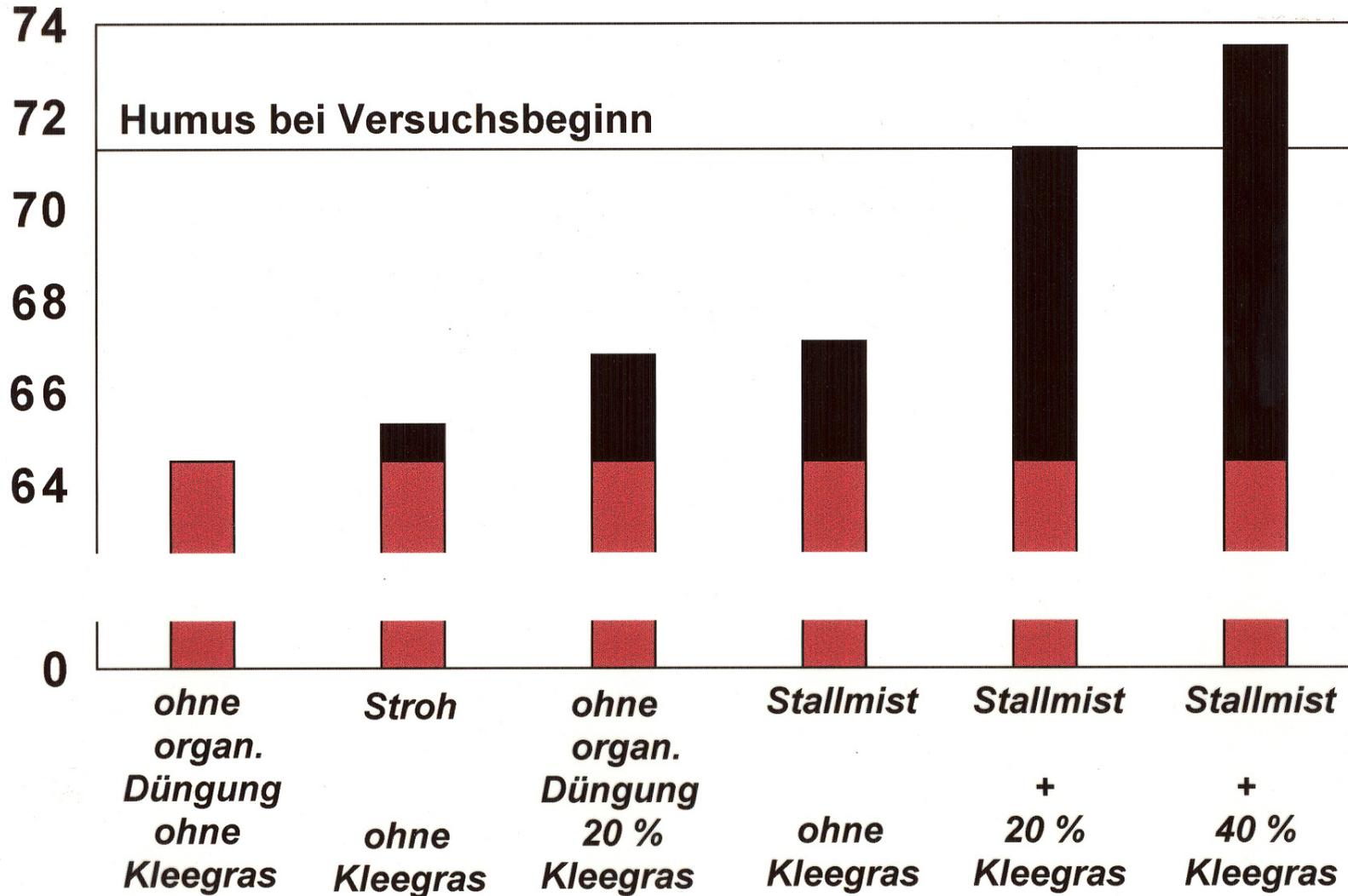




# Humusmengen bei unterschiedlicher Düngung / Fruchtfolge, Dauerversuch auf sLehm, 5 Jahre nach Versuchsanlage



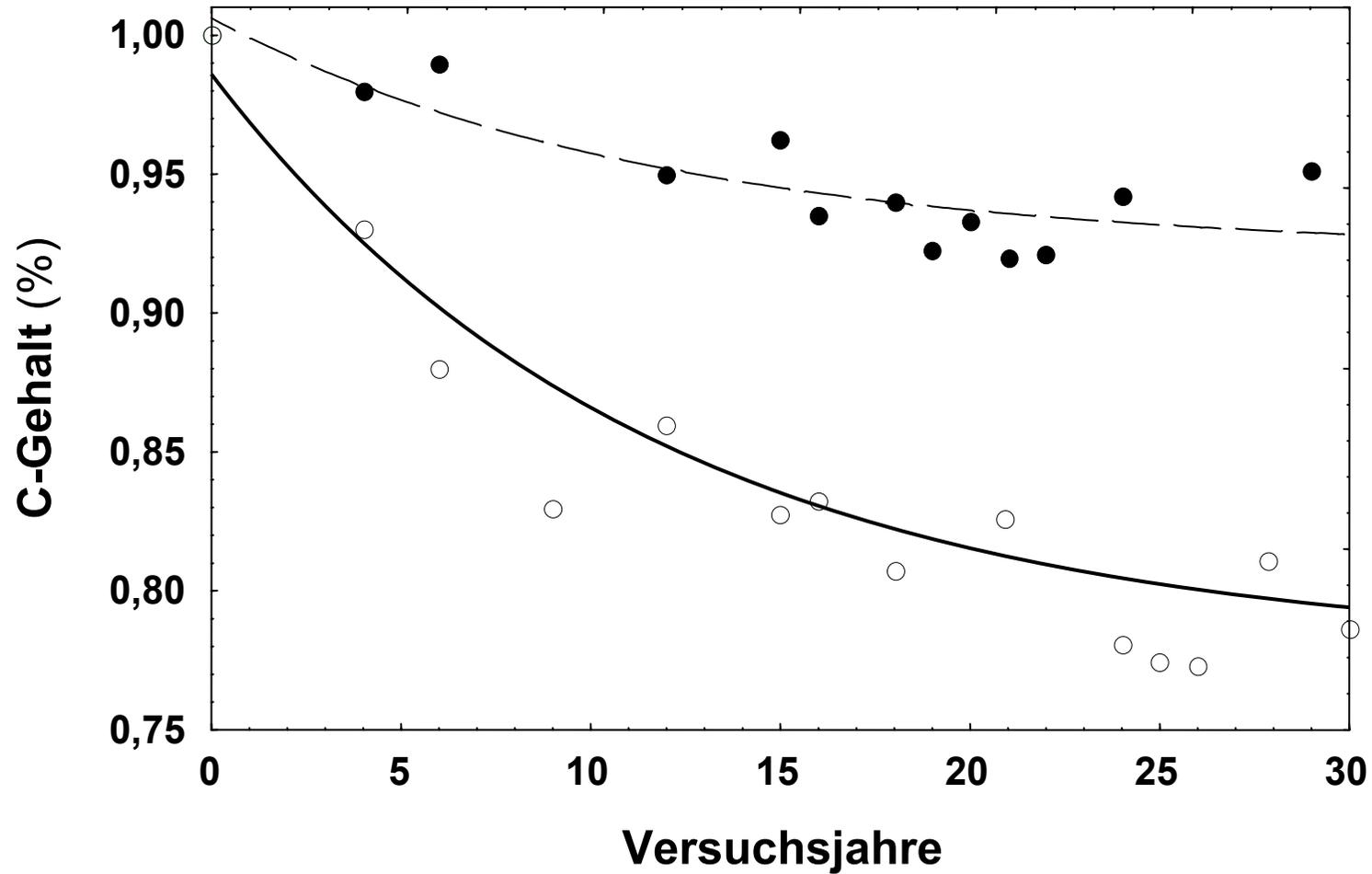
## Humus (t/ha)





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

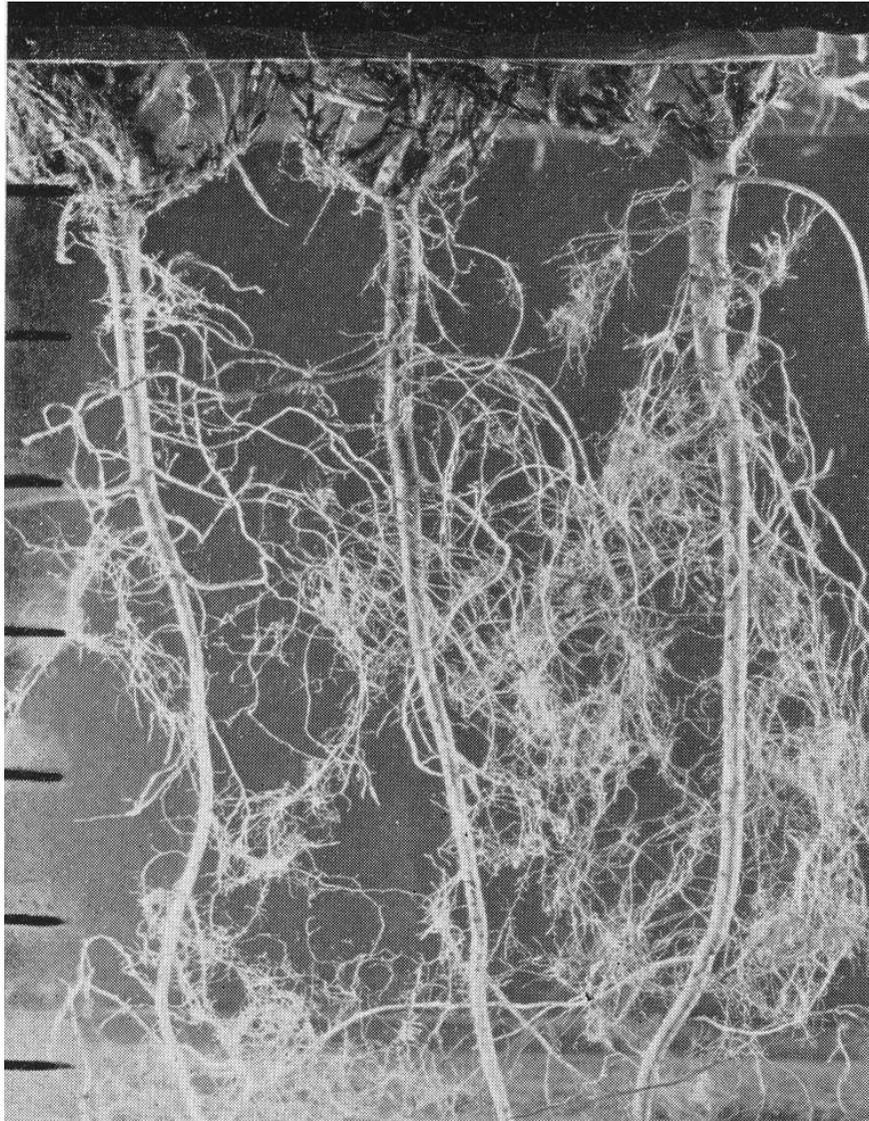
Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (Hülsbergen 2003)



● 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)

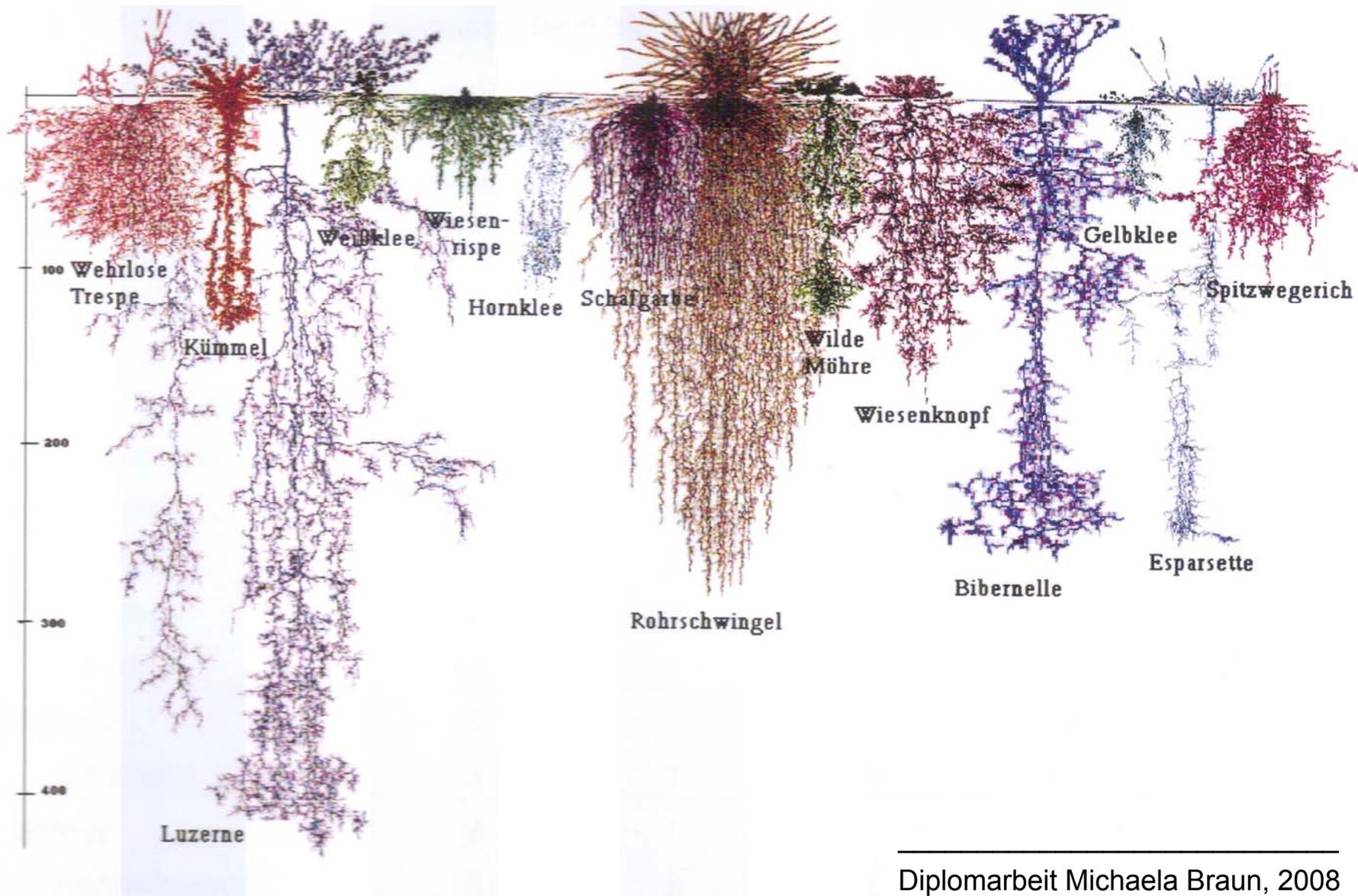


Bodentiefe cm	$C_t$ -Gehalt mg/100g Boden			$\Delta C_t$ - Vorrat kg/a	$\Delta CO_2$ - Bindung kg/a
	FF III	FF V	Differenz		
0 - 20	830	990	+ 160	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 138	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 168	+ 616
<b>0 - 60</b>			<b>+ 447</b>	<b>+ 466</b>	<b>+ 1708</b>

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

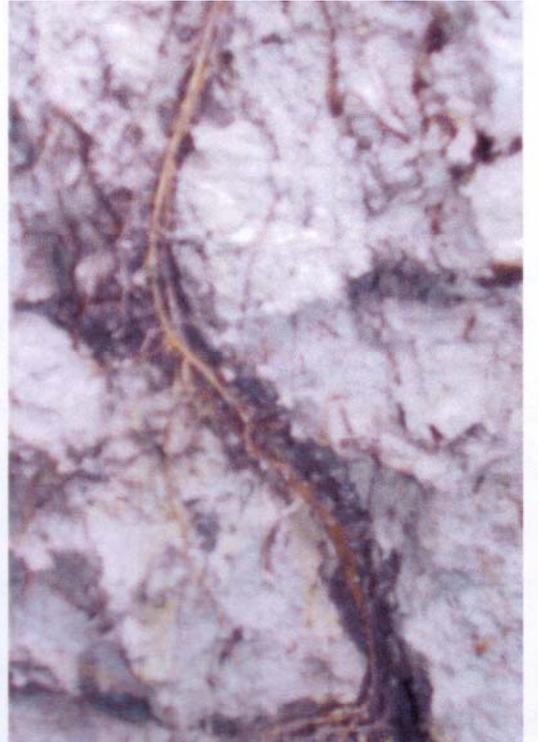
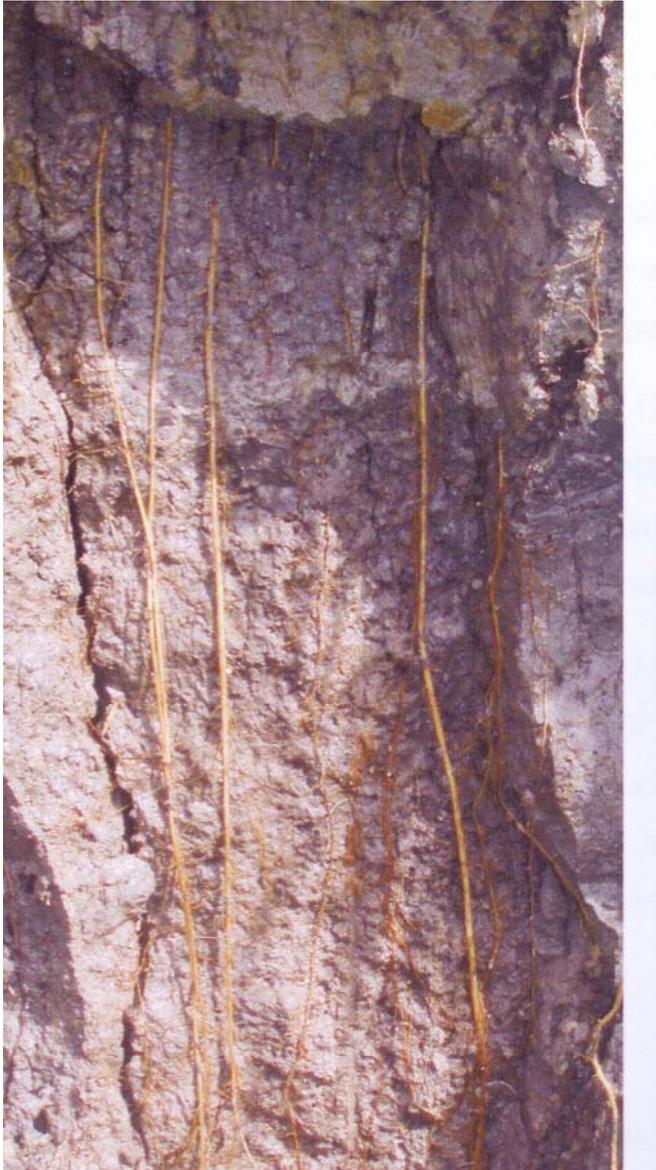


# Wurzelbilder der Futtermischung Braun



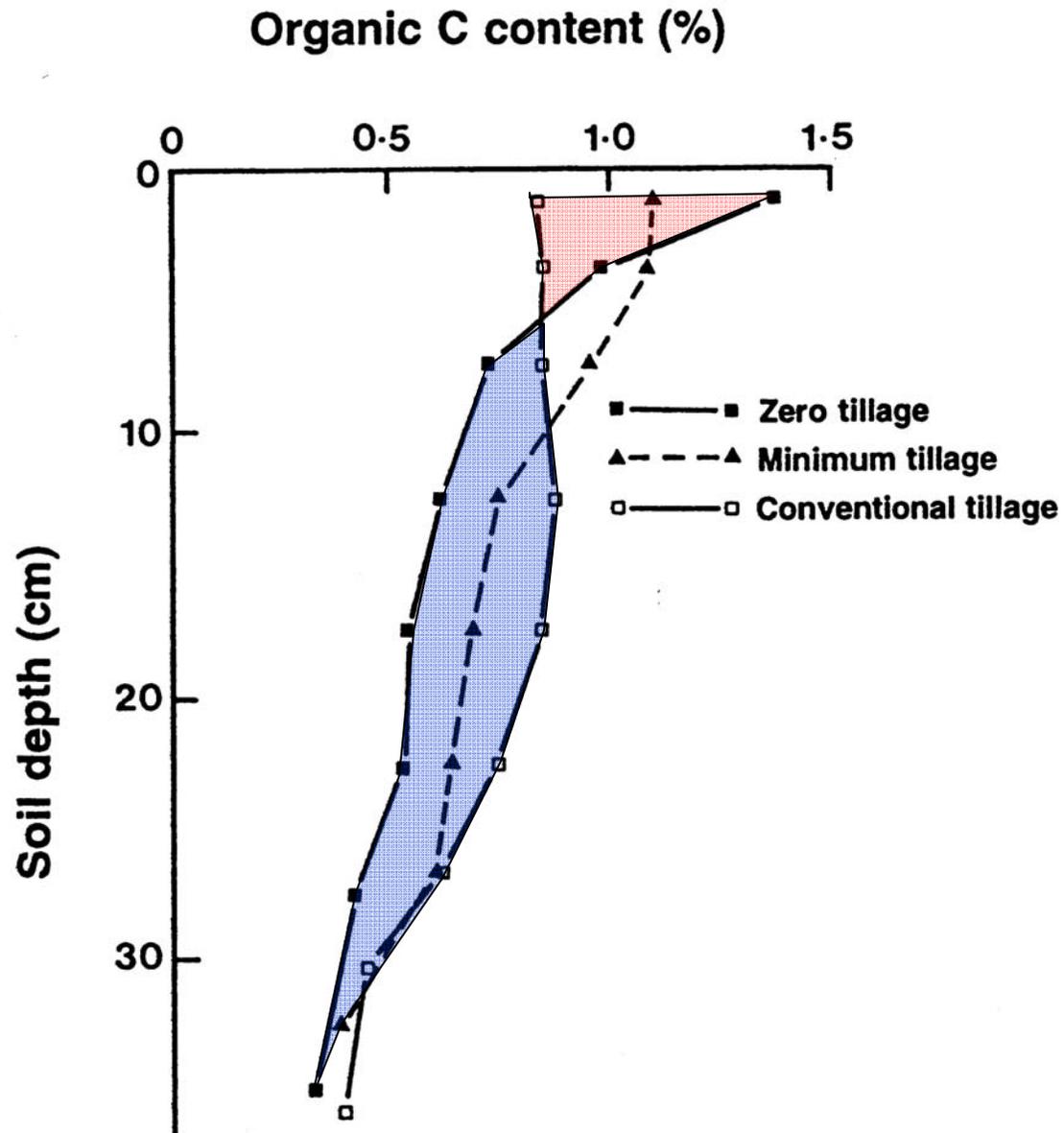


# Wurzeln im Unterboden (100 cm Tiefe) an Klüften und in Regenwurmröhren





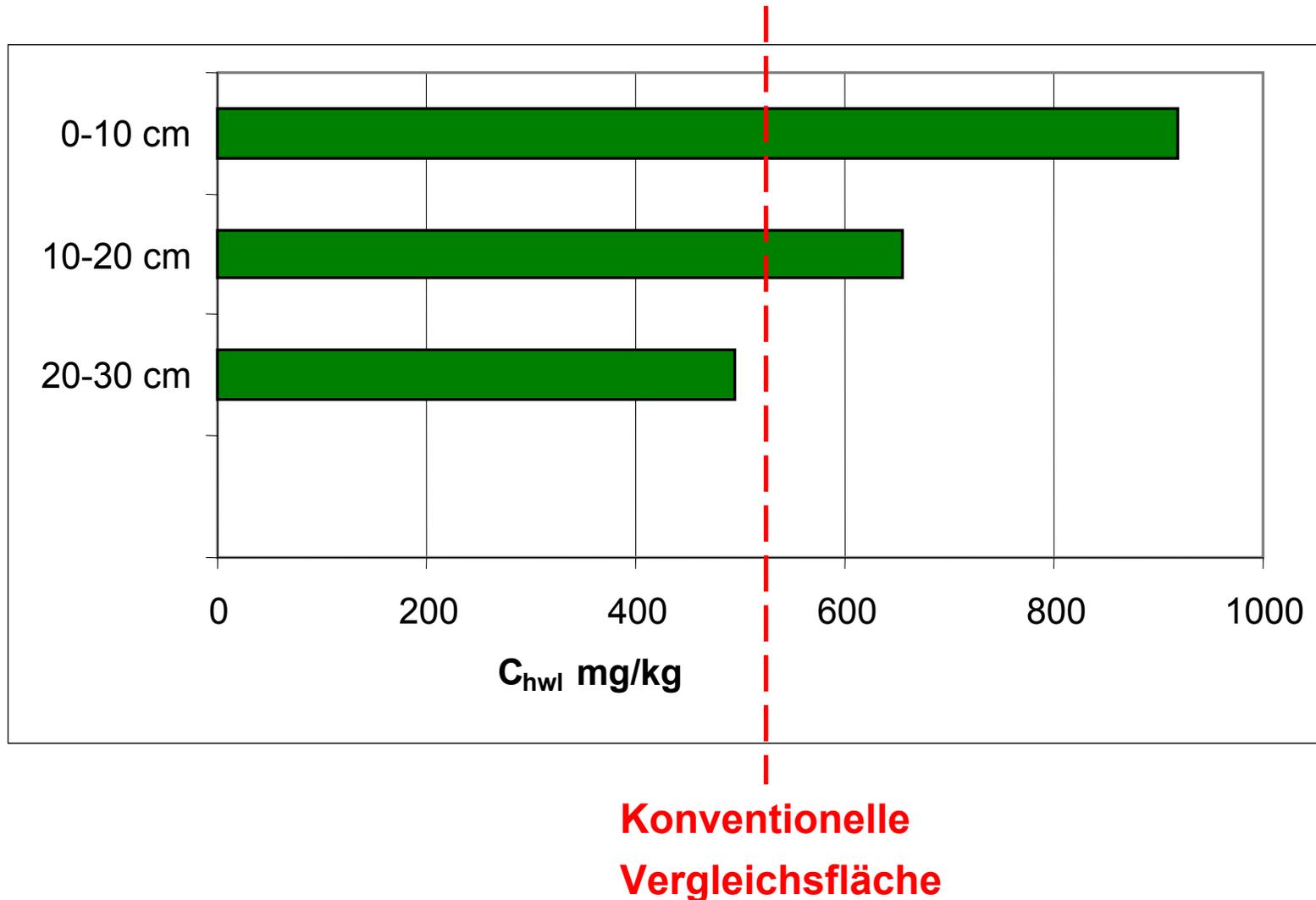
# Profiles of organic C in a soil after 10 years of different tillage (DOUGLAS et al. 1986)





# Umsetzbare Organ. Substanz ökologischer und konv. Flächen

Beispiel: Braun, Freising (pfluglose Bodenbearbeitung)





# Humusgehalte (%) in Abhängigkeit vom Tierbesatz

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

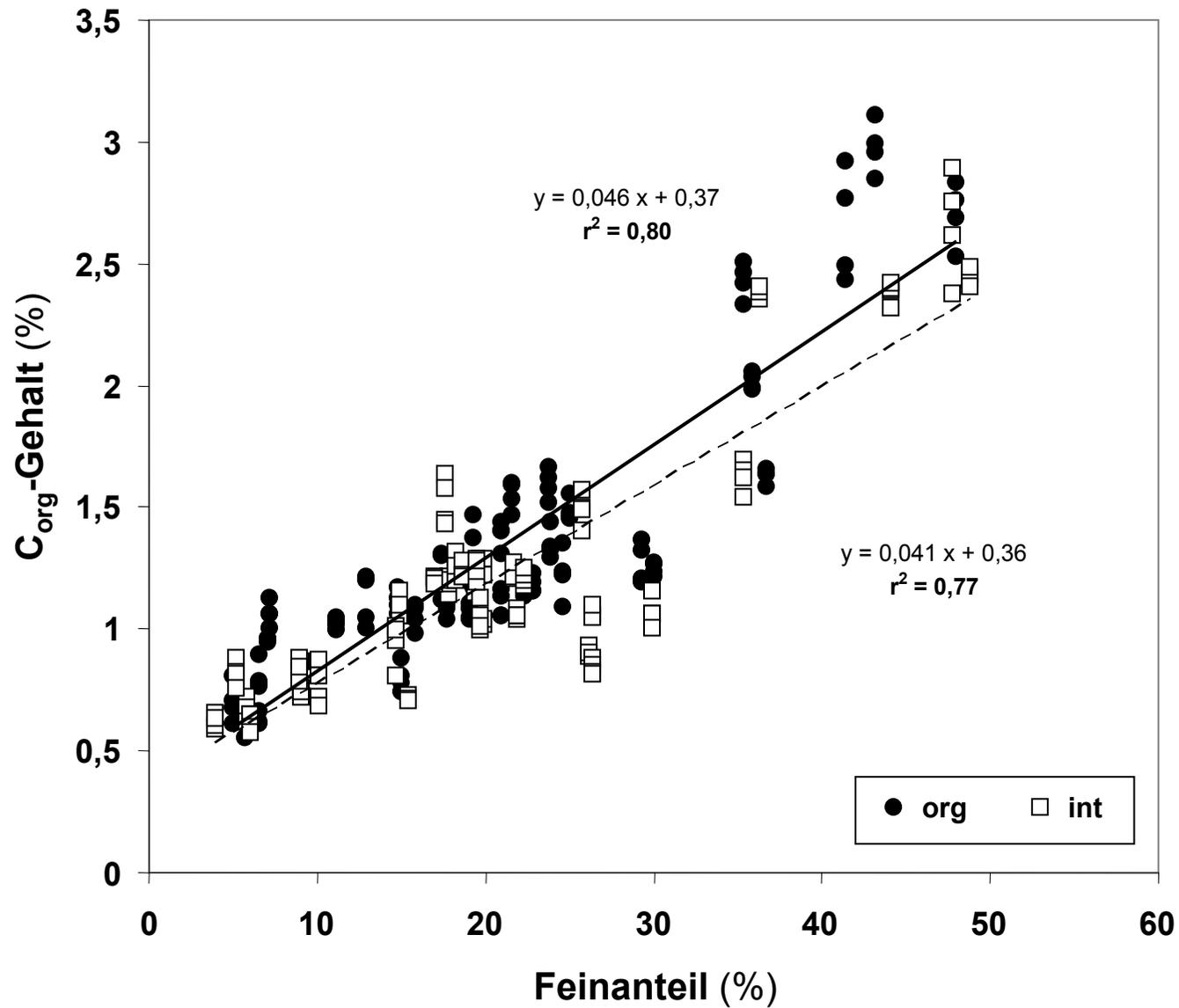


	Tierbesatz (GV ha <sup>-1</sup> )				
	0	0,1 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,9	2
Ökol. Landbau	2,36	2,88	2,90	3,10	3,43
Konv. Landbau	2,65	2,50	2,76	2,89	2,98
<b>Differenz</b>	<b>- 0,29</b>	<b>+ 0,38</b>	<b>+ 0,14</b>	<b>+ 0,21</b>	<b>+ 0,45</b>



# Abhängigkeit des $C_{org}$ -Gehaltes von der Bodentextur

(Hoyer & Hülsbergen 2007)



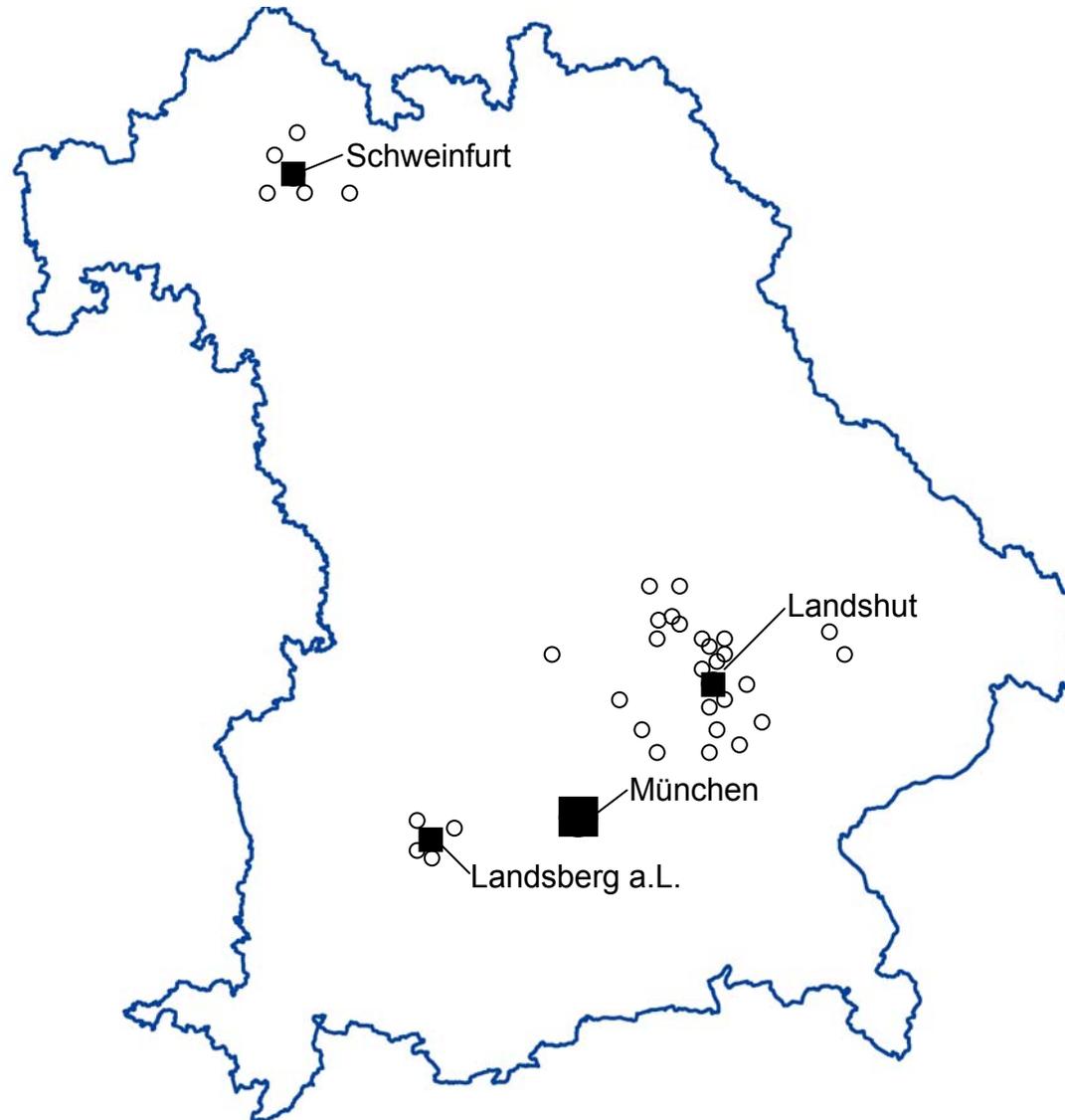


- **begrenzte C-Speicherkapazität der Böden**  
abhängig vom Ausgangsgehalt, zeitlich begrenzt, schwierig nachweisbar
- **realistisch sind C-Akkumulationsraten**  
bis ca. 500 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, das entspricht ca. 1,5 bis 2,0 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>
- **Tendenziell höhere C-Gehalte im Ökologischen Landbau**  
+ 0,2 bis 0,3 % C, das entspricht ca. 10 bis 15 t C ha<sup>-1</sup> bzw. 35 bis 50 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>



# Emissionsinventur von Betrieben im Tertiärhügelland

(Küstermann, Prem, Engelmann & Hülsbergen 2007)

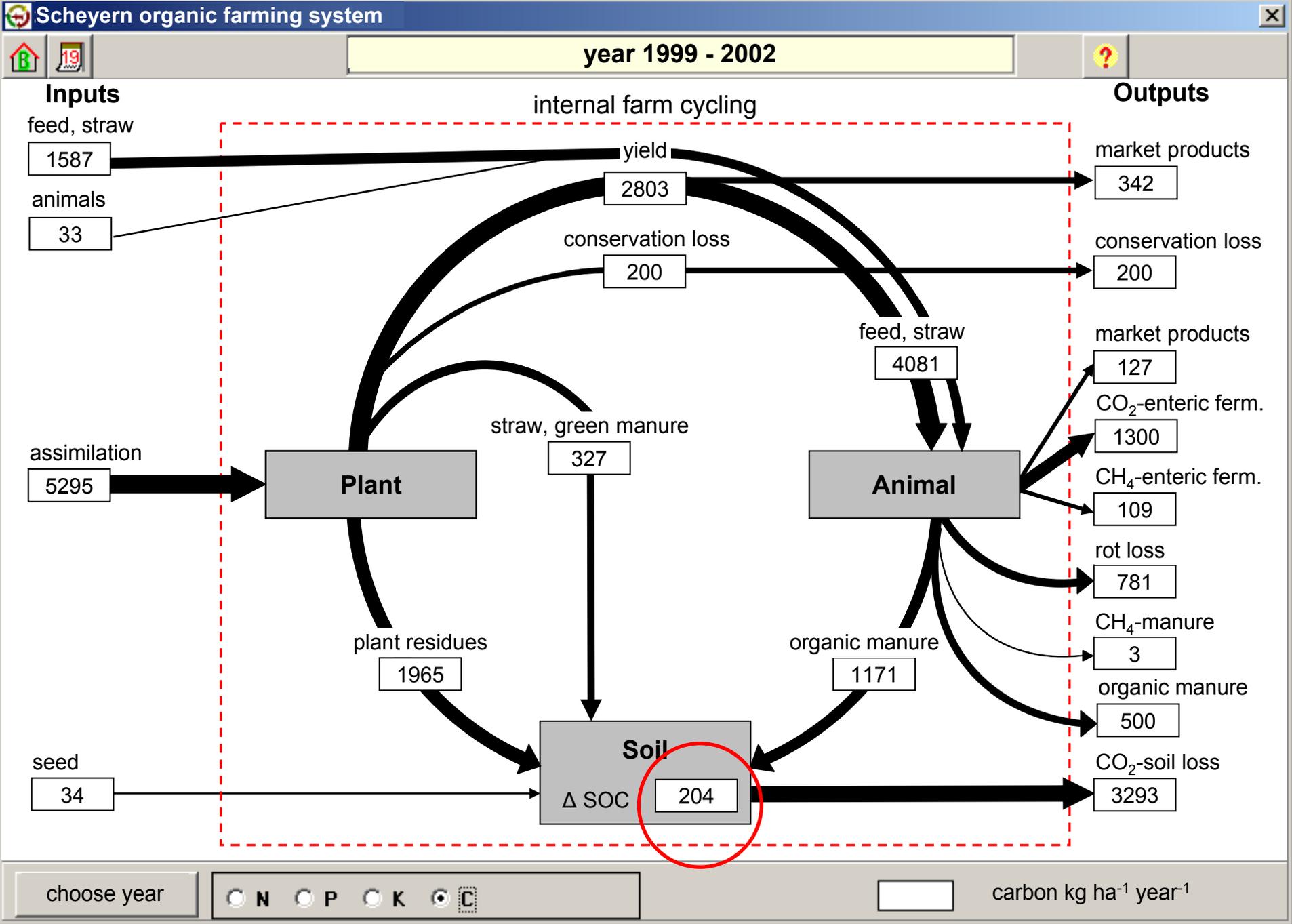


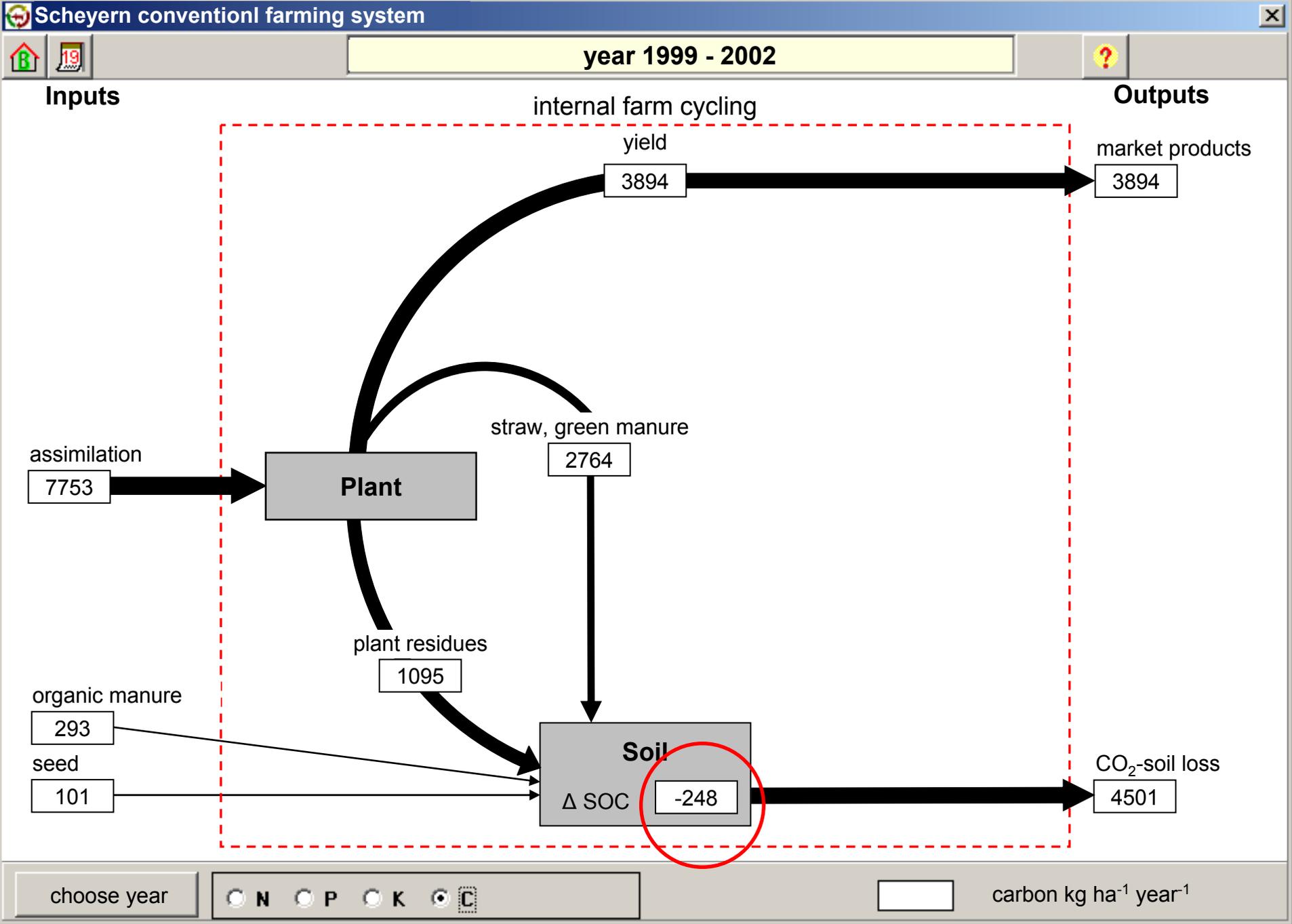


# Analyse betrieblicher Kohlenstoffkreisläufe

(Küstermann, Kainz & Hülsbergen 2007)



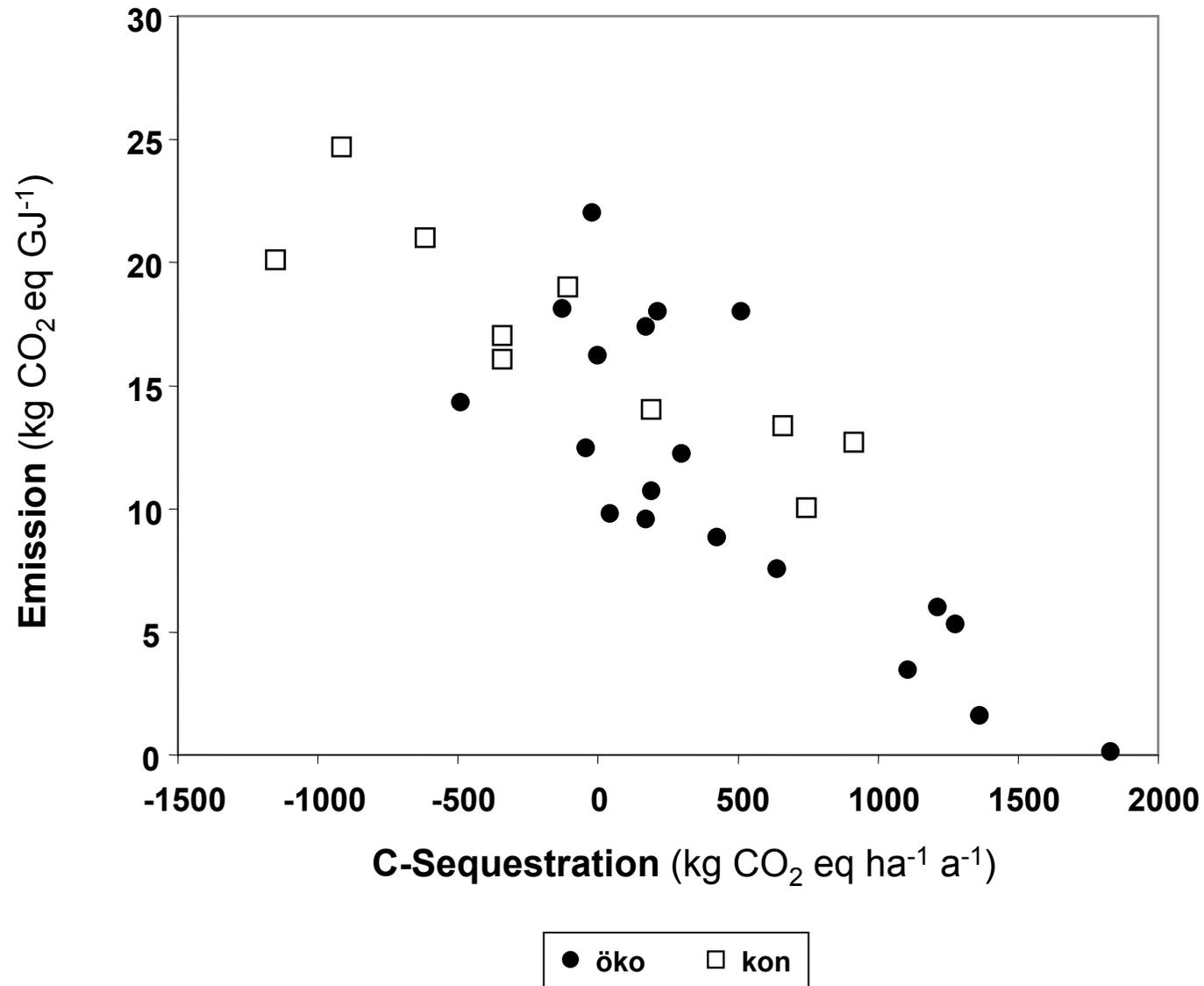






# Emission von Treibhausgasen je Produkteinheit

(Küstermann & Hülsbergen 2007)





*Renewable Agriculture and Food Systems: 23(0); 1–16*

# **Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems**

Björn Küstermann\*, Maximilian Kainz, and Kurt-Jürgen Hülsbergen

Accepted 30 July 2007

Research Paper

---

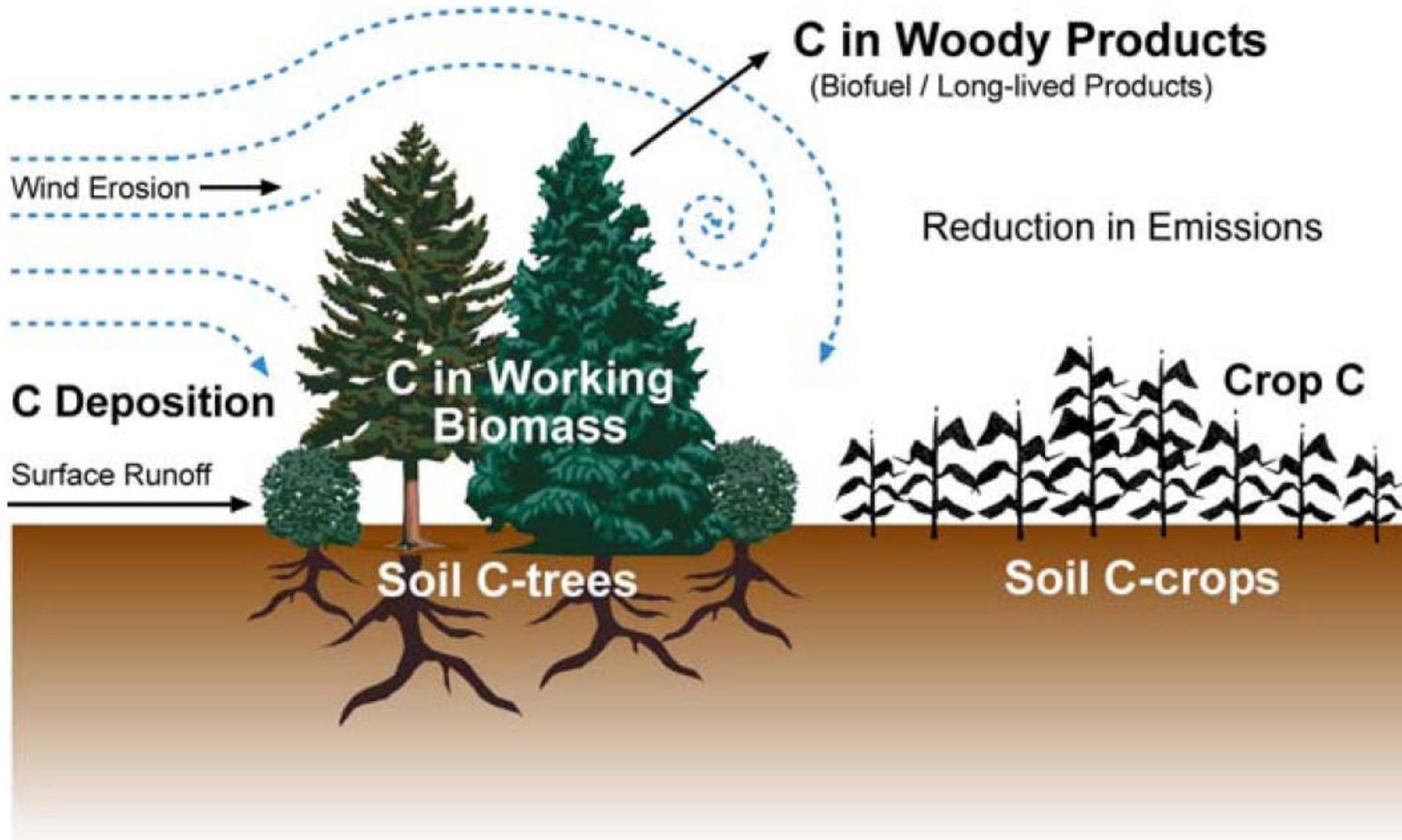
# C-Sequestrierung in Agroforstsystemen





# Major carbon sinks and sources in a field windbreak

Schoeneberger (2008): Agroforest Syst.





# 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**



# Terra Preta – Bodenprofile im Vergleich



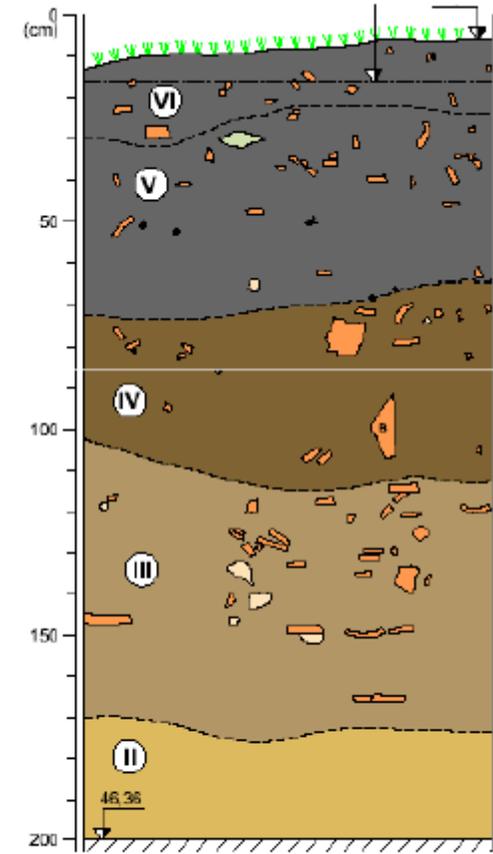
Ferrasol

Natürlicher Boden  
des Amazonas



Terra Preta

Terra Preta oberhalb  
des natürlichen Bodenhorizonts



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





**Einsparung fossiler Energie**

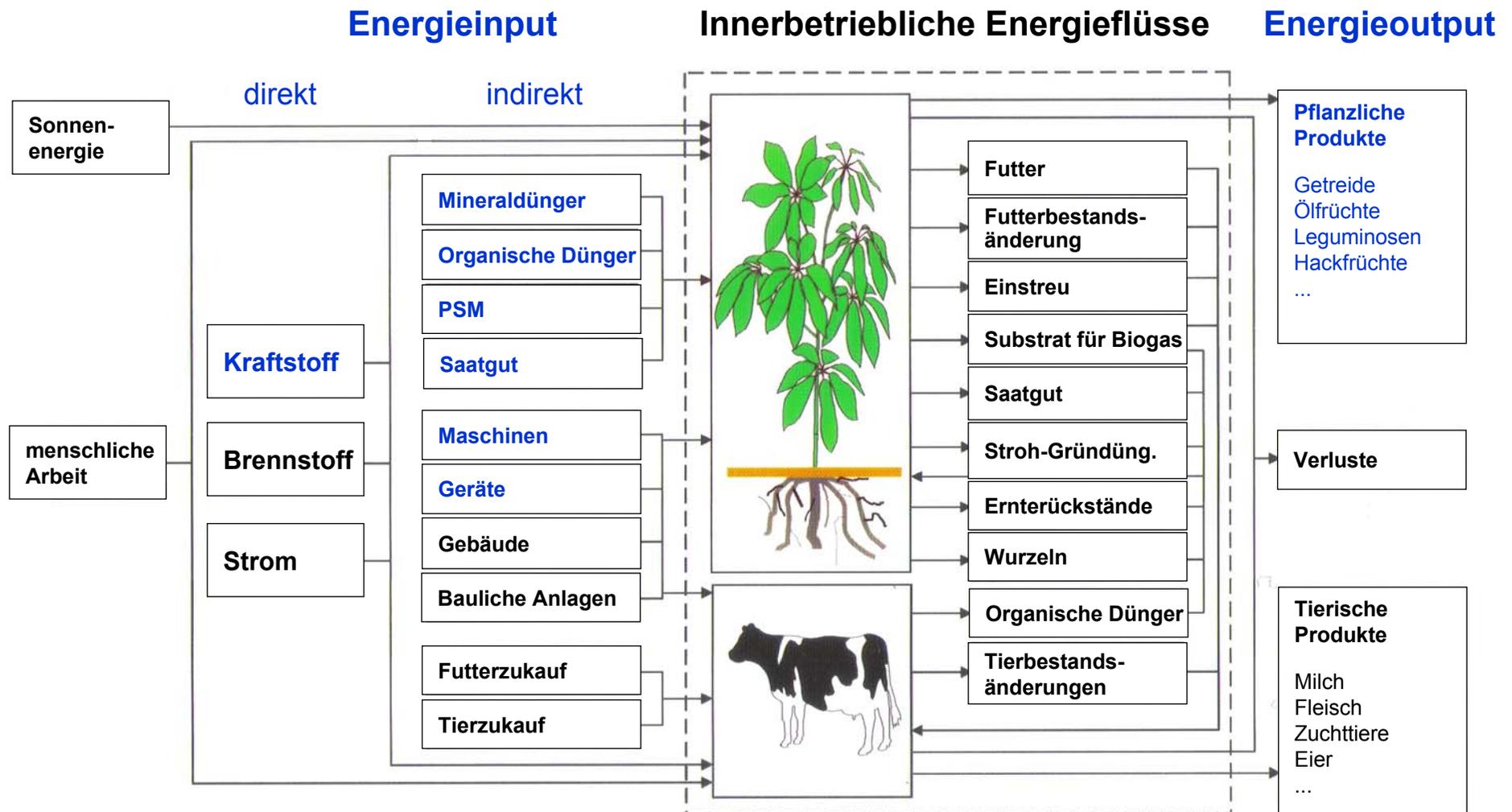
**Erhöhung der Energieeffizienz**

**Bioenergieerzeugung**





# Energieflüsse des Landwirtschaftsbetriebes

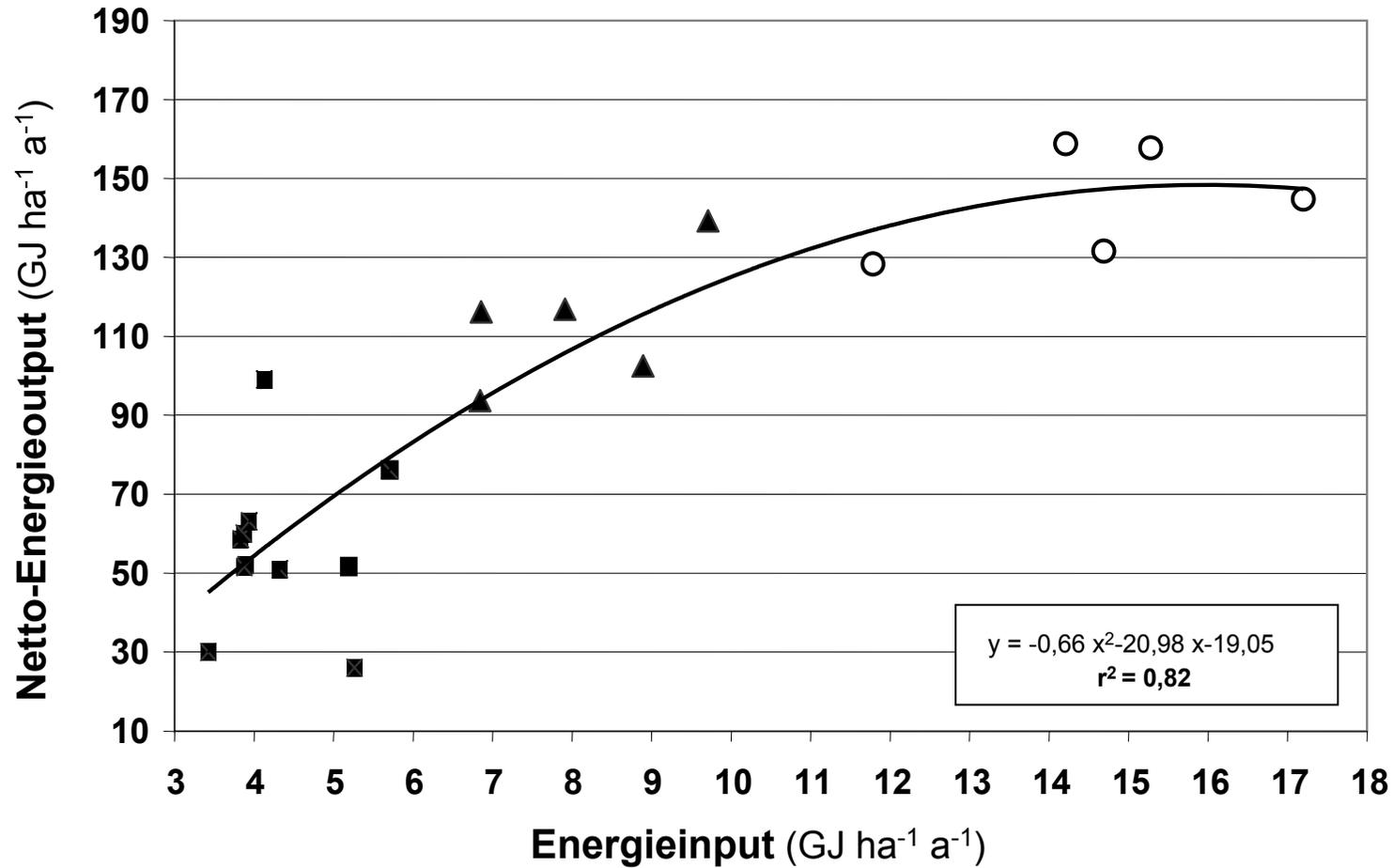






# Energieinput und Netto-Energieoutput

Betriebe im Tertiärhügelland in Bayern, Engelmann 2007



■ Org. Markfruchtbetrieb    ▲ Org. Gemischtbetrieb    ○ Integriert



# Emissionsinventur Bayerischer Betriebe (Pflanzenbau)

Energieinput, Ertrag und CO<sub>2</sub>-Emission (Küstermann & Hülshagen 2007)

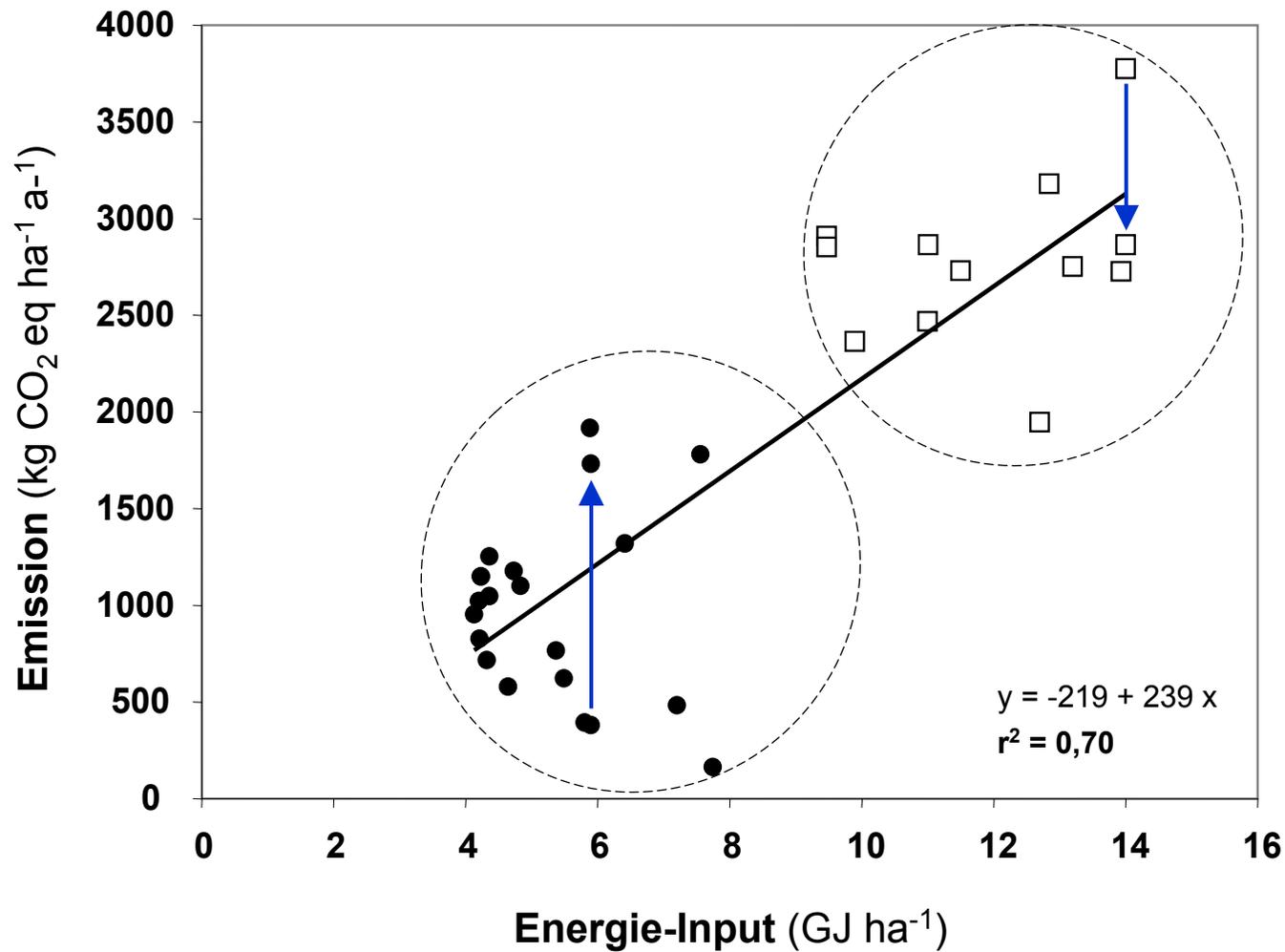


Parameter	ME	Ökologischer Landbau			Konventioneller Landbau		
		n = 19			n = 11		
Energie-Input	GJ/ha	<b>5,3</b>	4,1	7,8	<b>11,7</b>	9,5	15,0
Trockenmasse-Ertrag	dt/ha	<b>3,8</b>	2,0	7,7	<b>7,6</b>	4,5	9,0
Output/Input-Verhältnis		<b>13,0</b>	6,0	19,3	<b>11,8</b>	6,1	16,2
CO <sub>2</sub> -Emission	kg/ha	<b>454</b>	320	750	<b>1037</b>	819	1220



# Energieinput und Emission von Treibhausgasen

(Küstermann & Hülsbergen 2007)

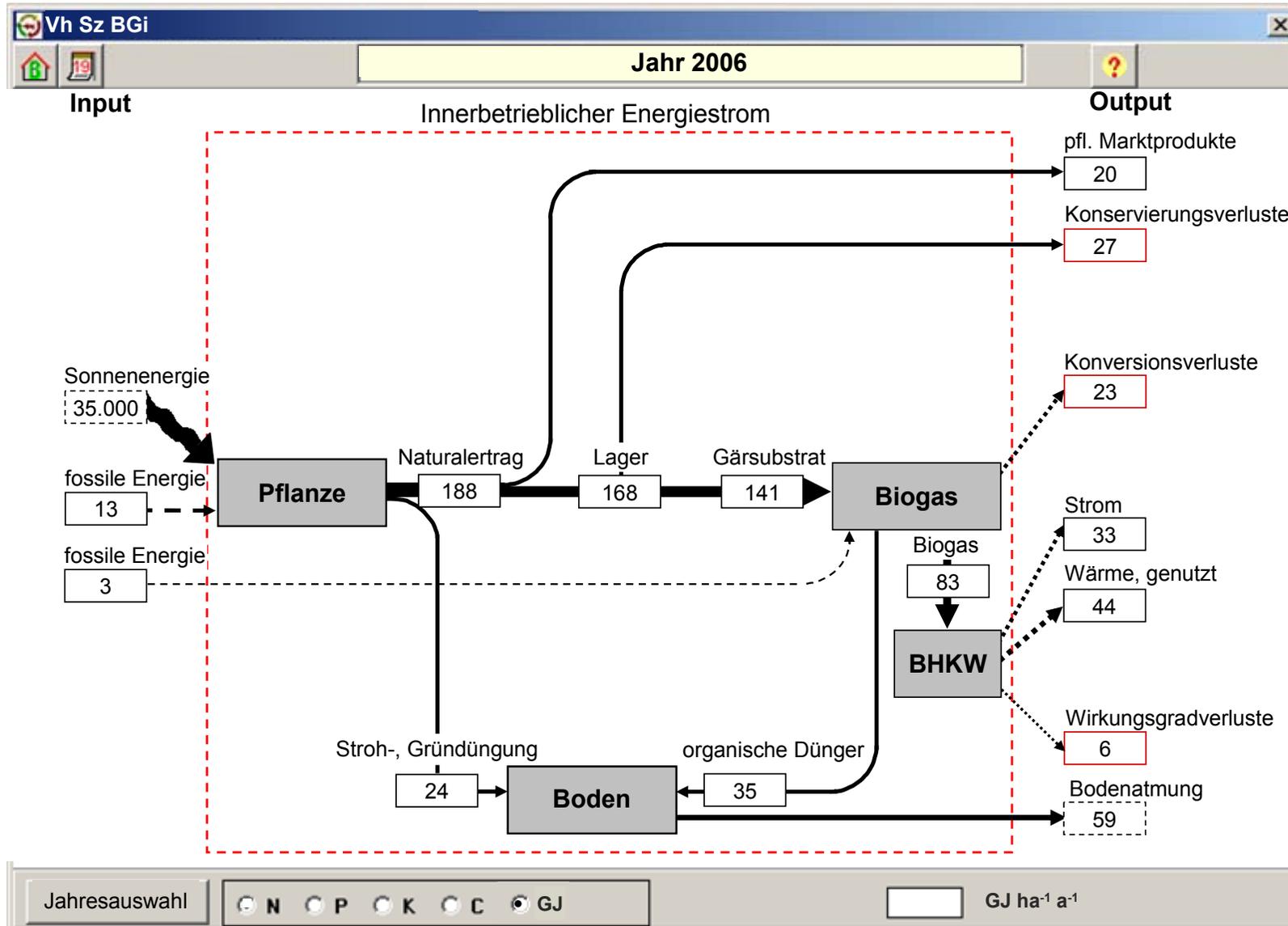


● org    □ int



# Energiefluss in einem Betrieb mit Biogaserzeugung

Helbig & Hülsbergen (2007)





## ➤ **Ökologischer Landbau**

geringe Energieinputs und CO<sub>2</sub>-Emissionen je Fläche (je Produkteinheit?)

5 bis 10 GJ ha<sup>-1</sup> (org) gegenüber 10 bis 20 GJ ha<sup>-1</sup> (int)

Energieeffizienz stark von Standort (Ertragspotential) und Fruchtart abhängig!

## ➤ **Bioenergieerzeugung und -nutzung**

Substitution fossiler Energieträger

Begrenzte Flächenpotentiale und Konkurrenz zur Nahrungserzeugung

Rapsmethylester: geringe Energieeffizienz

Biogaserzeugung: Energieeffizienz abhängig von der Wärmenutzung

Energieautarker Betrieb?





**Minderung der Stickstoffverluste ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NO_3^-$ , ...)**

**Erhöhung der Stickstoffeffizienz**

**Stickstoffkreislauf und Stickstoffmanagement**

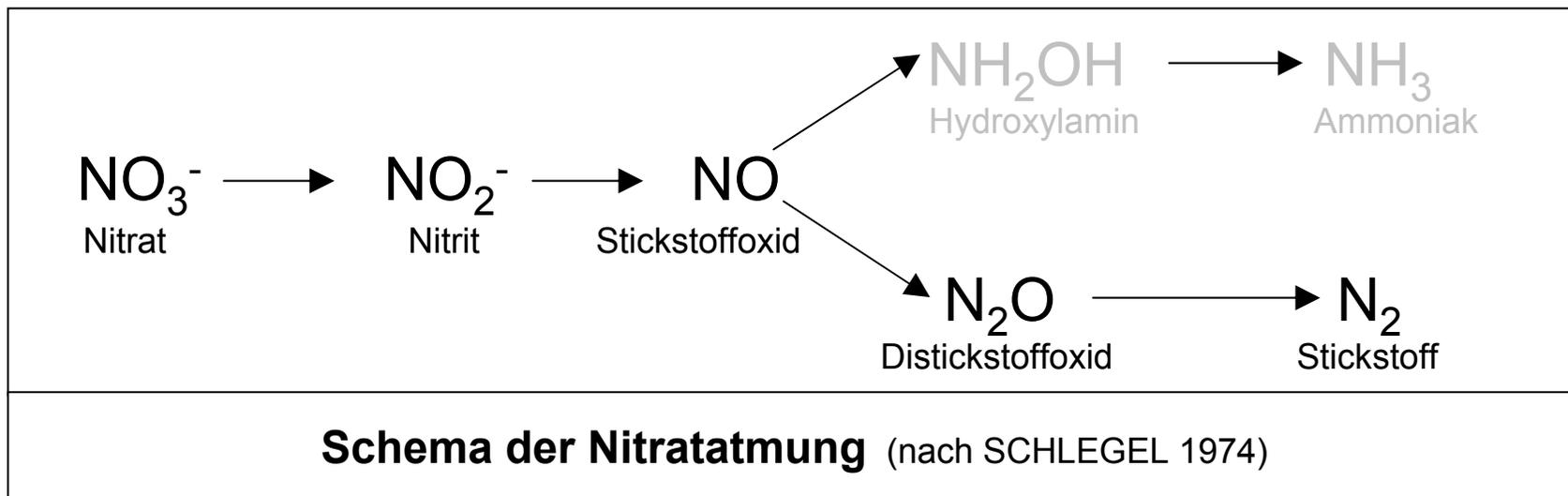




Feldlabor und Hauben zur Messung des Spurengasaustauschs (GSF-TUM)

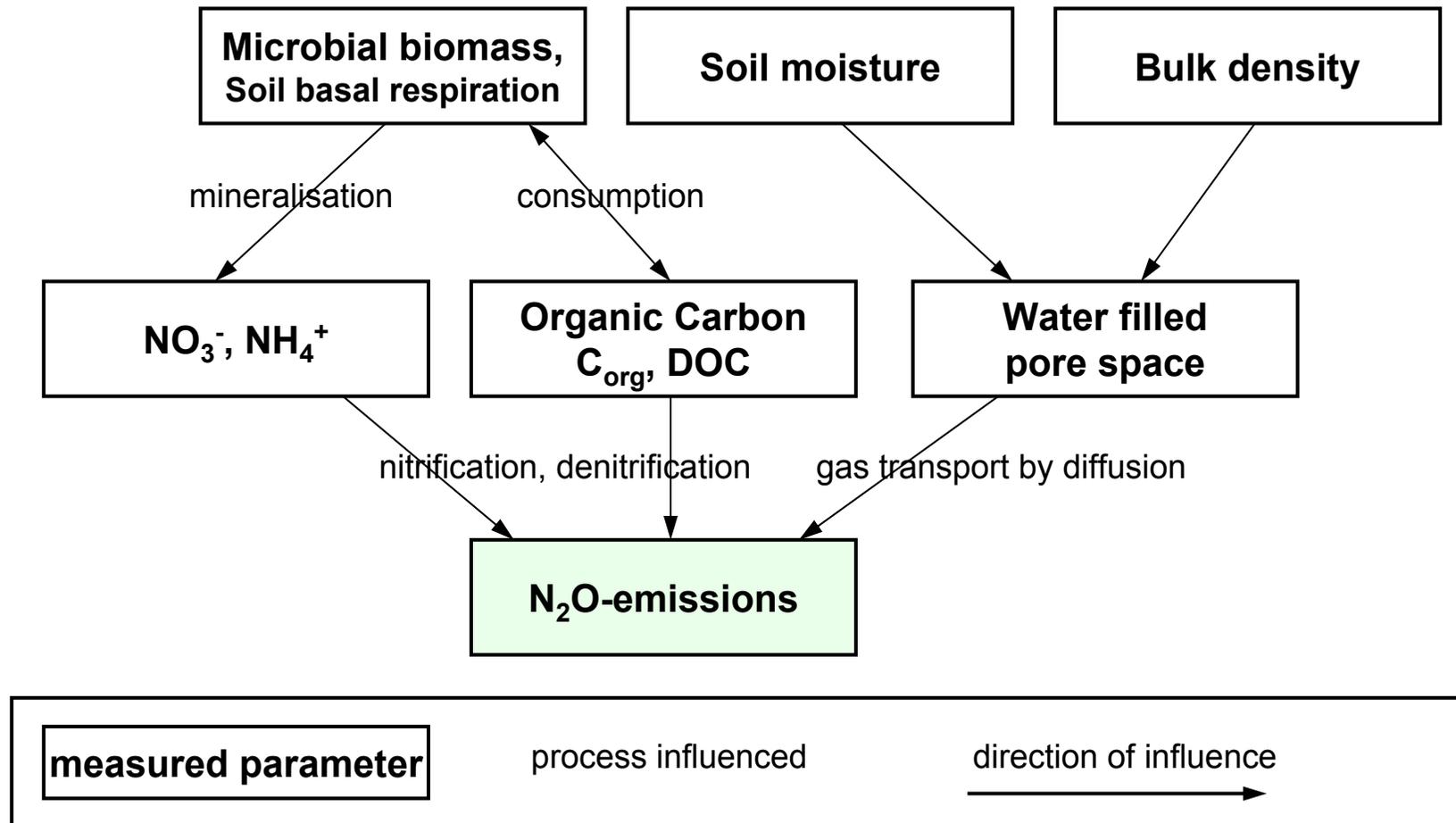


- $N_2O$  entsteht bei Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen im Boden.





# Räumliche Variabilität der N<sub>2</sub>O-Emissionen und Einflussfaktoren

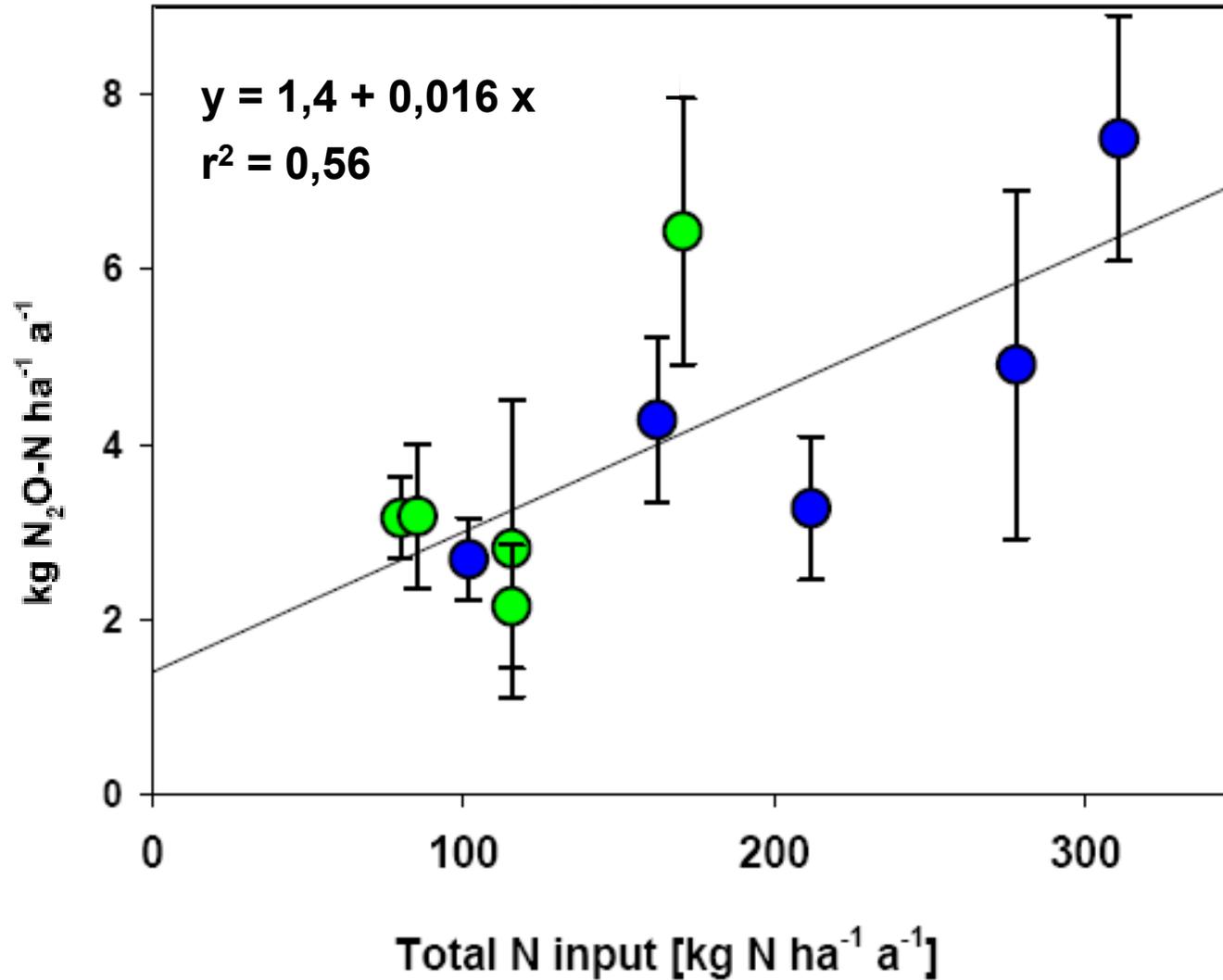




# N<sub>2</sub>O-Emissionen in Abhängigkeit vom N-Einsatz



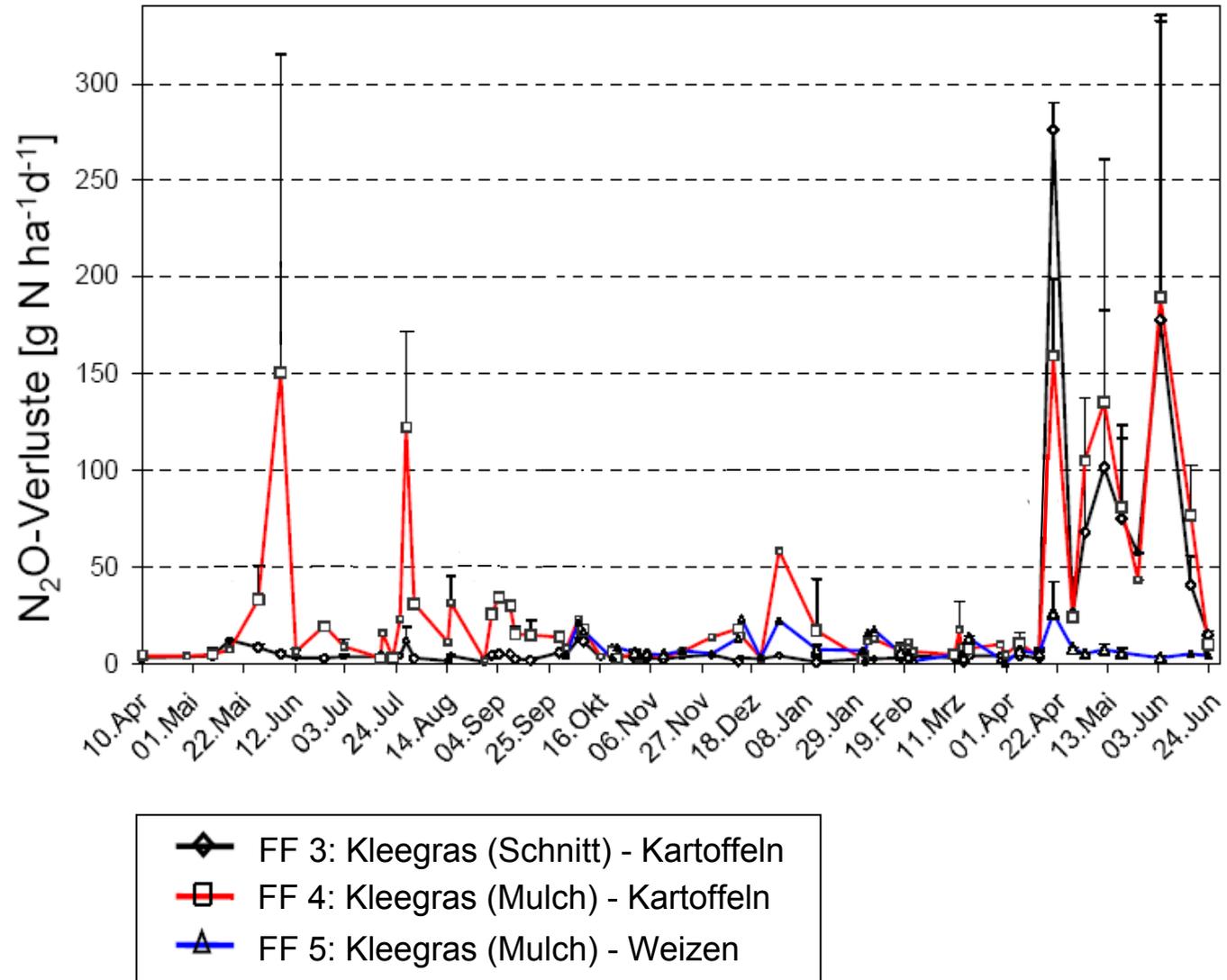
Petersen et al. (2006): Agriculture, Ecosystems and Environment 112, 200-206.





# N<sub>2</sub>O-Emission in Abhängigkeit von der Klee-gras-Nutzung

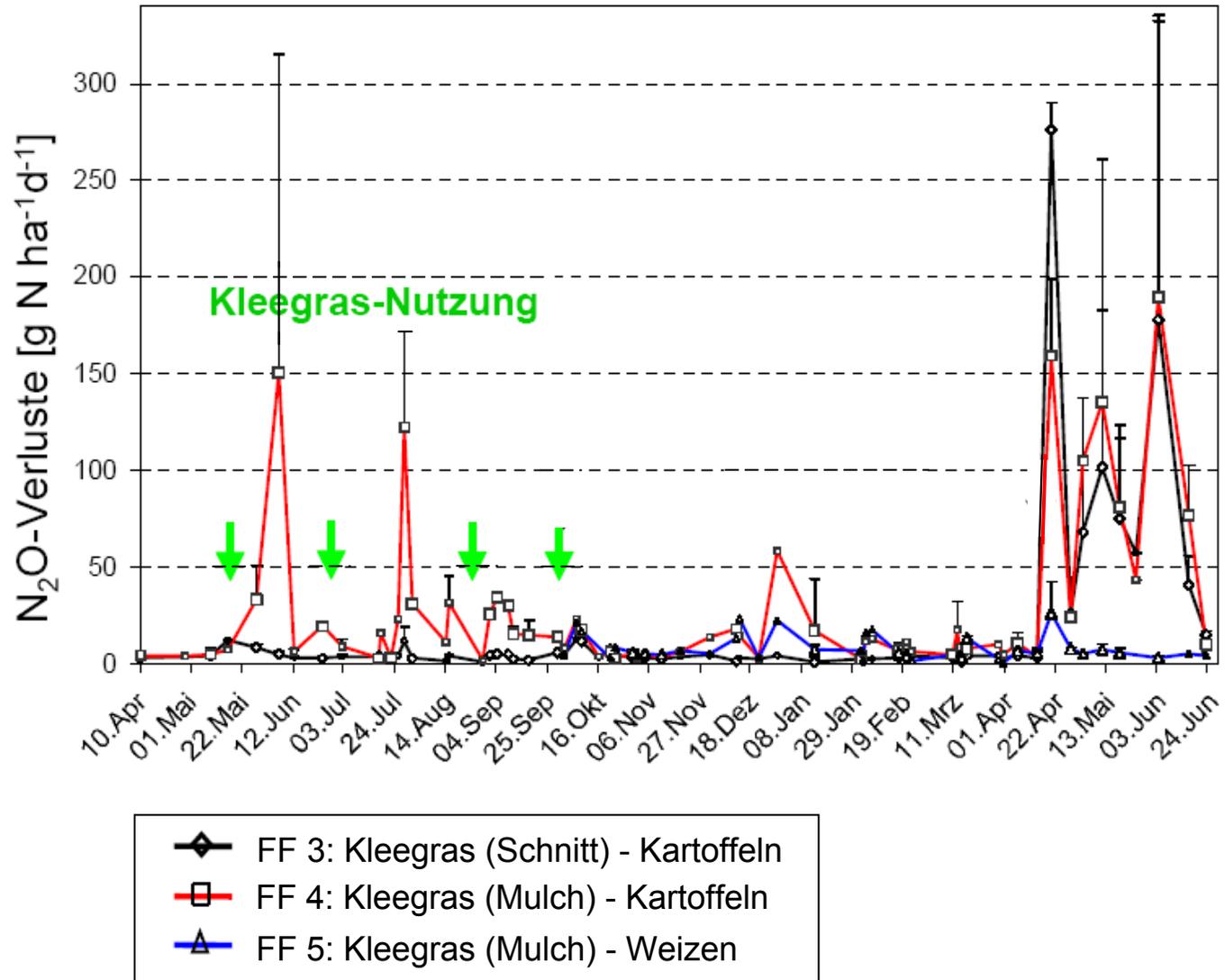
Dauerversuch in Viehhausen von 04/2003 bis 04/2004 (Heuwinkel, 2005)





# N<sub>2</sub>O-Emission in Abhängigkeit von der Klee-gras-Nutzung

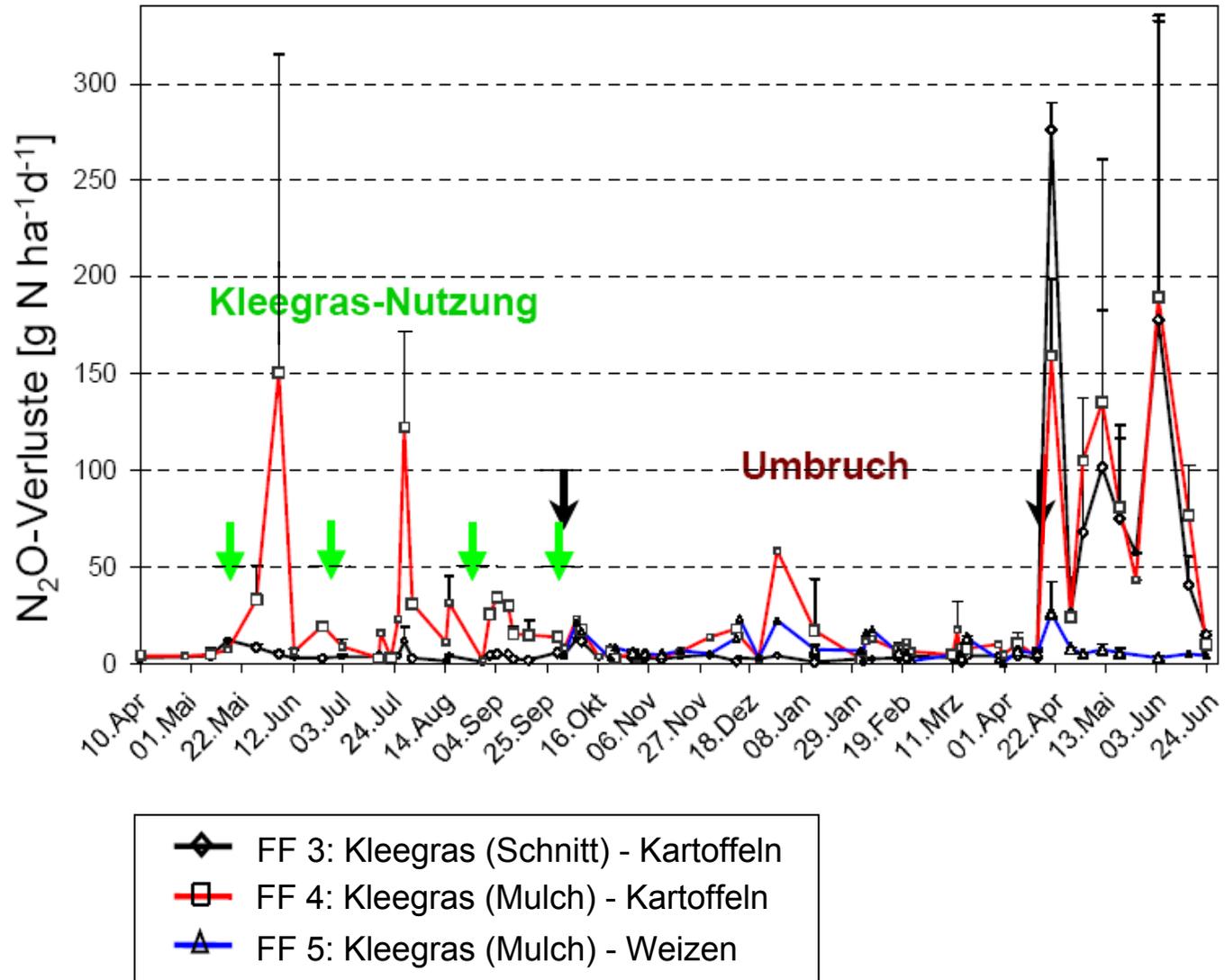
Dauerversuch in Viehhausen von 04/2003 bis 04/2004 (Heuwinkel, 2005)





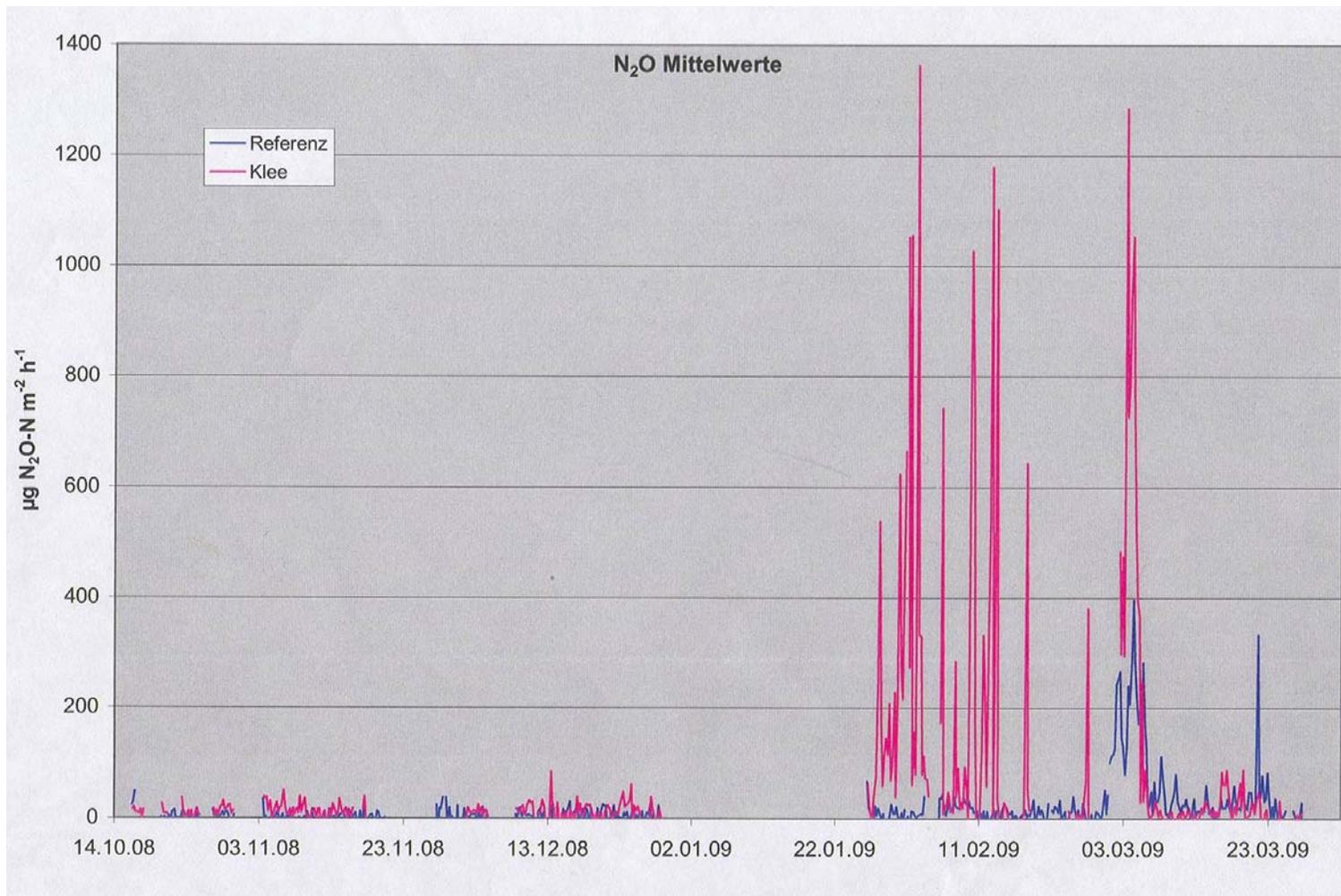
# N<sub>2</sub>O-Emission in Abhängigkeit von der Klee-gras-Nutzung

Dauerversuch in Viehhausen von 04/2003 bis 04/2004 (Heuwinkel, 2005)





# N<sub>2</sub>O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (unveröffentlicht)





# Kumulative N<sub>2</sub>O-Emissionen (kg N ha<sup>-1</sup>)

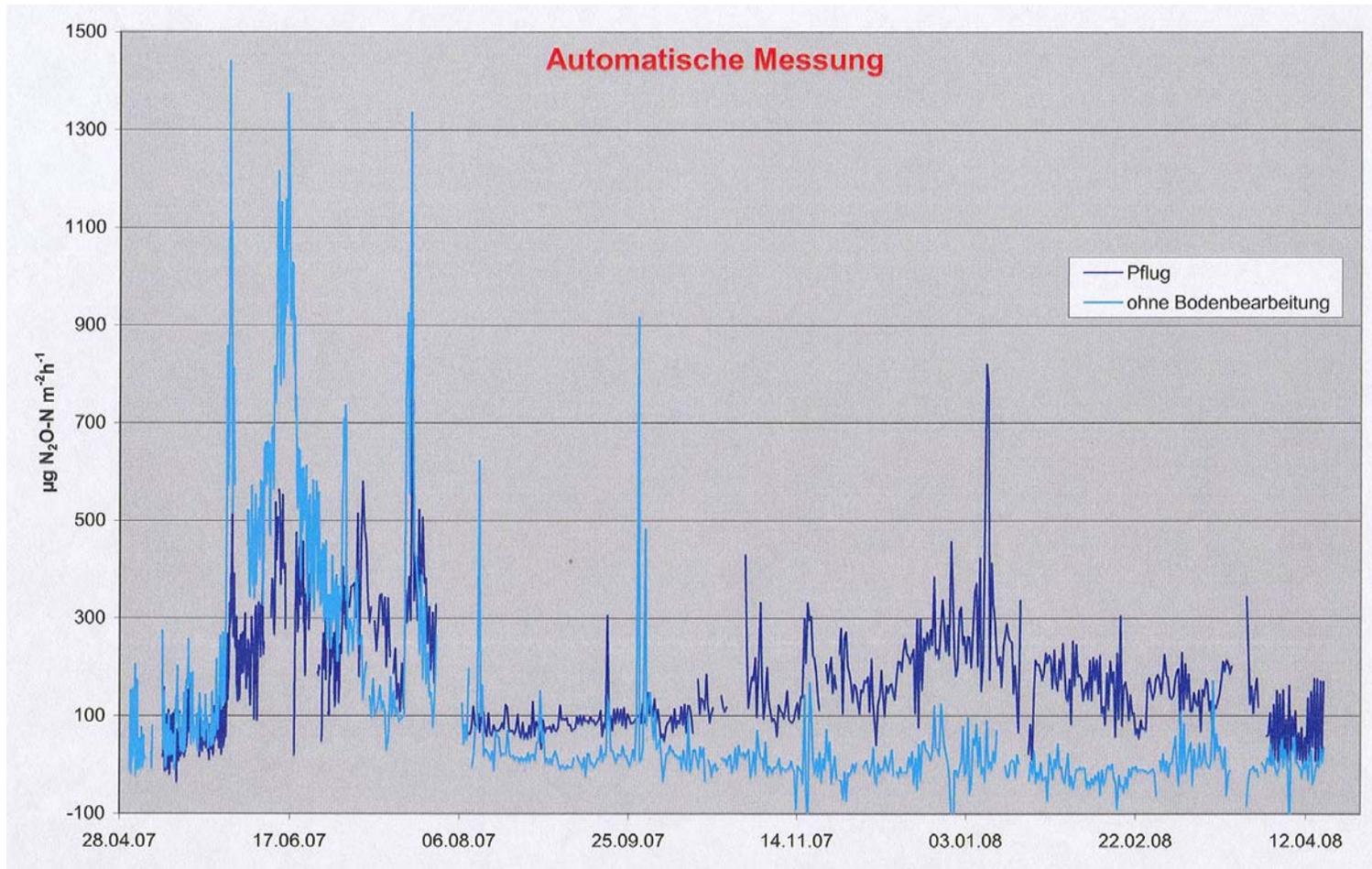
Heuwinkel et al. (2006)



Jahr	Mulch					Schnitt				
	'01	'02	'03	'04	Mittel	'01	'02	'03	'04	Mittel
<b>Sommer</b>	-	2.7	2.7	-	<b>2.7</b>	-	0.7	0.4	-	<b>0.6</b>
<b>Herbst</b>	1.0	0.5	1.0	-	<b>0.8</b>	0.2	0.8	0.4	-	<b>0.5</b>
<b>Winter</b>	-	0.4	2.1	1.4	<b>1.3</b>	-	0.2	0.4	0.2	<b>0.3</b>
<b>Frühling</b>	-	0.7	2.8	5.8	<b>3.1</b>	-	1.7	3.5	5.8	<b>3.6</b>
<b>Summe</b>	-	4.3	8.5	-	<b>7.9</b>	-	3.4	4.7	-	<b>5.0</b>



# N<sub>2</sub>O Emissionen im Systemversuch Scheyern (unveröffentlicht)





## ➤ **Ökologischer Landbau**

geringe N<sub>2</sub>O-Emissionen je Fläche (je Produkteinheit?)  
aufgrund deutlich geringerer N-Inputs (kein Mineral-N)  
und geringerer N<sub>min</sub>-Gehalte der Böden  
Probleme: Klee gras-Mulchsysteme

## ➤ **Unsicherheiten, methodische Probleme**

Standortabhängigkeit der Emissionen  
starke räumliche und zeitliche Variabilität  
Modelle noch nicht ausgereift  
fehlendes Messnetz / Monitoringsystem





## Reduzierung von Methanemissionen

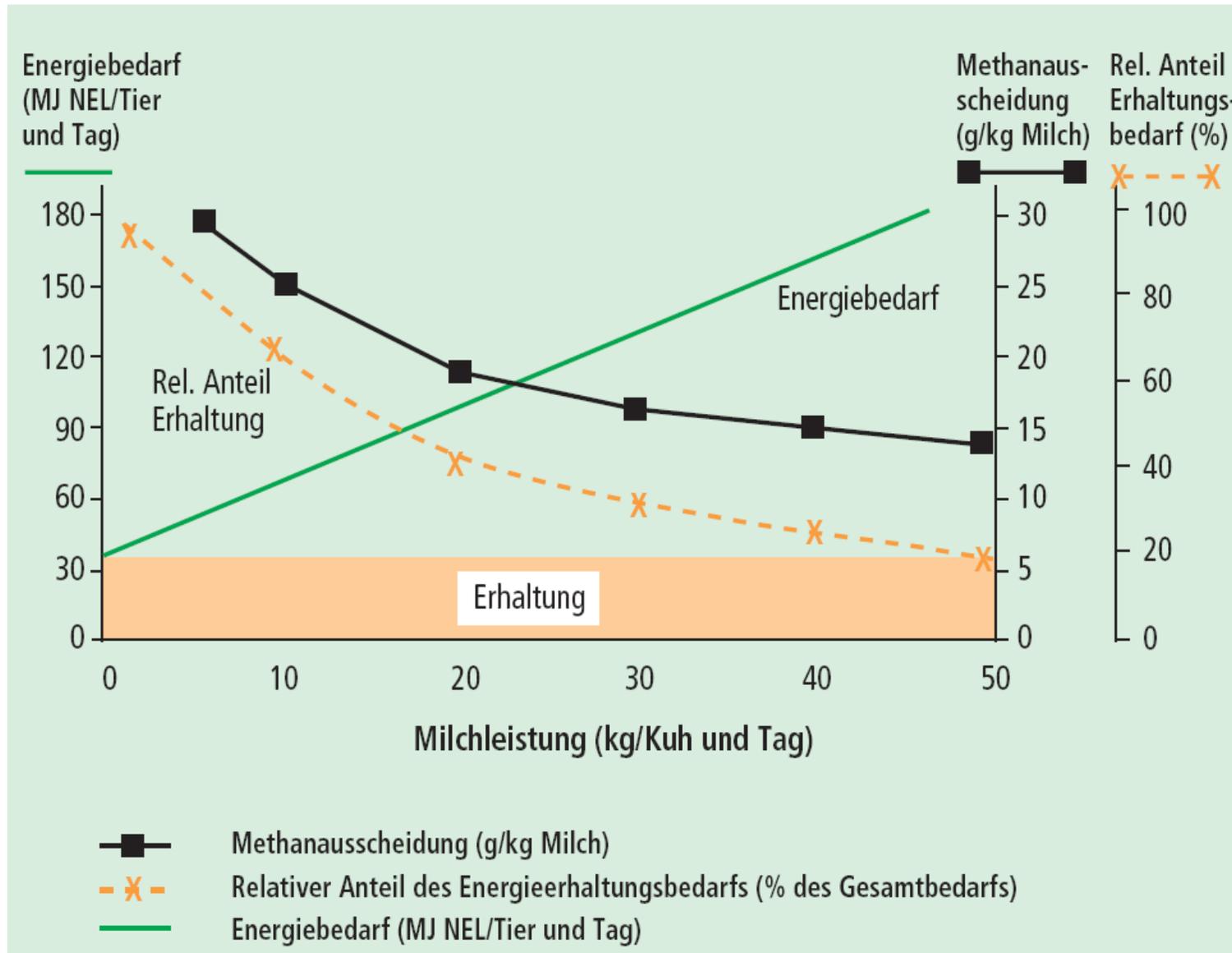
### Systemoptimierung der Milchviehhaltung

von der Futtererzeugung bis zur Düngerverwertung



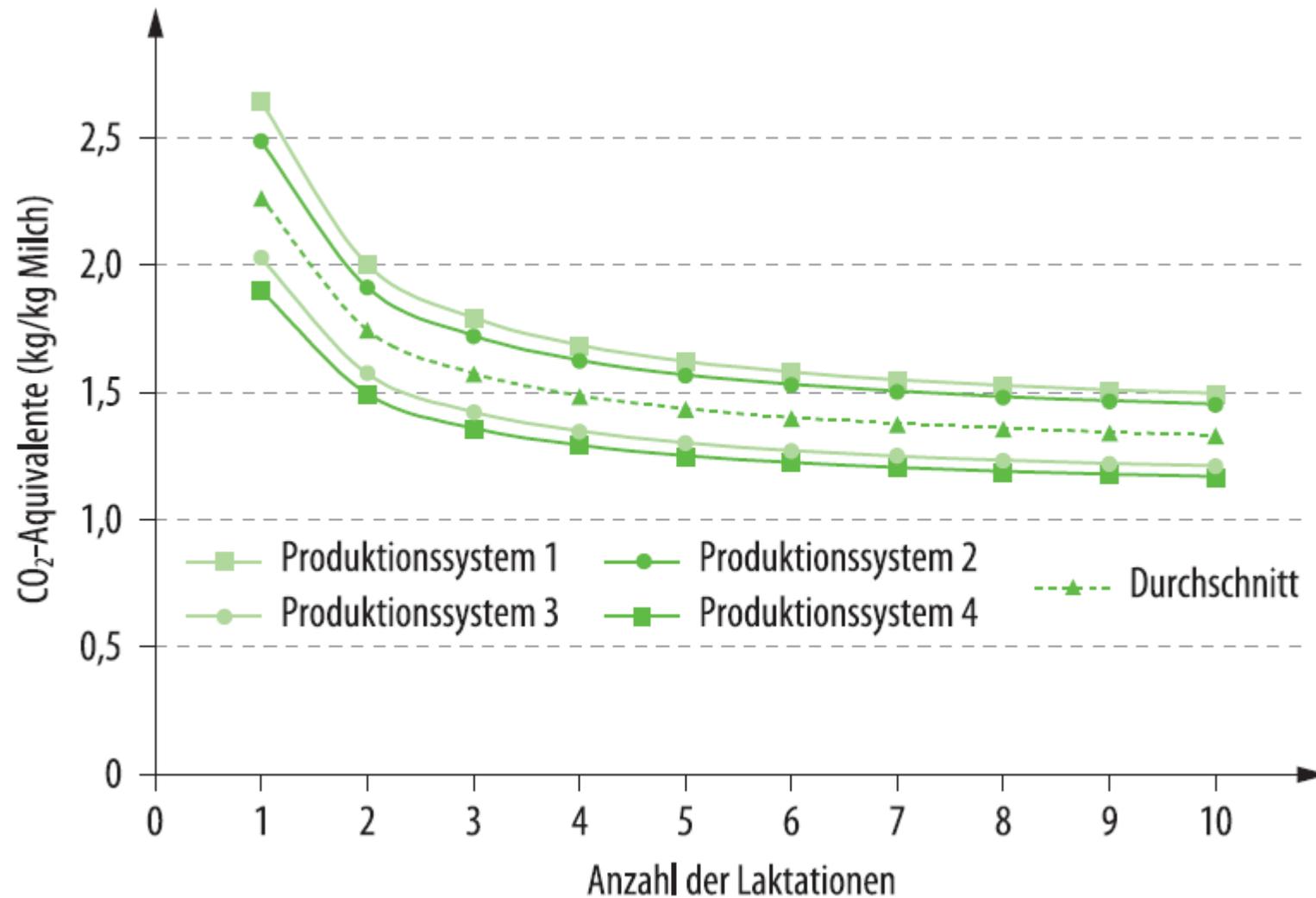


# Einfluss der Höhe der Milchleistung auf den Energiebedarf und die Methanausscheidung bei Milchkühen (Flachowsky & Lebzien 2005)





# Emissionen pro Kilogramm Milch von grünlandbasierten Produktionssystemen in Österreich



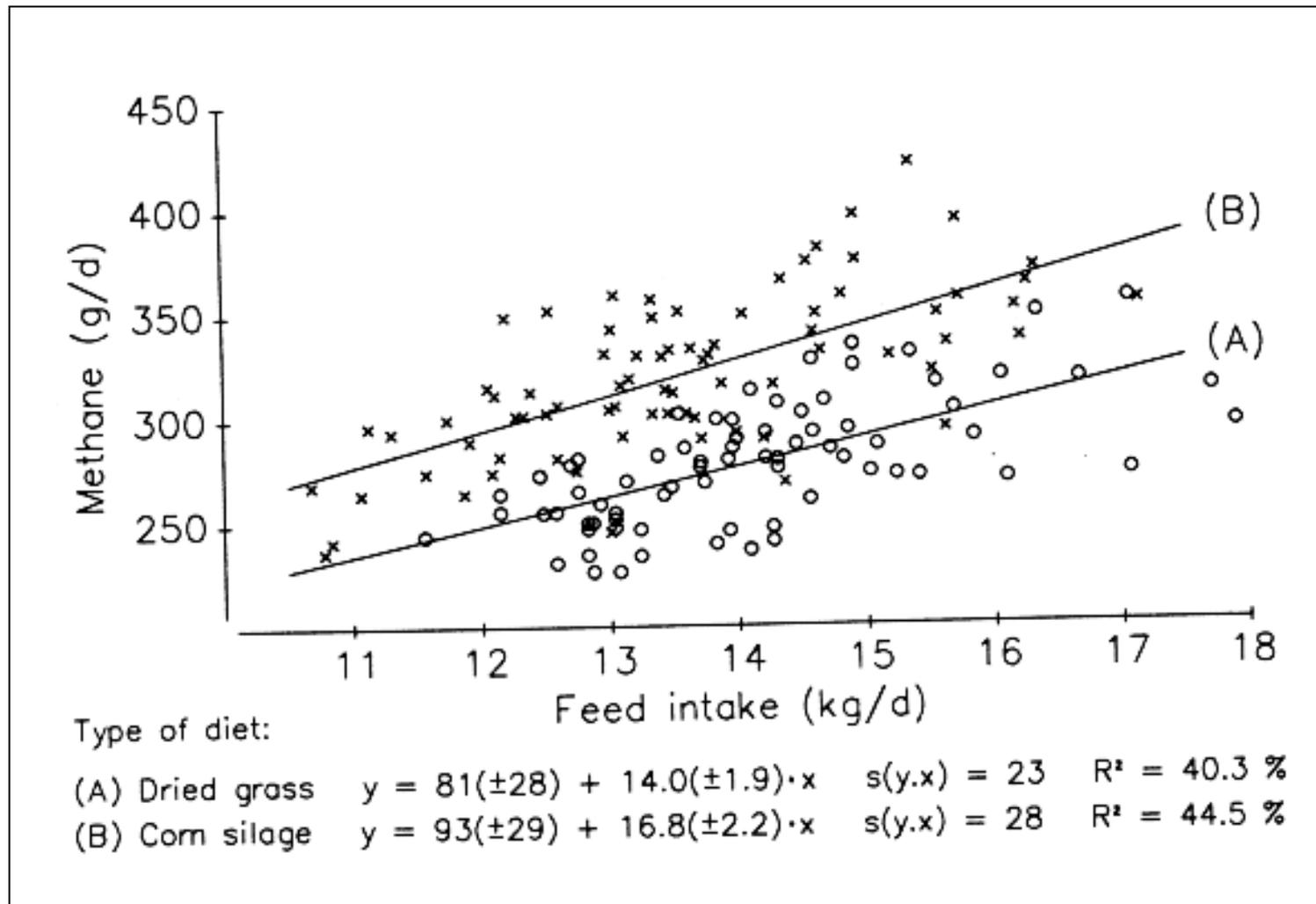


<b>Tierart</b>	<b>CH<sub>4</sub>-Bildungspotential kg/Tier und Jahr</b>
Rinder (pauschal)	162
Kälber	59
Milchkühe	345
Schweine	32
Geflügel	2,4

<b>Tierart</b>	<b>CH<sub>4</sub>-Konversionsfaktor</b>
Rinder	
Flüssigmistsysteme	0,150
Festmistsysteme	0,015
Weidehaltung	0,015



## Relation between dry matter intake and methane release





## **Systembewertung der Tierhaltung ist notwendig**

→ Erweiterung der Systemebene vom Einzeltier (Fütterung) auf den Betrieb!

- Interaktionen Pflanzenbau und Tierhaltung (C- und N-Stoffströme)
- Futtererzeugung auf Acker und Grünland und Emissionen  
(+ Futterzukauf, Transporte) und Emissionen
- Organische Dünger (Festmist, Flüssigmist) und Emissionen
- Böden als Quellen und Senken klimarelevanter Gase
  
- Einfluss der Milchleistung und der Zahl der Laktationen.

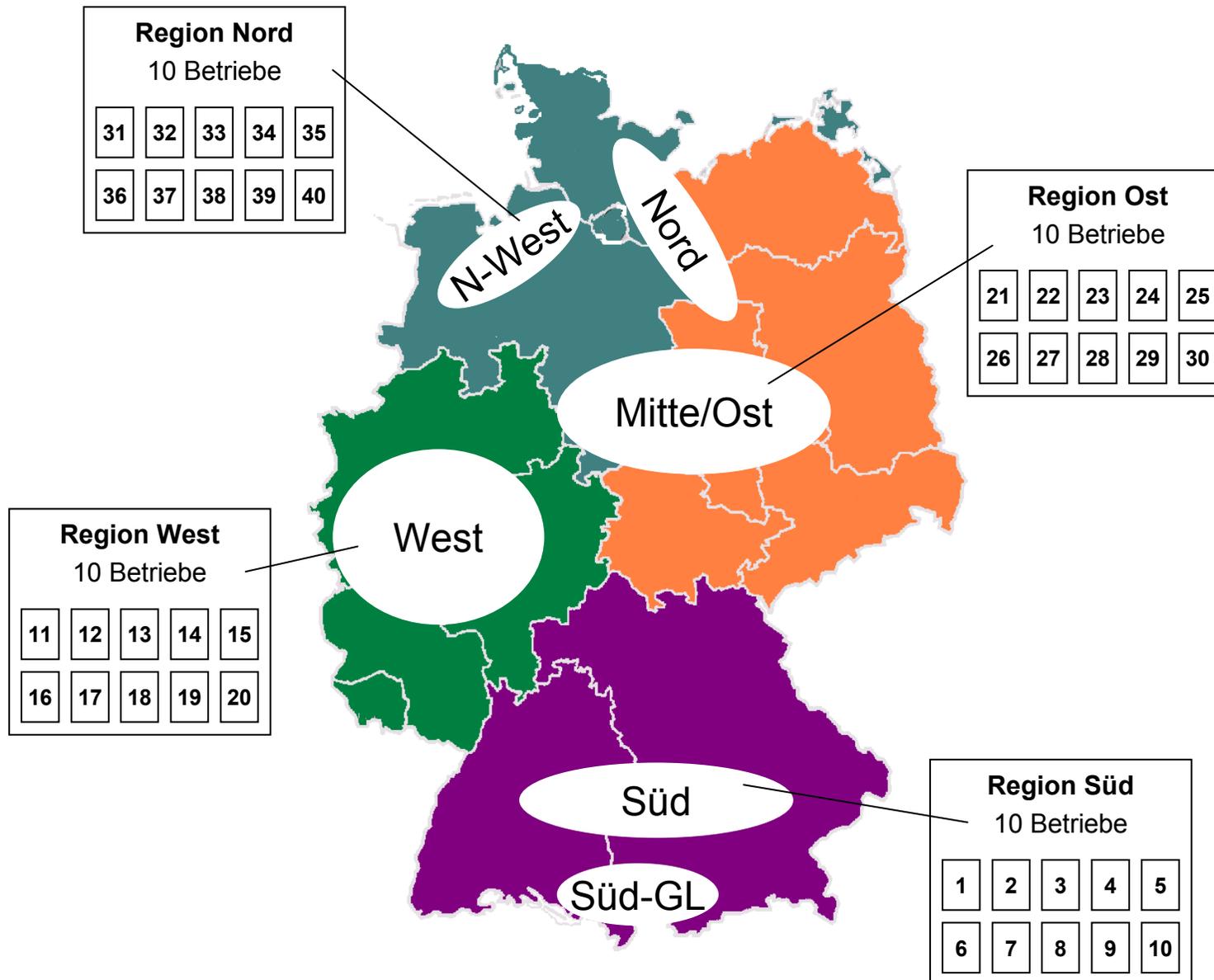


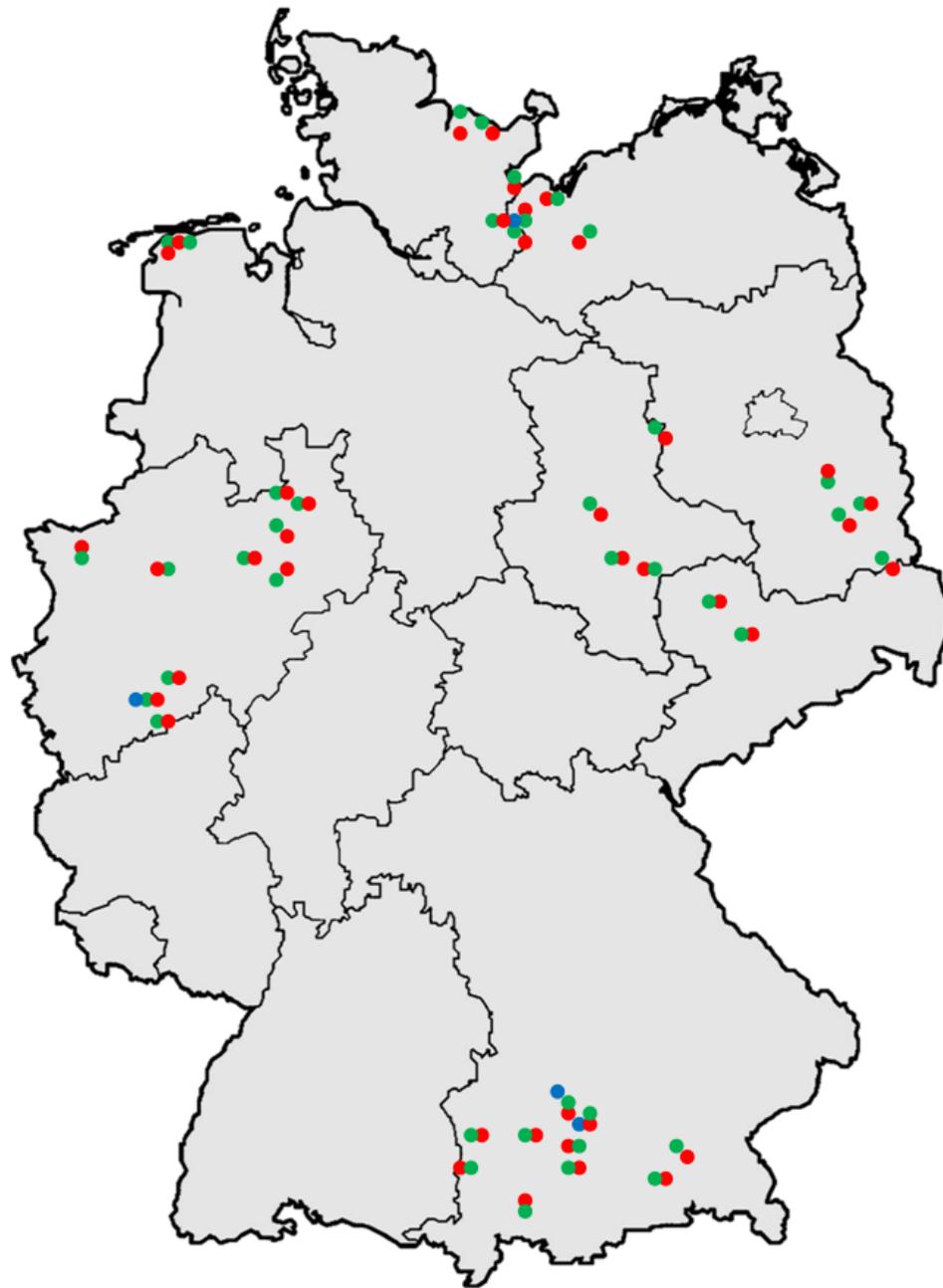
- **Klimaschutz ist das Umweltthema der Zukunft.**  
Die Landwirtschaft muss sich dem stellen und braucht belastbare Daten zur Klimarelevanz von Anbausystemen → Forschungsbedarf.
- **Ökolandbau kann einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.**  
Wie groß dieser Beitrag ist, hängt davon ab,  
wie der Ökolandbau (Betriebsstruktur, Verfahren) betrieben wird,  
wie groß die Öko-Anbaufläche ist.
- **Auch im Ökolandbau besteht Optimierungsbedarf**  
große betriebsindividuelle Variabilität der CO<sub>2</sub>-Emissionen  
→ Beratungsbedarf





# Klimawirkungen des Ökologischen Landbaus - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben





- Pilotbetrieb ökologisch
- Pilotbetrieb konventionell
- Versuchsstation





# Hochwasserschutz durch ökologische Bewirtschaftung

Lilienthal & Schnug (2008)



**Kann durch den Wechsel der Bewirtschaftungsweise ein Beitrag zum präventiven Hochwasserschutz geleistet werden?**

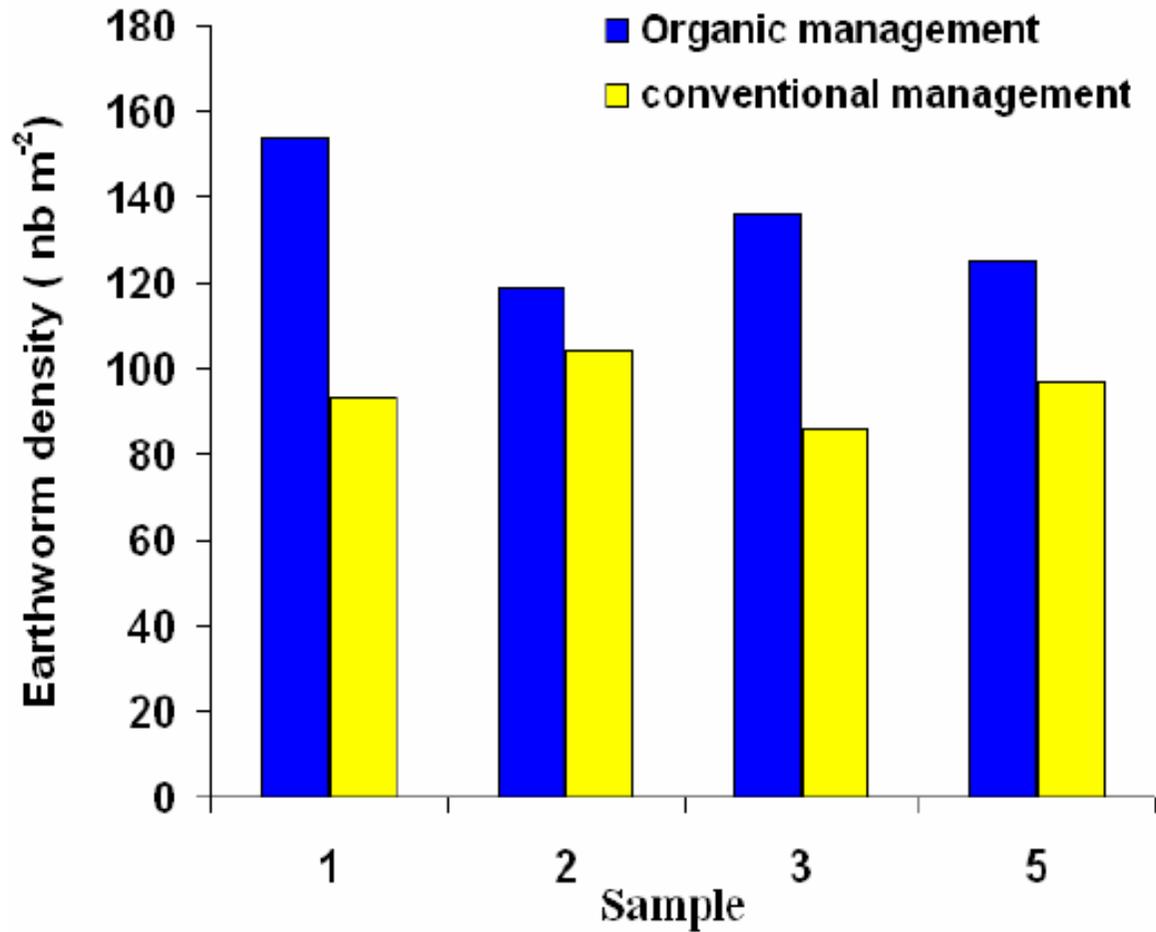


Der Verlust der Infiltrationskapazität eines Bodens führt zu einer schleichenden Versiegelung. Sie ist ein Ergebnis vieler Prozesse wie z.B. Degradation der Bodenstruktur durch den Einsatz schwerer Maschinen, Verlust biologischer Aktivität etc...



# Anzahl Regenwürmer bei unterschiedlicher Bewirtschaftung

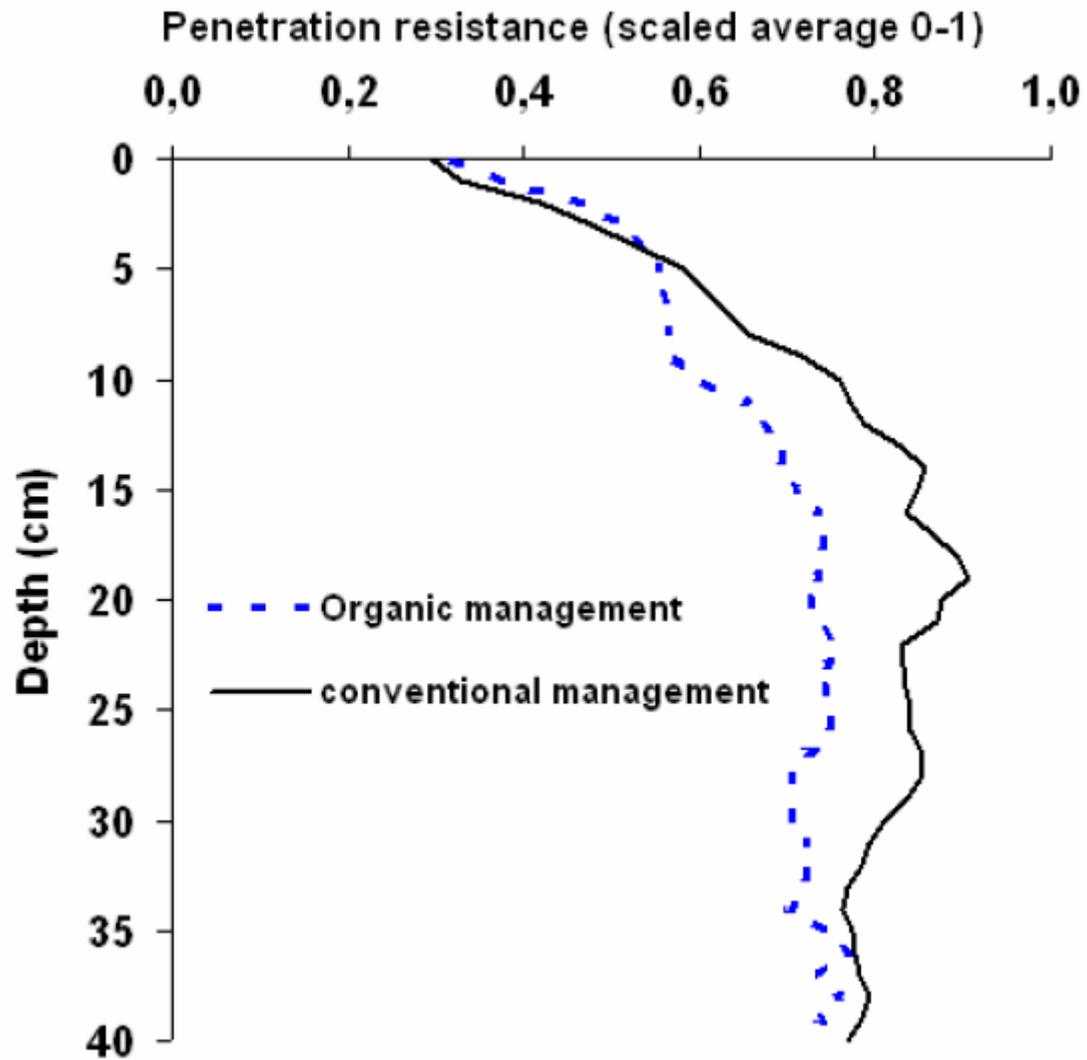
Lilienthal & Schnug (2008)





# Eindringwiderstand bei unterschiedlicher Bewirtschaftung

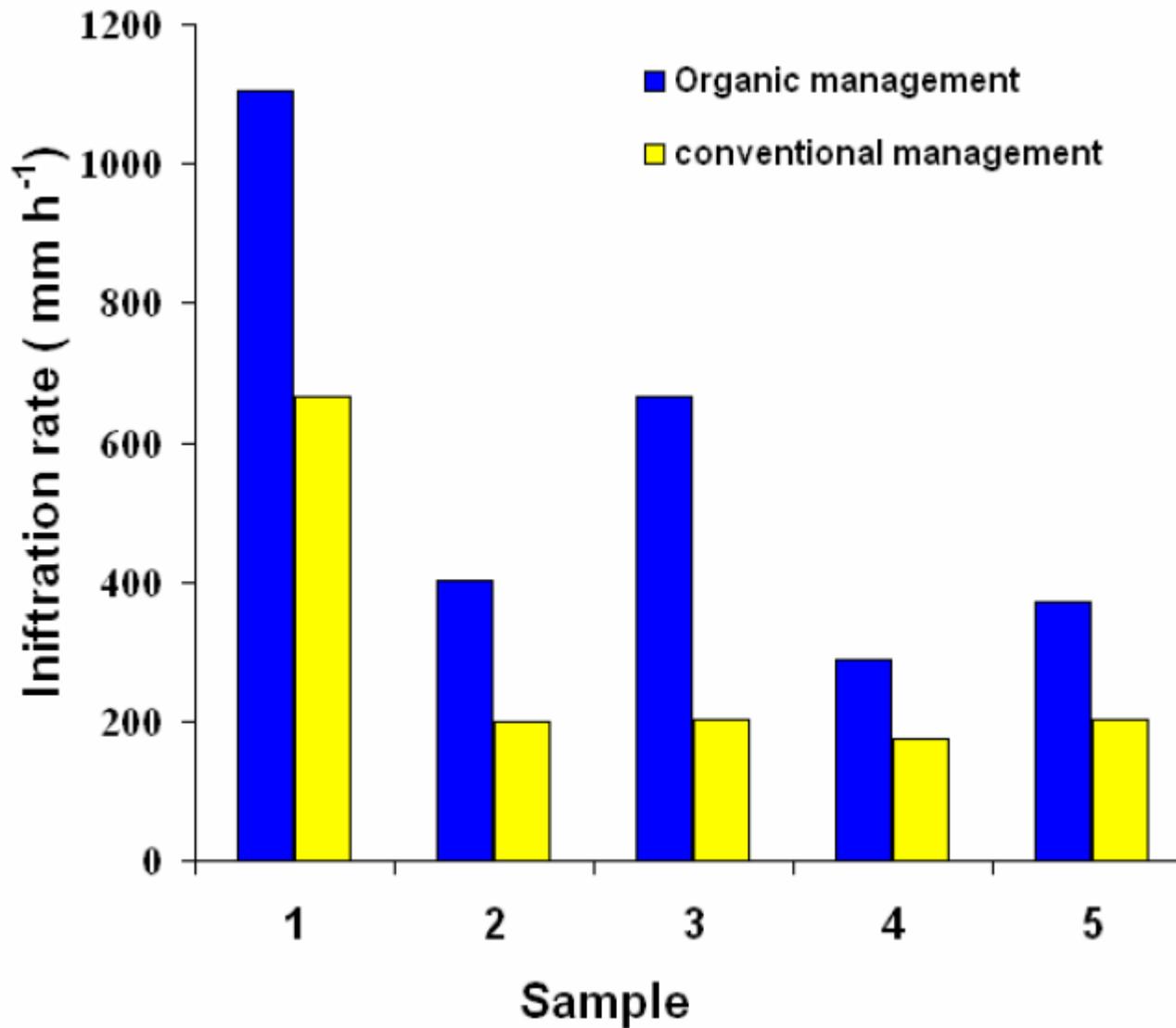
Lilienthal & Schnug (2008)





# Infiltrationskapazität bei unterschiedlicher Bewirtschaftung

Lilienthal & Schnug (2008)







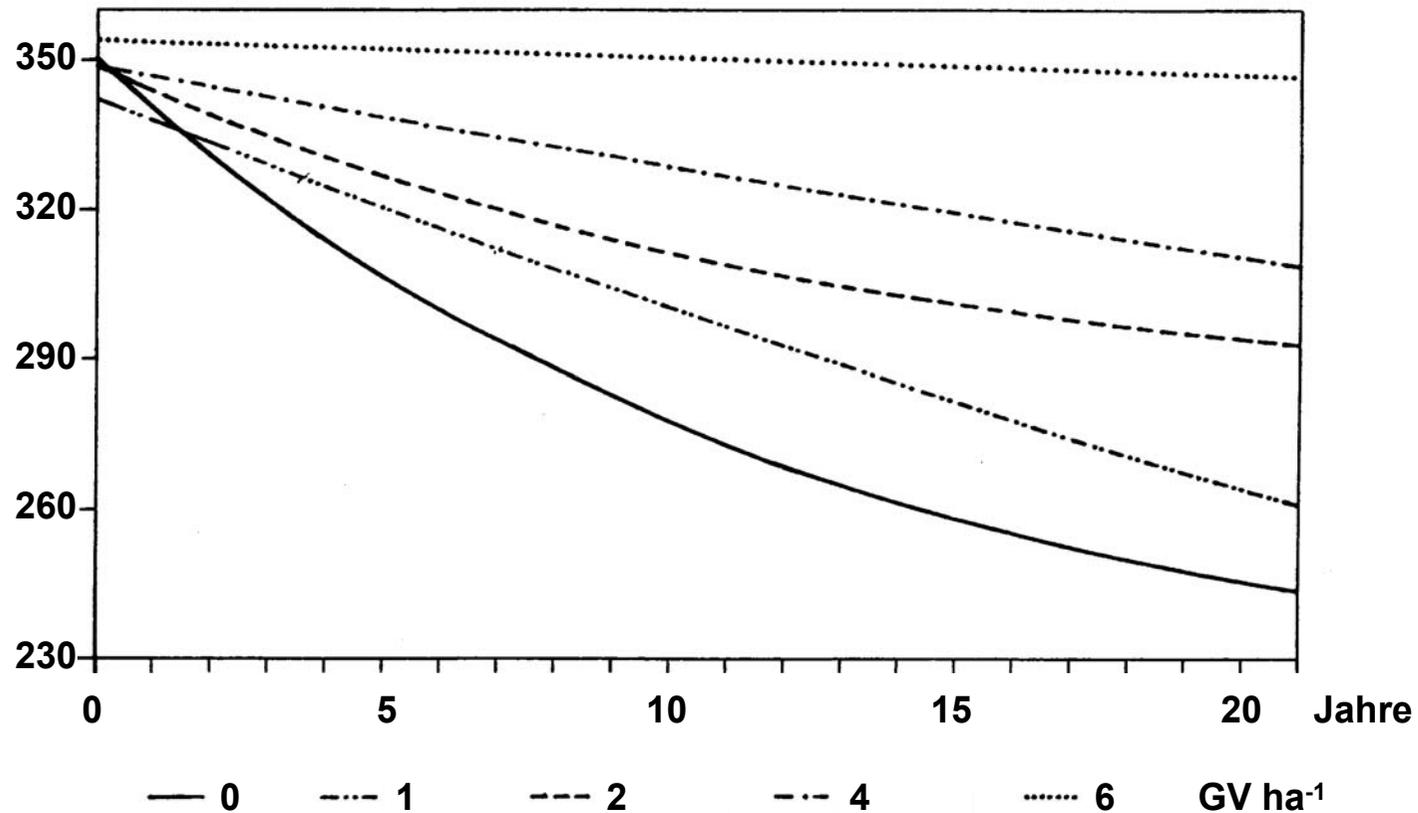


# Entwicklung der $N_{org}$ -Gehalte nach Grünlandumbruch

Dauerversuch Lauterbach, Erzgebirge (Hülsbergen et al. 1996)



$N_{org}$  (mg 100 g<sup>-1</sup> Boden)



## Humusabbau (Variante mit 0 GV ha<sup>-1</sup>):

2.200 kg N ha<sup>-1</sup> = 110 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>

22.000 kg C ha<sup>-1</sup> = 1.100 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> = ca. 4000 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>



# **Grünlandumbruch und Silomaisanbau in Deutschland**

(dlz agrarmagazin 2008, Roßberg & Hartmann 2007)



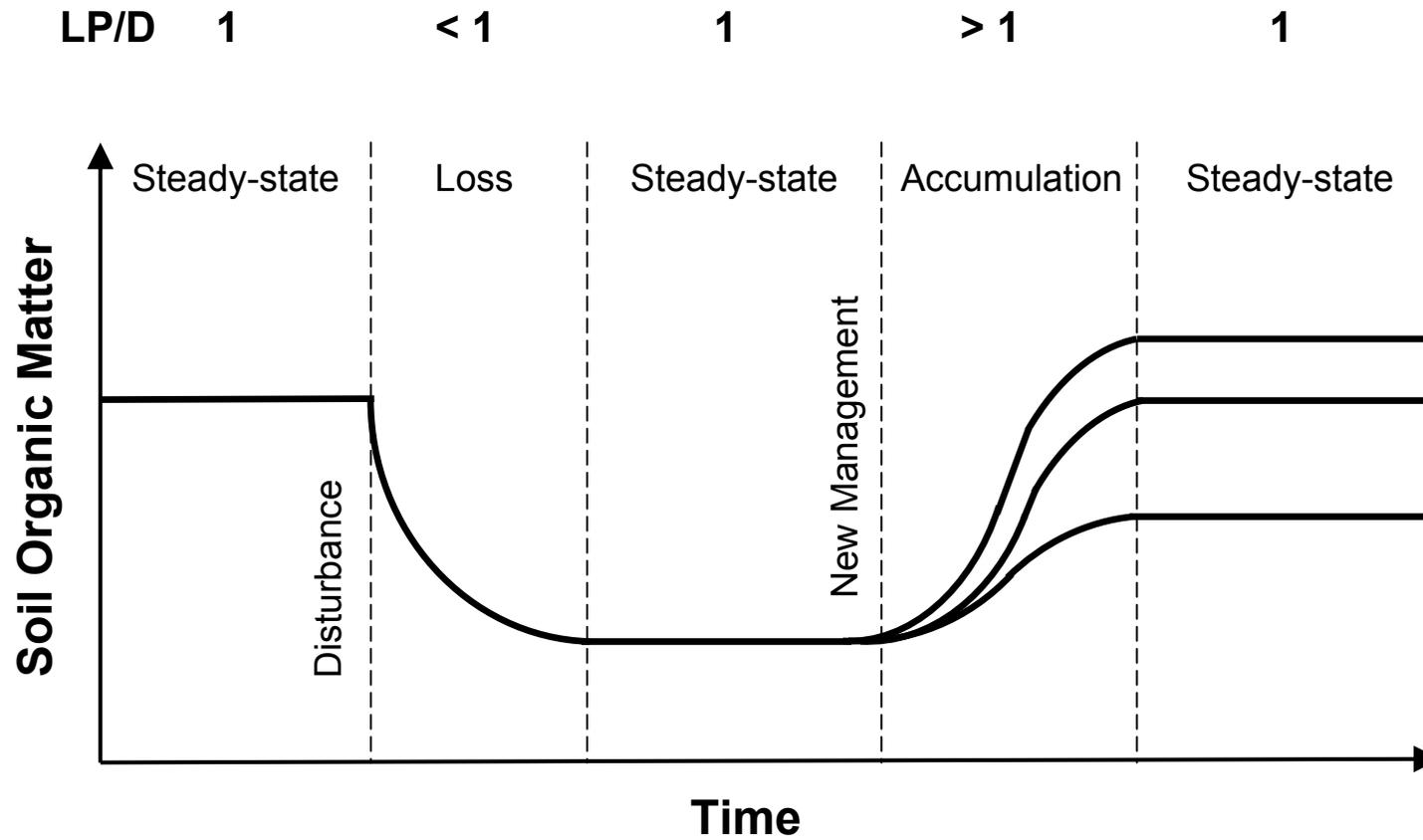
**Die Grünlandfläche nahm in Deutschland von 2003 bis 2007 um 154.000 ha (3,1 %) ab, in Schleswig-Holstein sogar um 5 %.**

**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.**



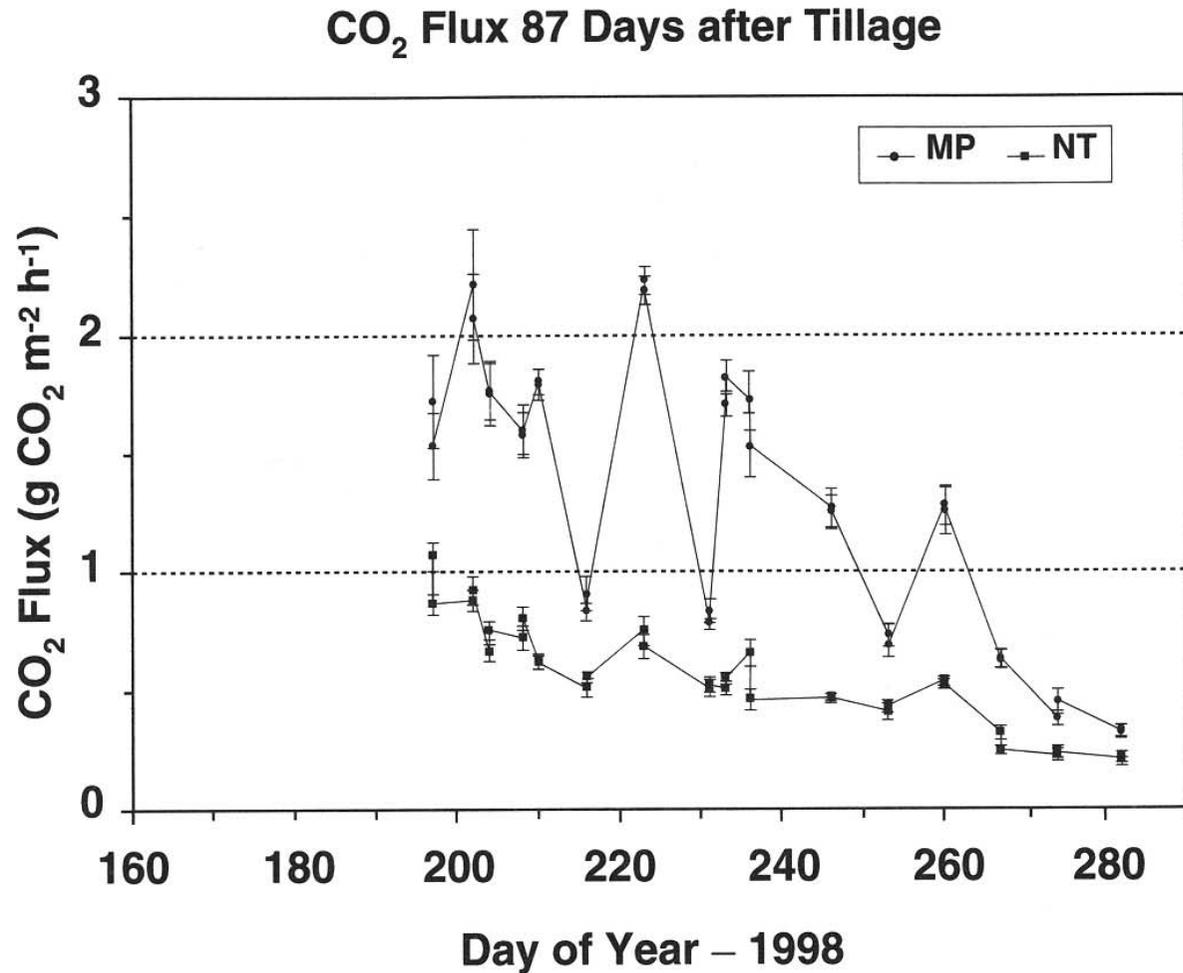
# Entwicklung von Humusgehalten

(nach Johnson et al. 1995)



LP = Litter production

D = Decomposition

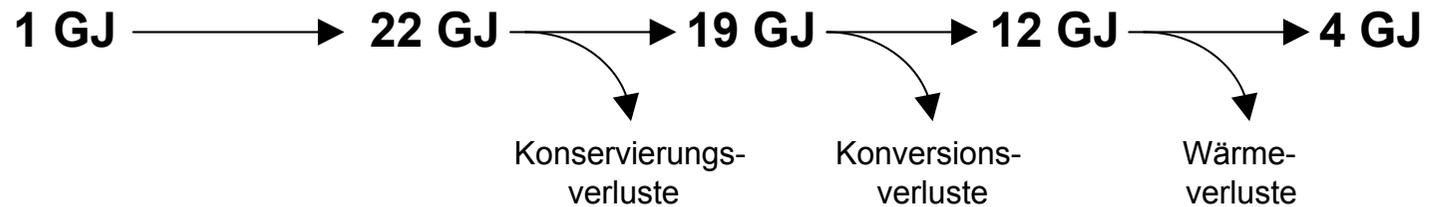
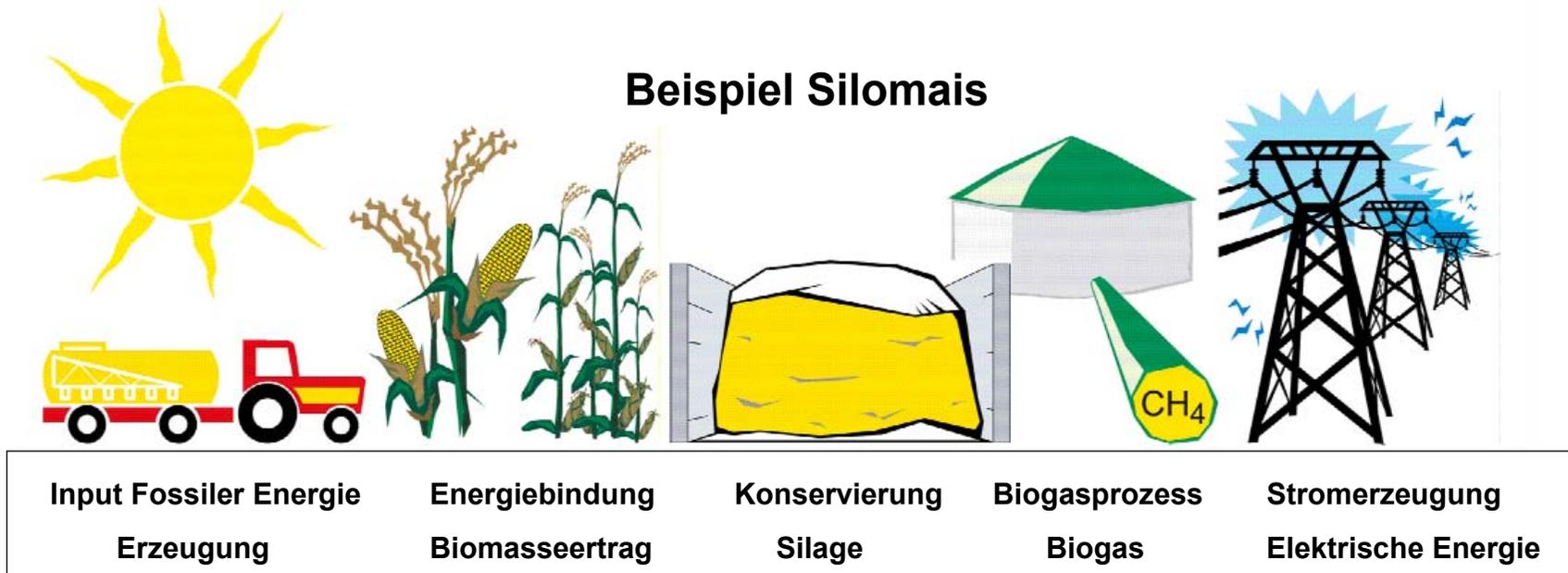


The average CO<sub>2</sub> flux from moldboard plow and not-tilled treatments as a function of time during the 1998 season.



# Energieeffizienz entlang der Biogas-Prozesskette

(Helbig 2008)





# N<sub>2</sub>O-Emissionen in Abhängigkeit vom N-Einsatz



Flessa et al. (2002): Agriculture, Ecosystems and Environment 91, 175-189.

