

Humusaufbau

Wirkungen auf Boden, Ertrag und Klima

Auftakt der Humus AG im Landkreis Altötting, 16.04.2021



- **Agrarökologische Funktionen des Humus**
- **Humusaufbau – Ergebnisse aus Feldexperimenten**
- **Humusbilanzen – Ergebnisse aus Praxisanalysen**
- **Kohlenstoffbindung in Böden und Treibhausgasbilanz**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**



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**,

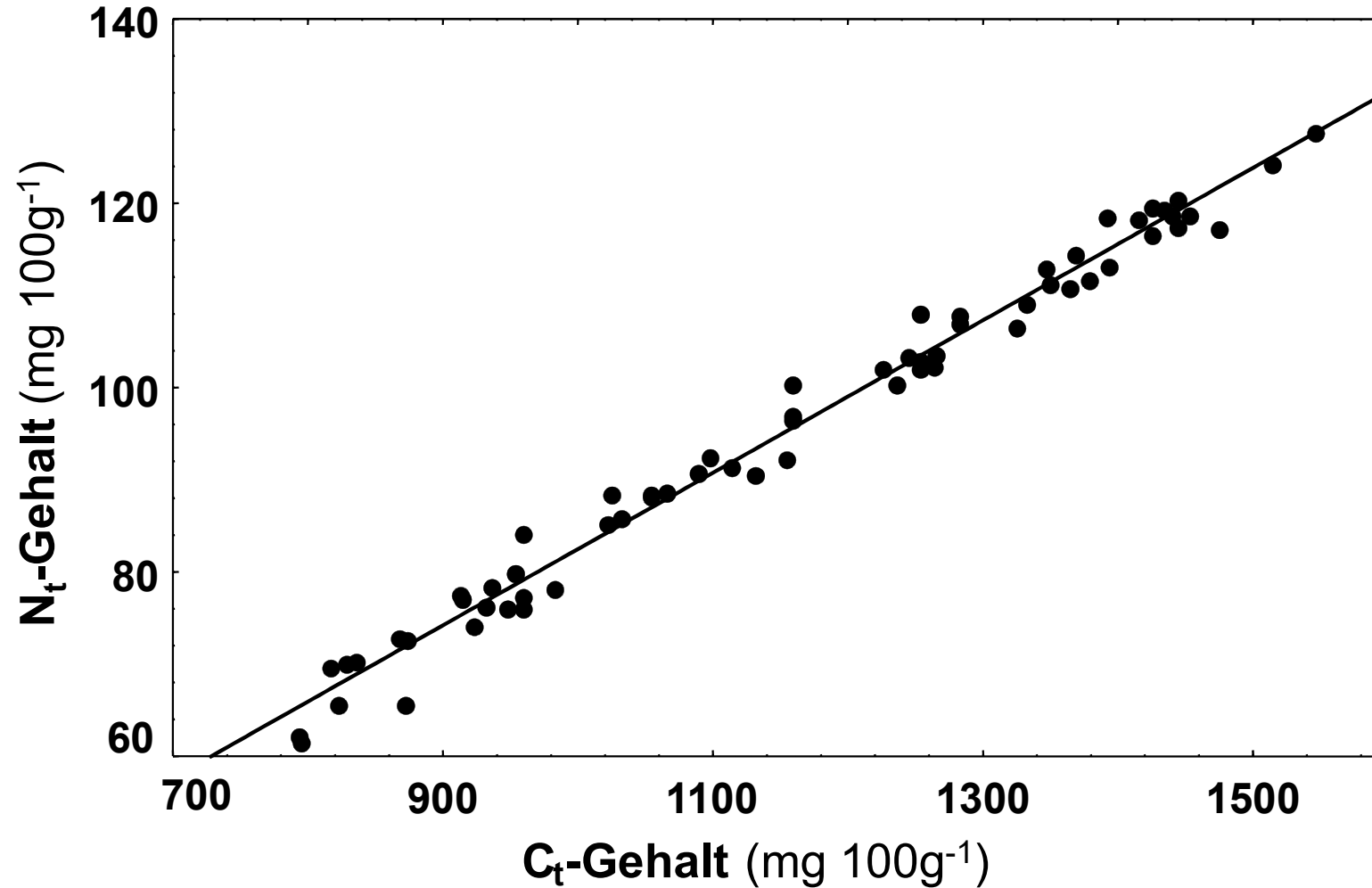
1 % C entspricht $\approx 45 \text{ t C ha}^{-1} = 78 \text{ t Humus ha}^{-1}$

Bei einem **C : N** - Verhältnis **von 10 : 1 = 4500 kg N ha⁻¹**



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

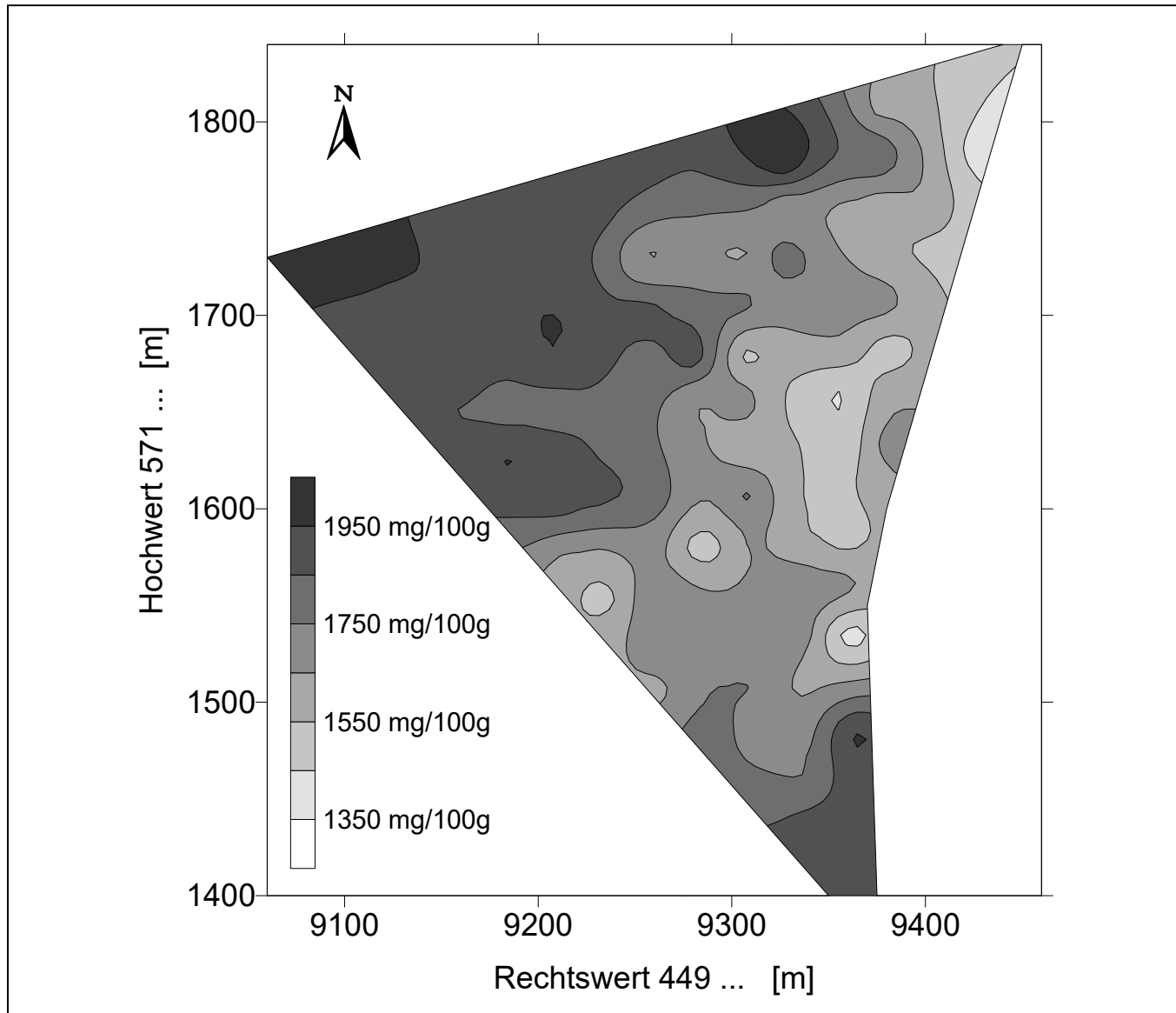


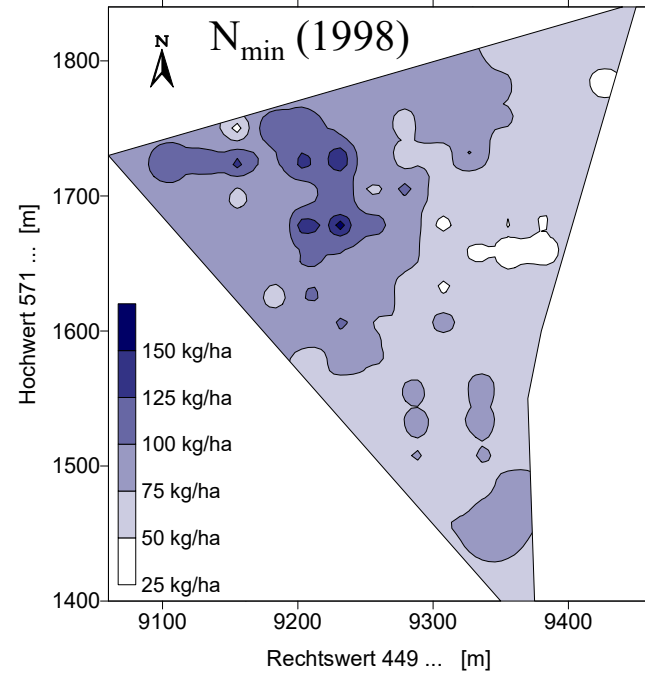
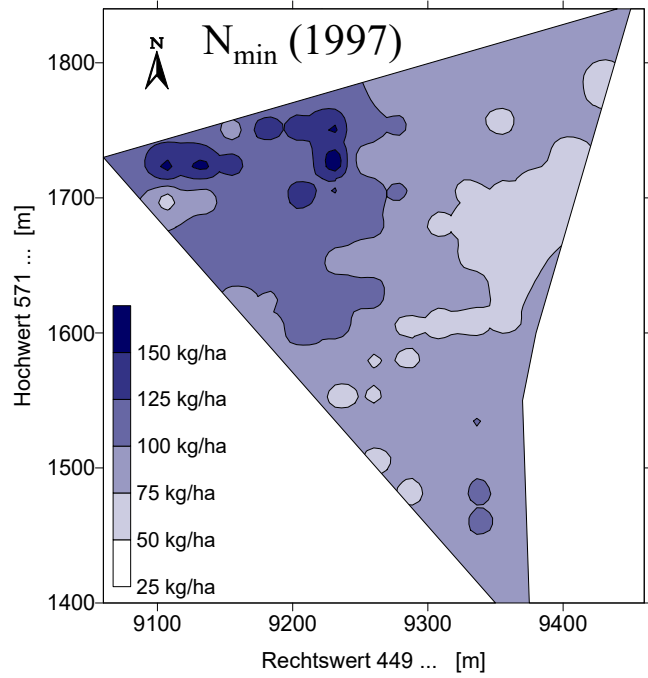
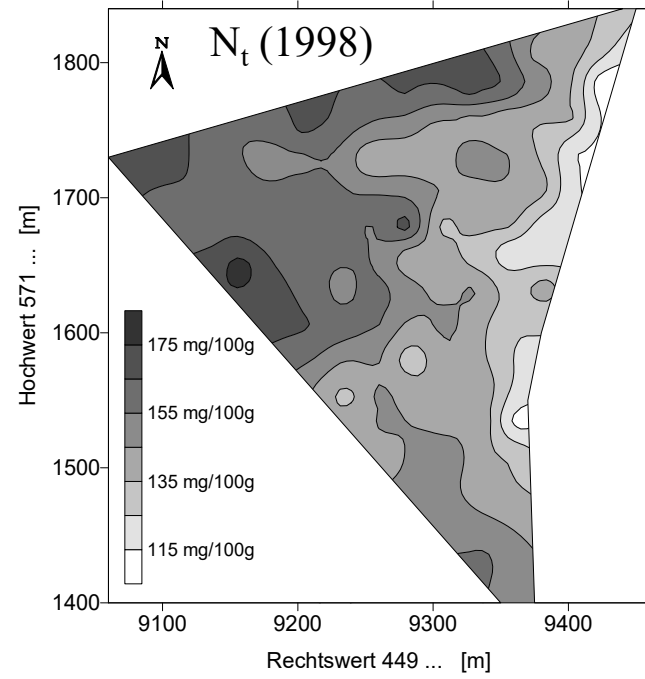
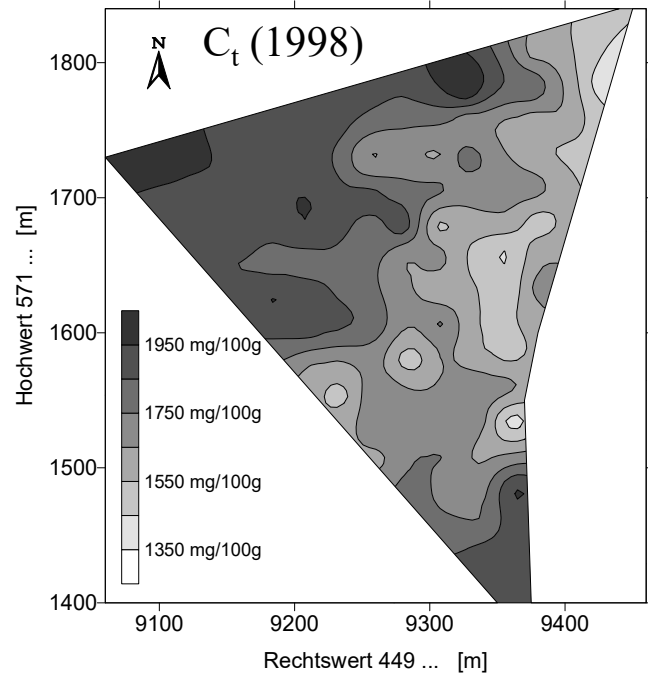
Biodynamic (A) and conventional (B) soil surface in winter wheat plots.



Räumliche Variabilität von C_{org} -Gehalten

C_{org} -Gehalt im Ap-Horizont, Schlag „Schafspitze“, Ökohof Seeben (1998)

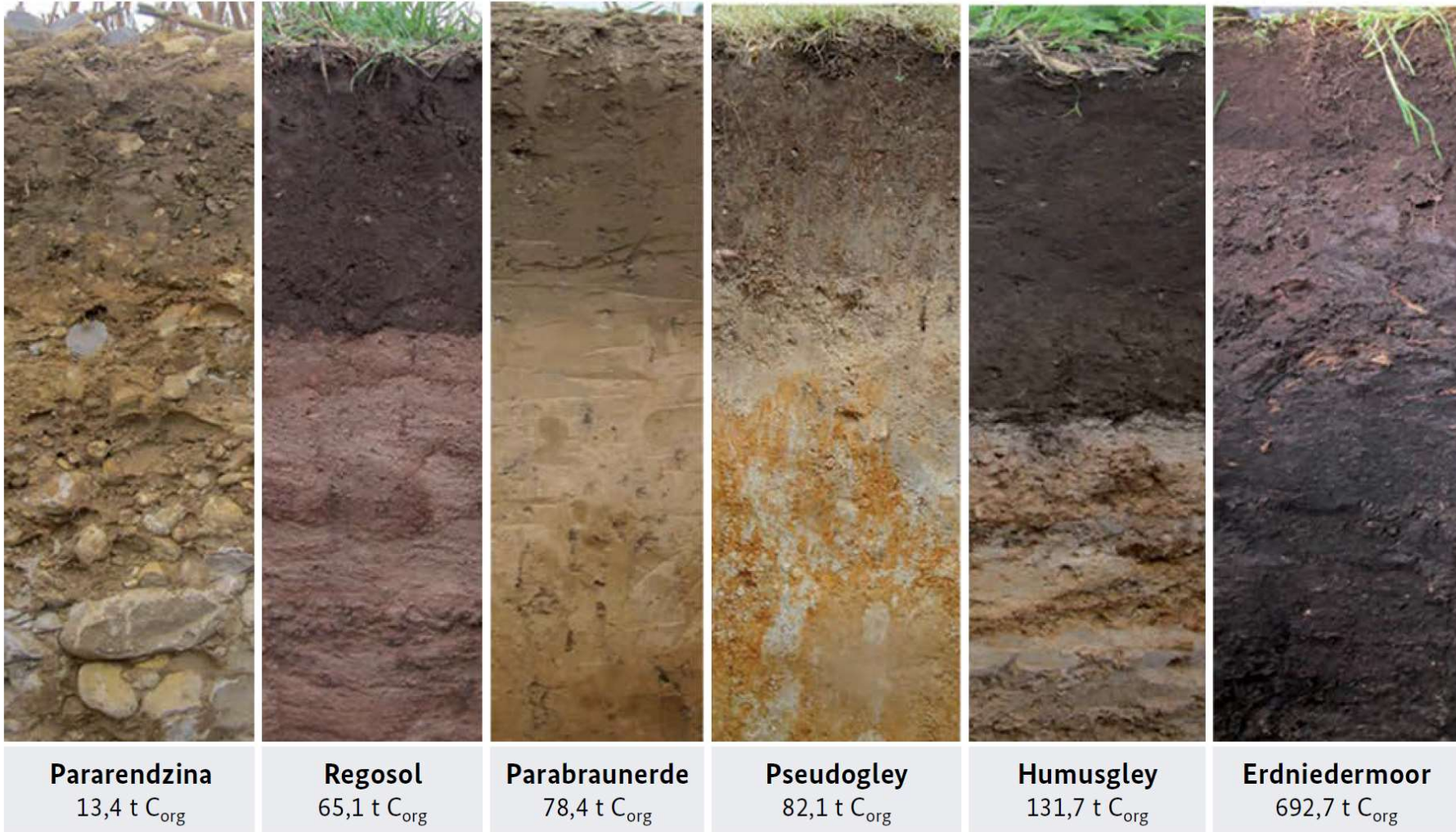






C_{org}-Vorräte von Böden

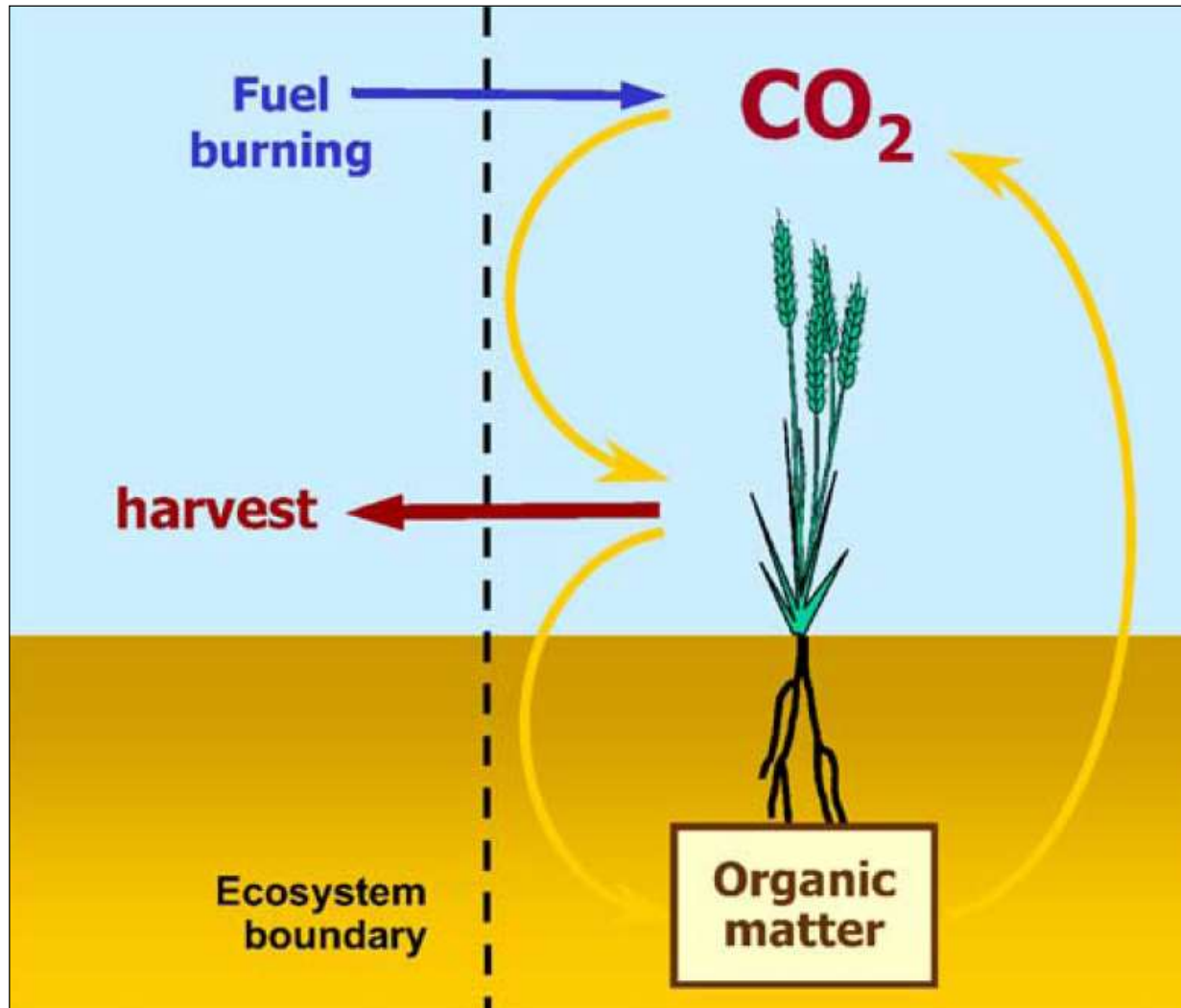
Bodenschicht 0 bis 100 cm, Angaben je Hektar, Bodenzustandserhebung, Thünen-Institut (2018)





▪ **Ackerbauliche und ökologische Funktionen:**

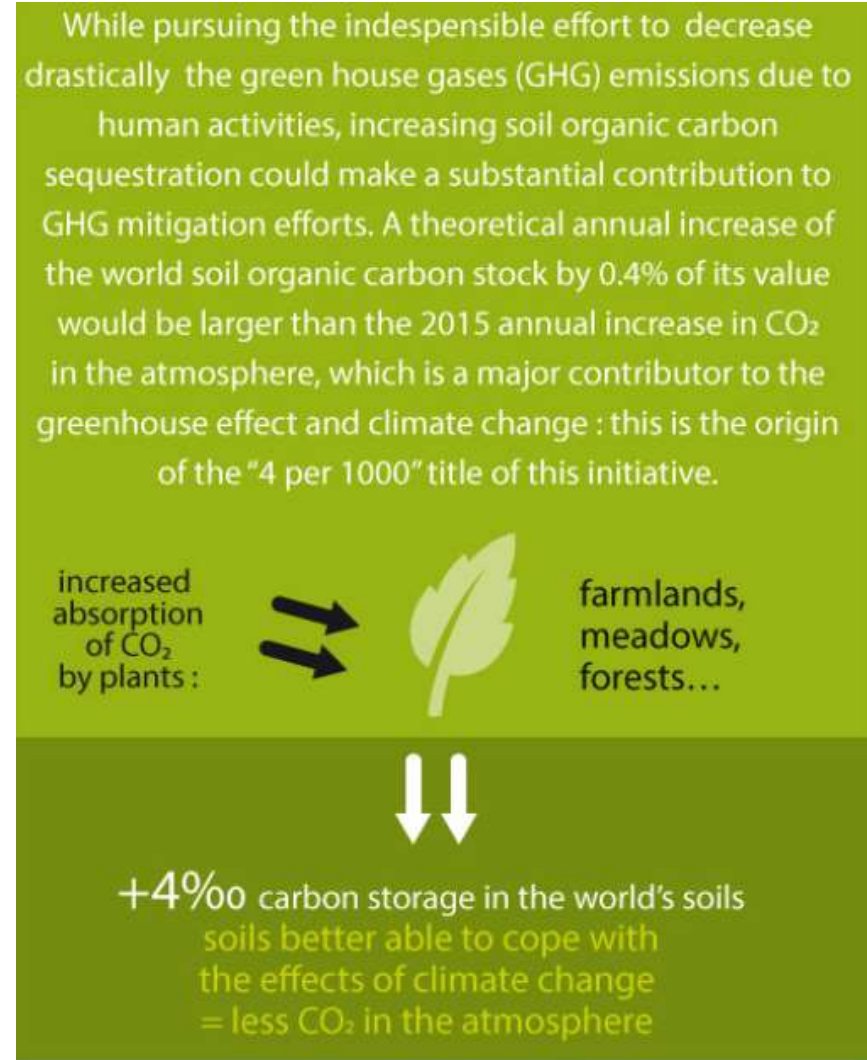
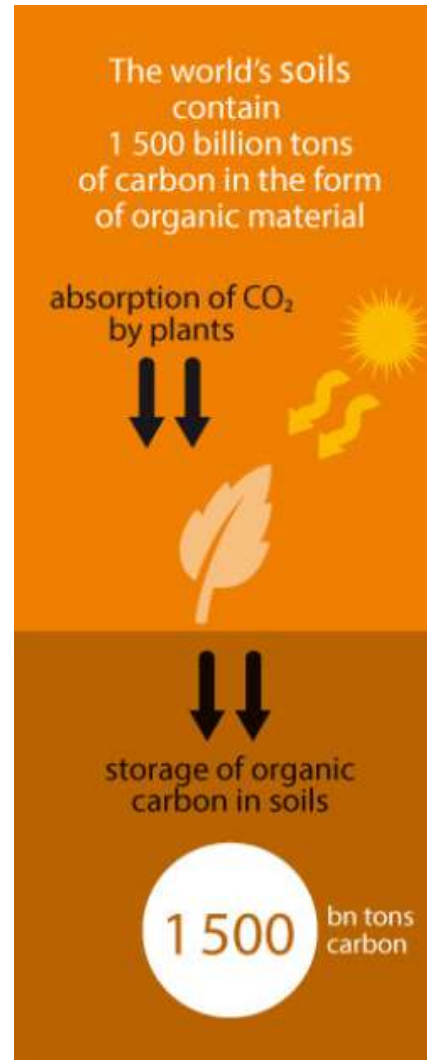
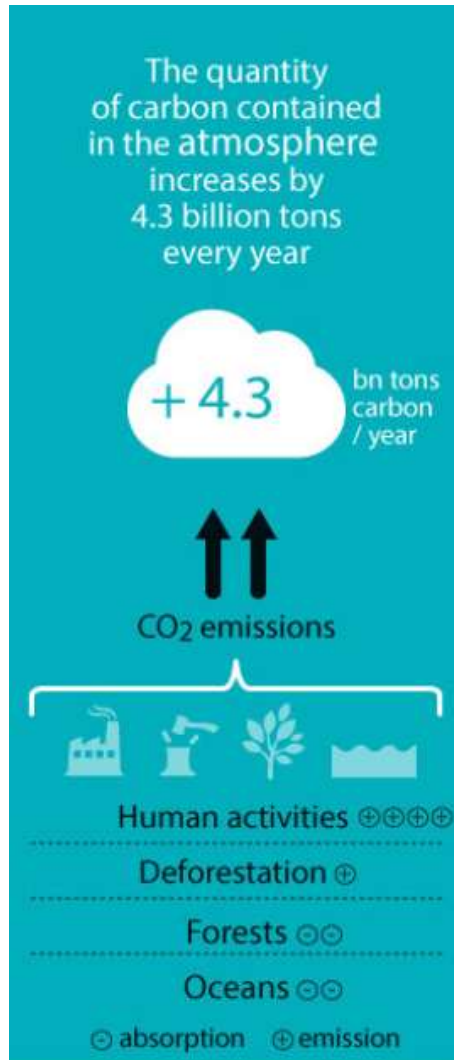
- **Speicher und Transformator von Nährstoffen (N, P, S)**
wichtiger Pool im N-Kreislauf mit 95 bis 98 % des Boden-N
- **Förderung der bodenbiologischen Aktivität**, mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch Bodenfauna; phytosanitäre Wirkungen
- **Aufbau eines günstigen Bodengefüges**, Aggregatstabilität,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





4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“

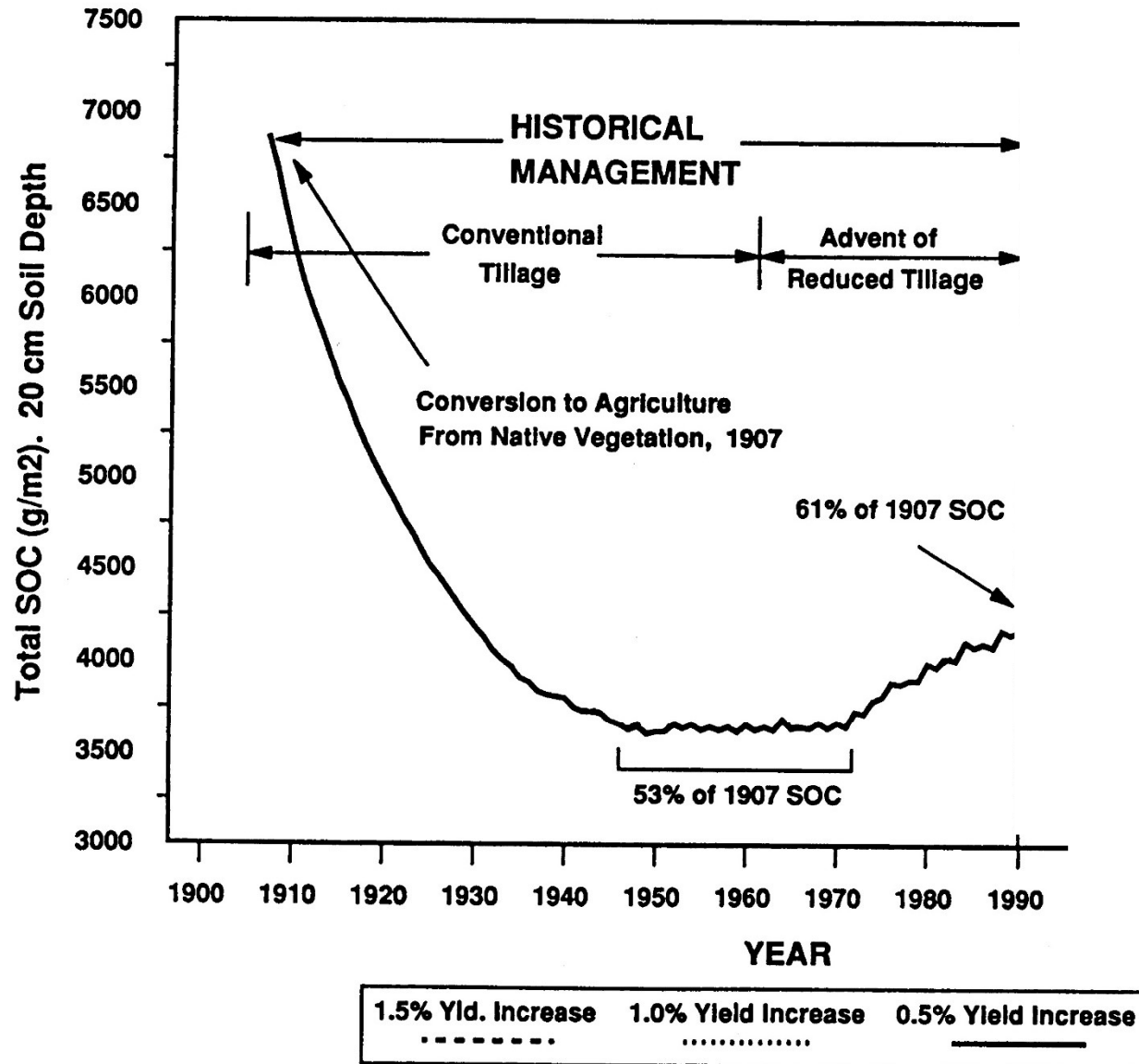
der französischen Regierung, Weltklimaverhandlungen im Dezember 2015 in Paris (COP21)





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

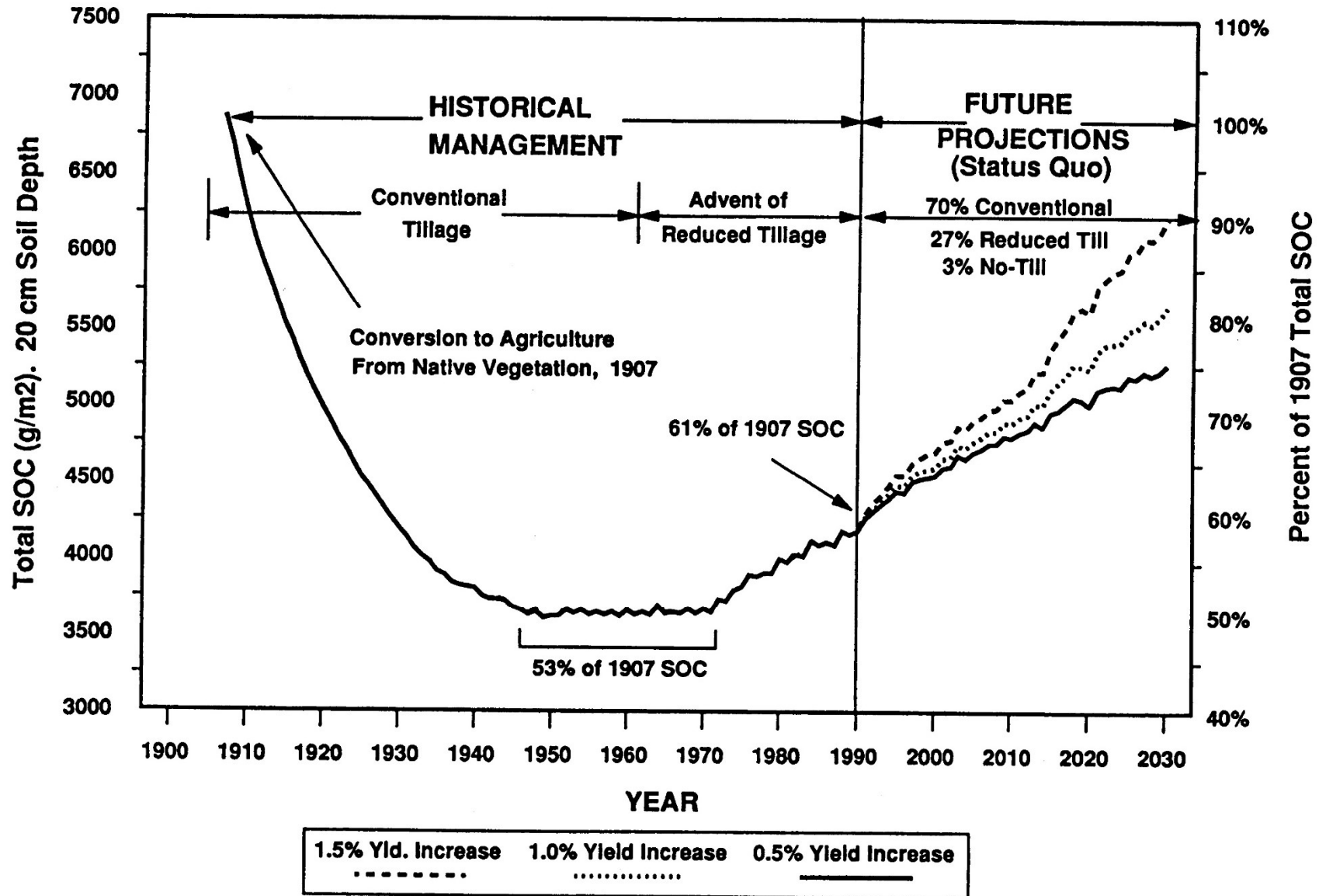
scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





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

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



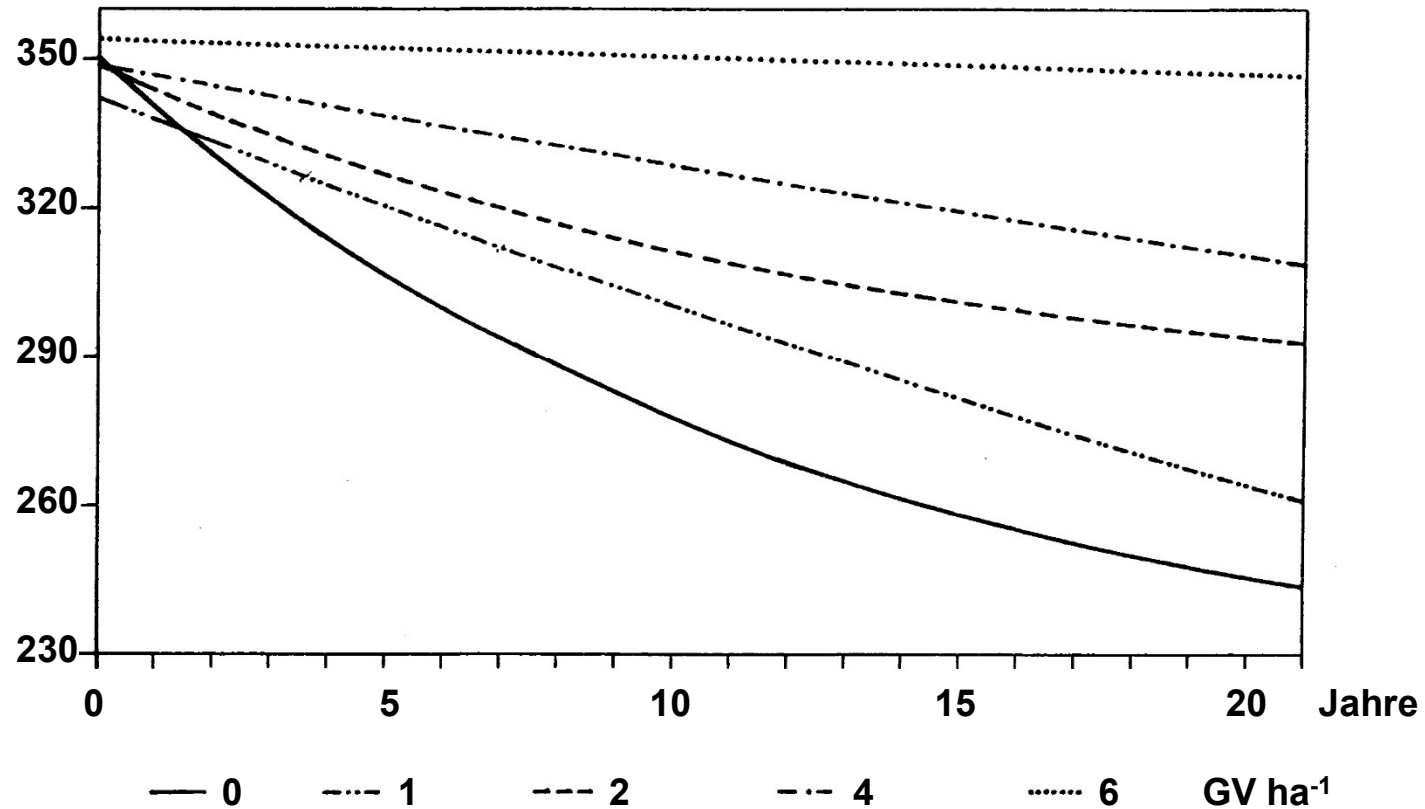


Entwicklung der N_{org} -Gehalte nach Grünlandumbruch

Dauerversuch Lauterbach, Erzgebirge (Hülsbergen et al. 1996: Agricultural Research)



N_{org} (mg 100 g⁻¹ Boden)



Humusabbau (Variante mit 0 GV ha⁻¹):

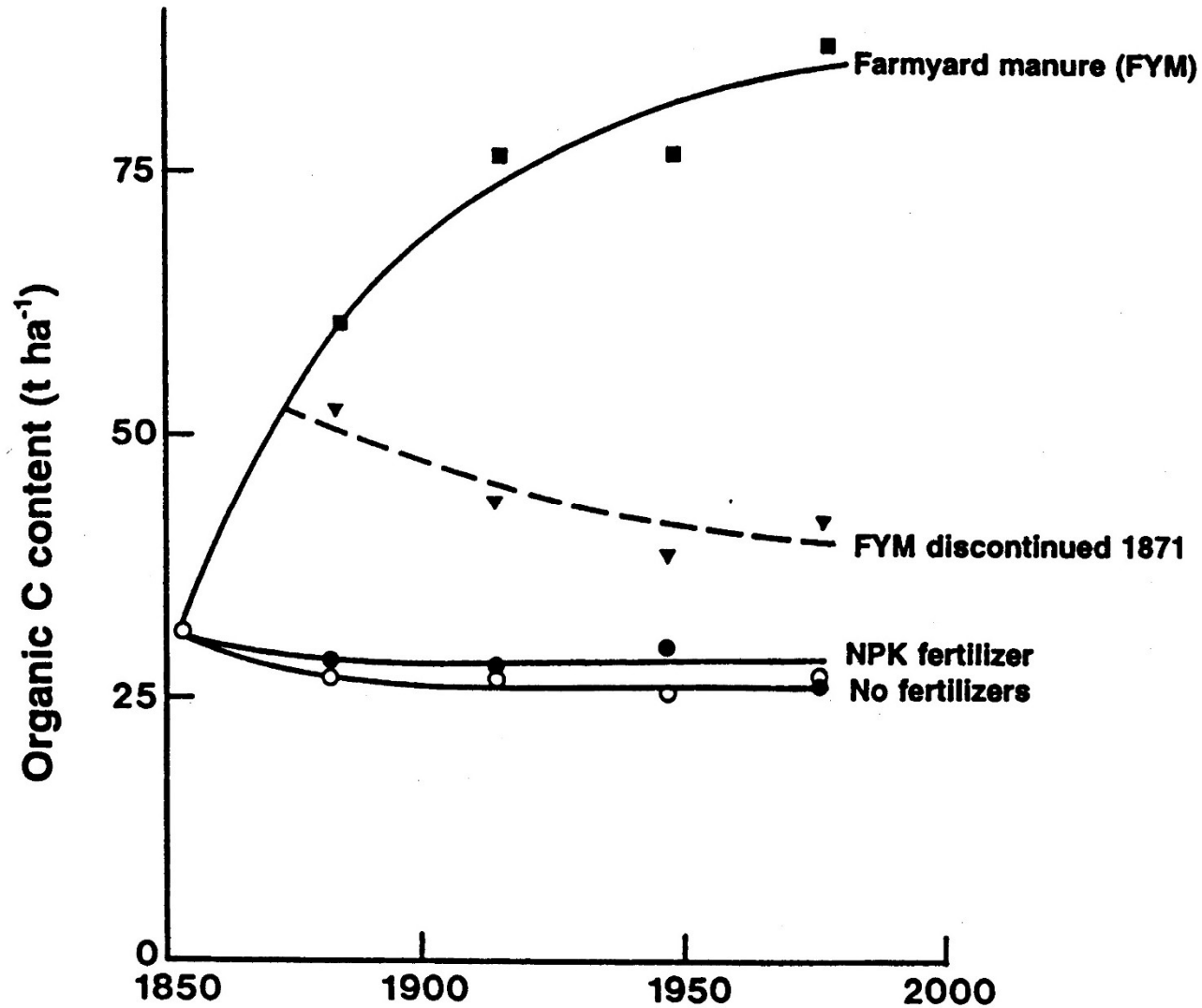
2.200 kg N ha⁻¹ = 110 kg N ha⁻¹ a⁻¹

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



Changes of soil organic C content in the Hoosfield

Continuous barley experiment (JOHNSTON 1986)





Möglichkeiten und Grenzen des Humusaufbaus

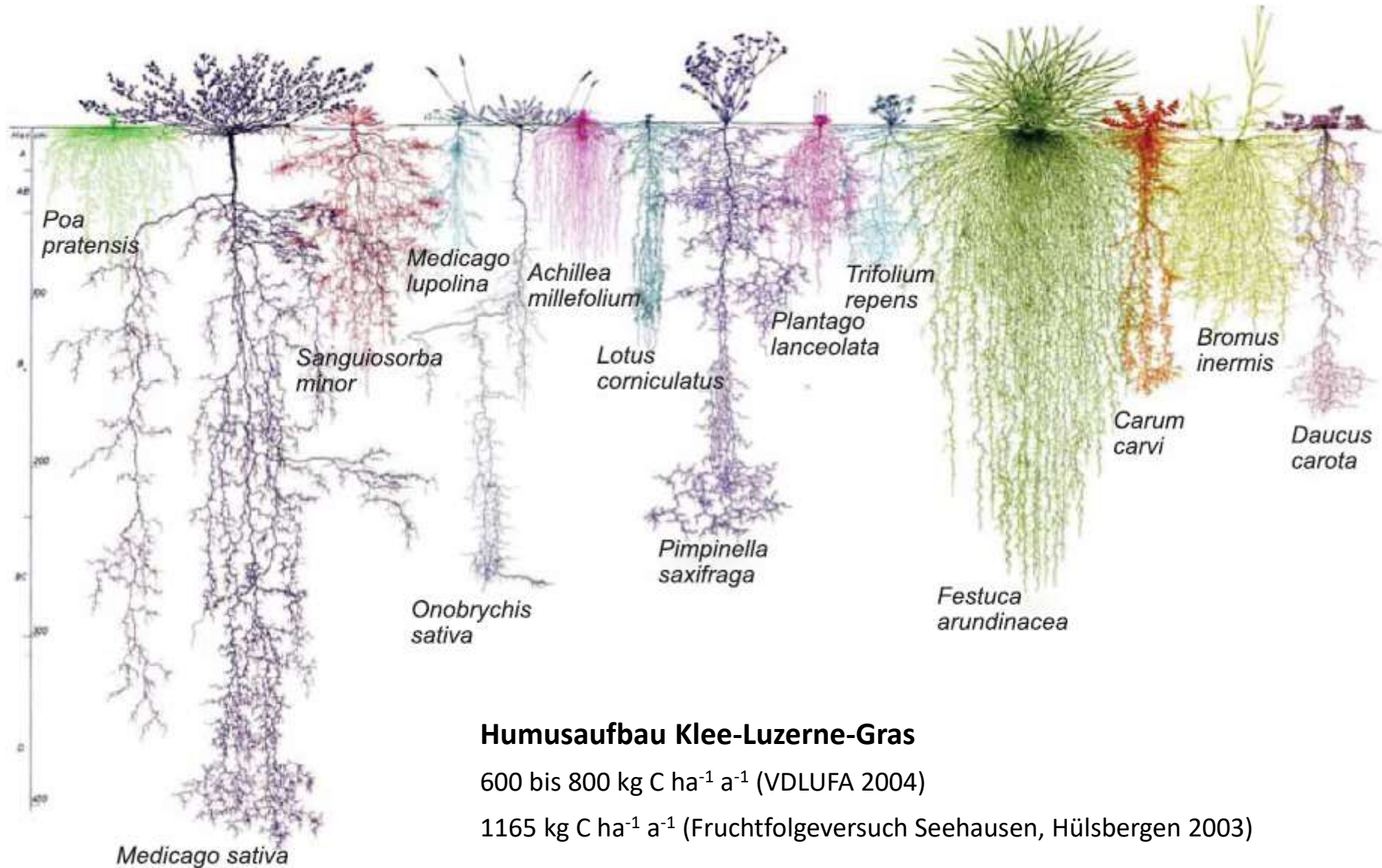
Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung, ...





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

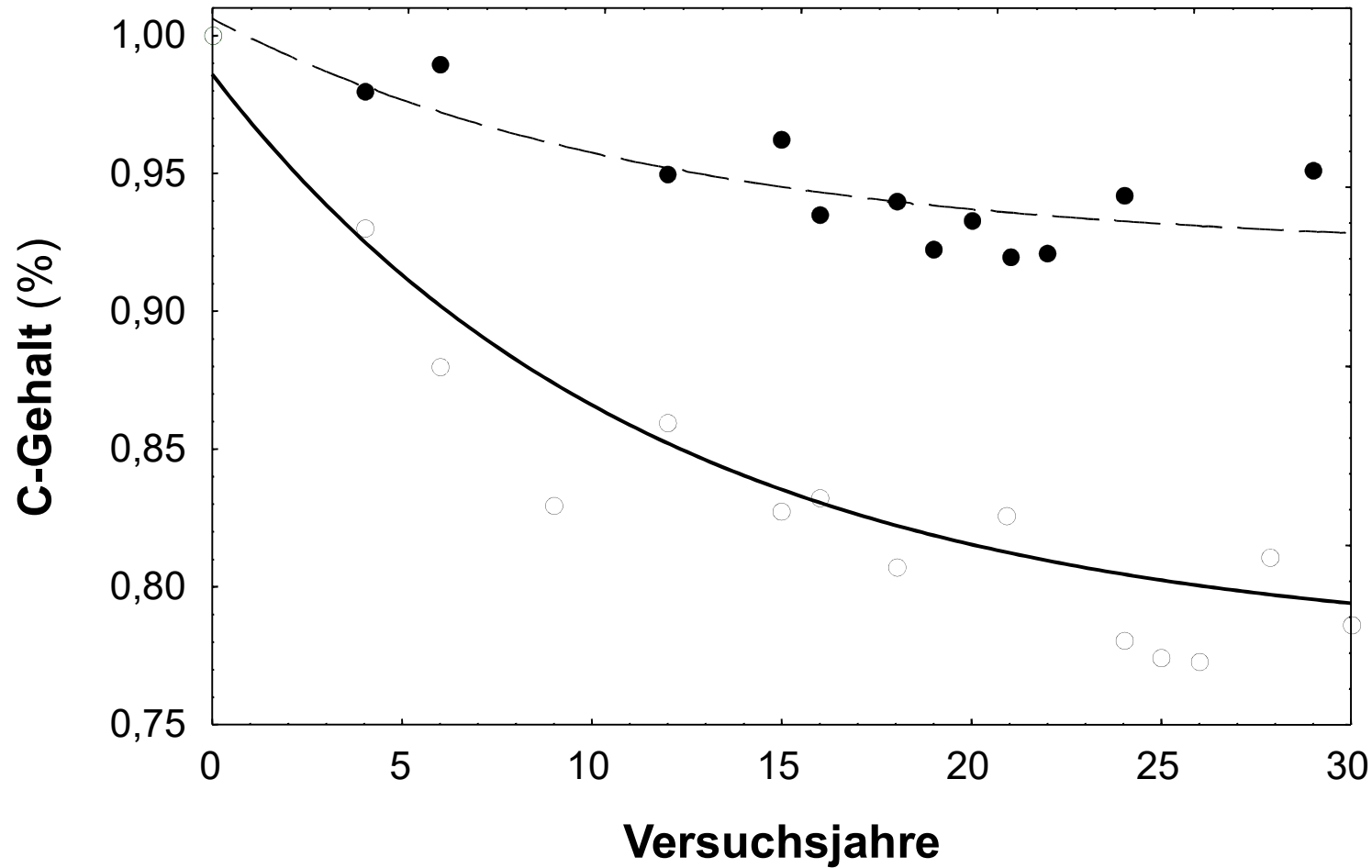
Braun M., Schmid H., Grundler T. & Hülsbergen, K.-J. (2010): Plant Biosystems 144, 414-419.





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



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

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



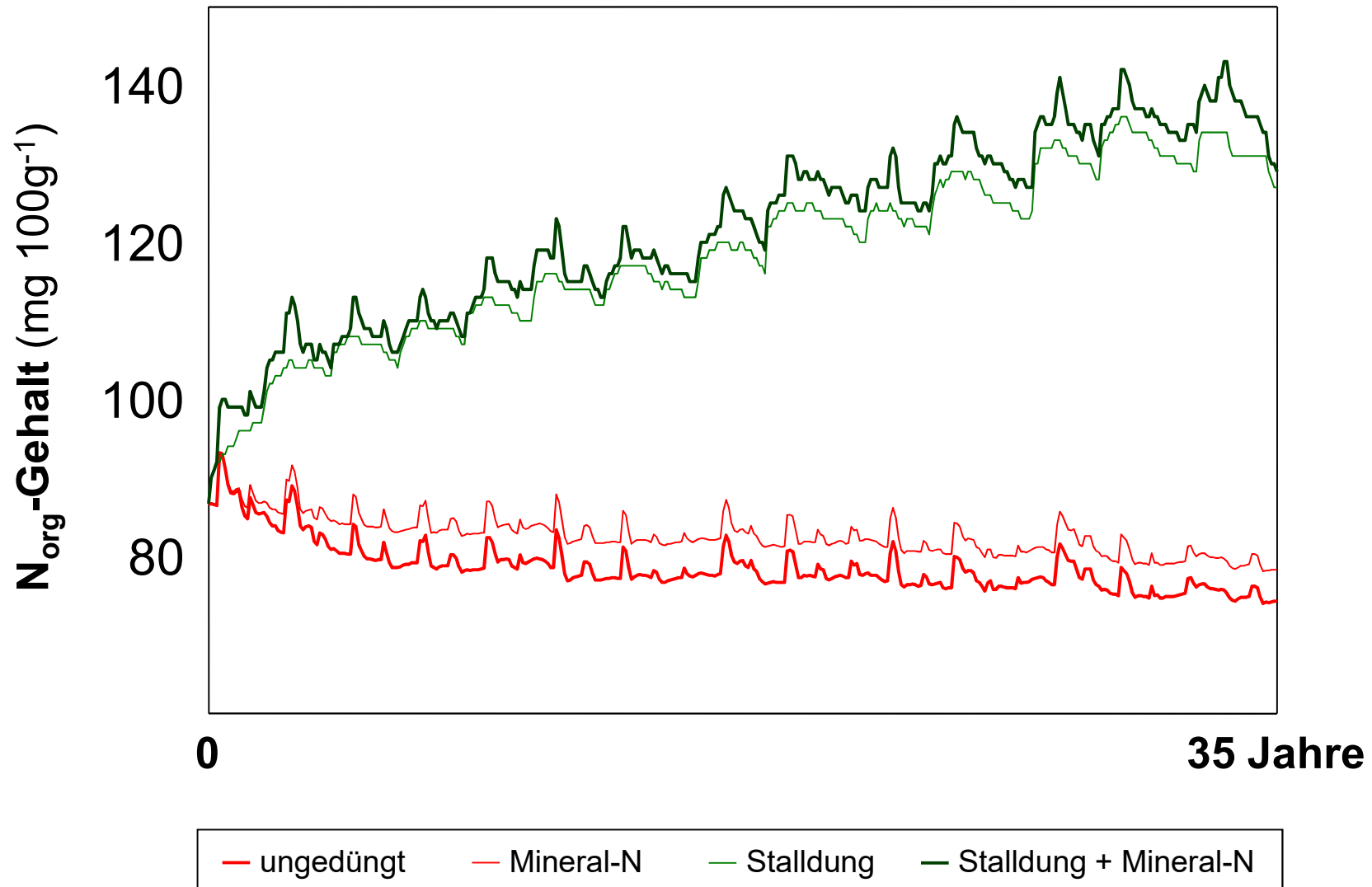
Bodentiefe cm	C _t -Gehalt mg/100g Boden			Δ C _t -Vorrat kg/a	Δ CO ₂ - Bindung kg/a
	FF III	FF V	Differenz		
0 - 20	830	990	+ 160	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 138	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 168	+ 616
0 - 60			+ 447	+ 466	+ 1708

TRD: Schicht 0 - 20 cm: 1,5 g cm⁻³, Schicht 20 - 60 cm: 1,6 g cm⁻³



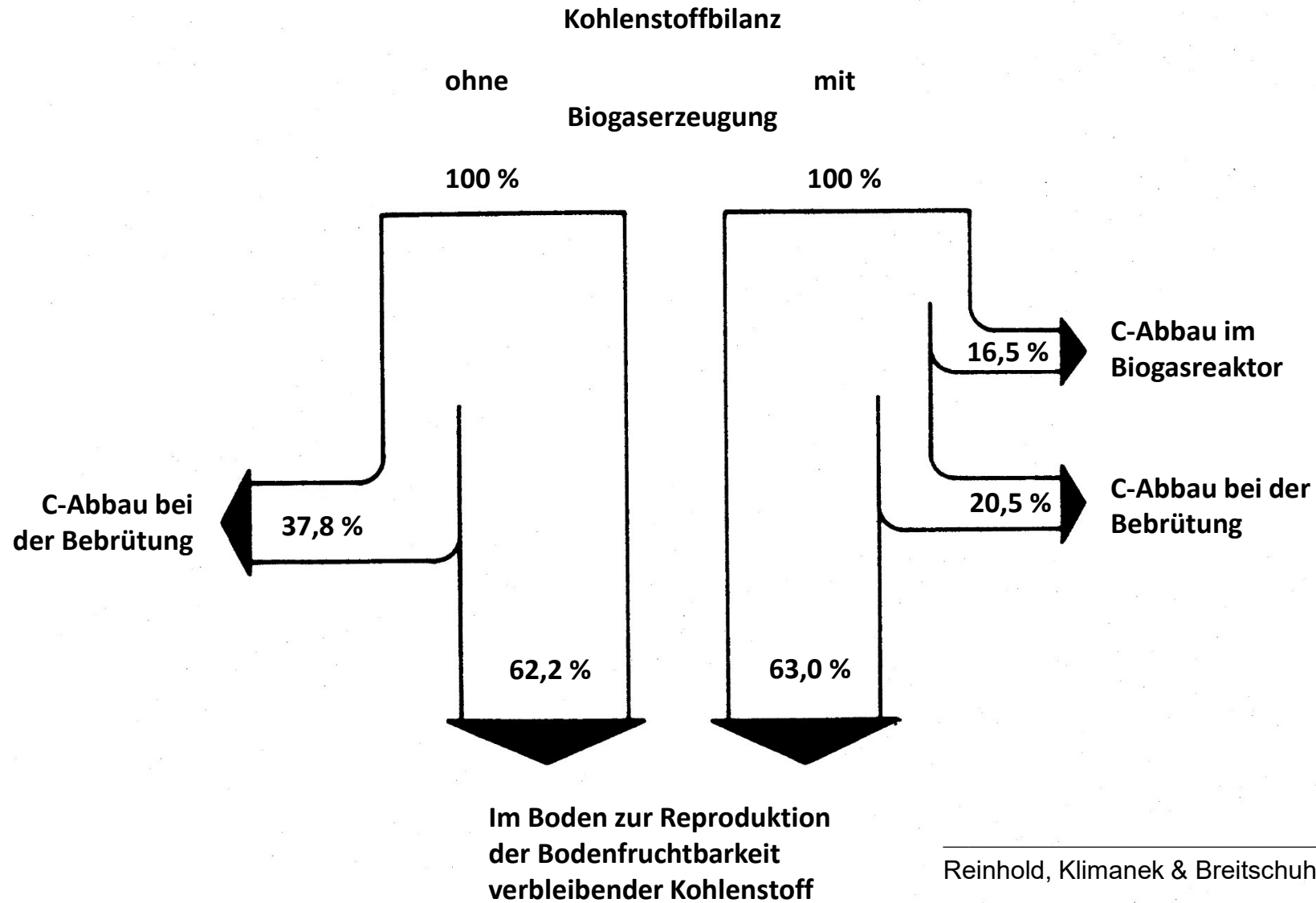
Entwicklung der N_t -Gehalte, Simulationsergebnisse

Düngungsversuch Seehausen, Modell CANDY (Hülsbergen 2003)





Kohlenstoffbilanz mit und ohne Biogaserzeugung





Wirkung von Gülle und Gärresten auf den Boden-C

Gefäßversuch mit Weidelgras, nach 5 Düngerapplikationen, Fouda (2011)

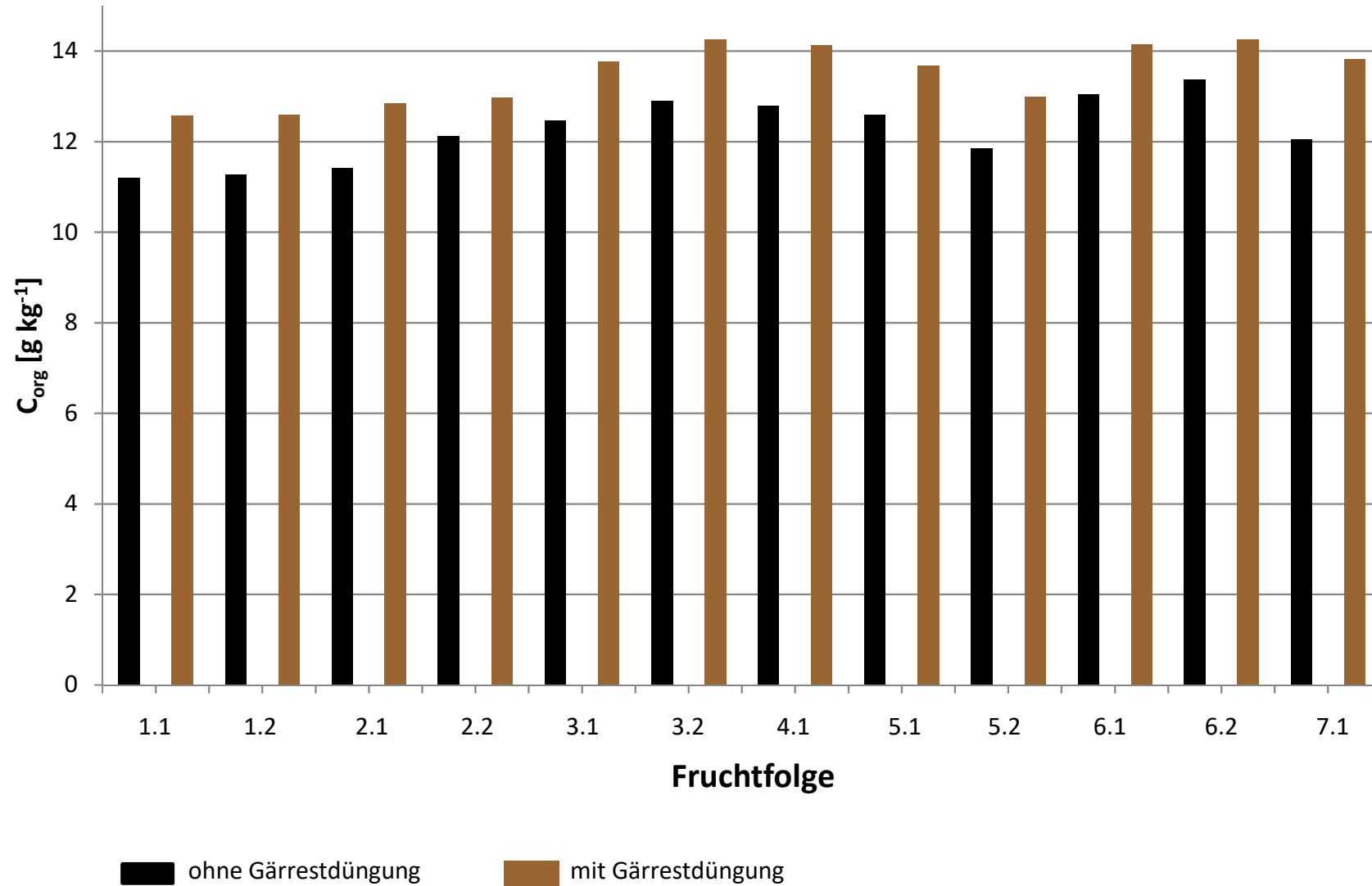


Dünger	Inhaltstoffe der organischen Dünger (% in FM)				Boden
	TS	C _t	N _t	NH ₄ -N	C _t (%)
Ungedüngt					1,84^a
Mineral-N					1,90^{ab}
Rindergülle	12,1	4,4	0,44	0,22	2,13^d
Biogasgülle 1	6,3	2,1	0,75	0,51	1,97^{bc}
Biogasgülle 6	12,5	4,7	0,72	0,37	2,13^d
Biogasgülle 8	5,2	2,0	0,48	0,27	2,13^d



C_{org}-Gehalte, 0-10 cm Bodentiefe (Februar 2014)

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Simon 2016)





Humus balance (humus C, kg ha⁻¹ yr⁻¹)

Long-term field experiment, bio-waste compost, Vienna, 1992 – 2006 (Erhart et al. 2016)

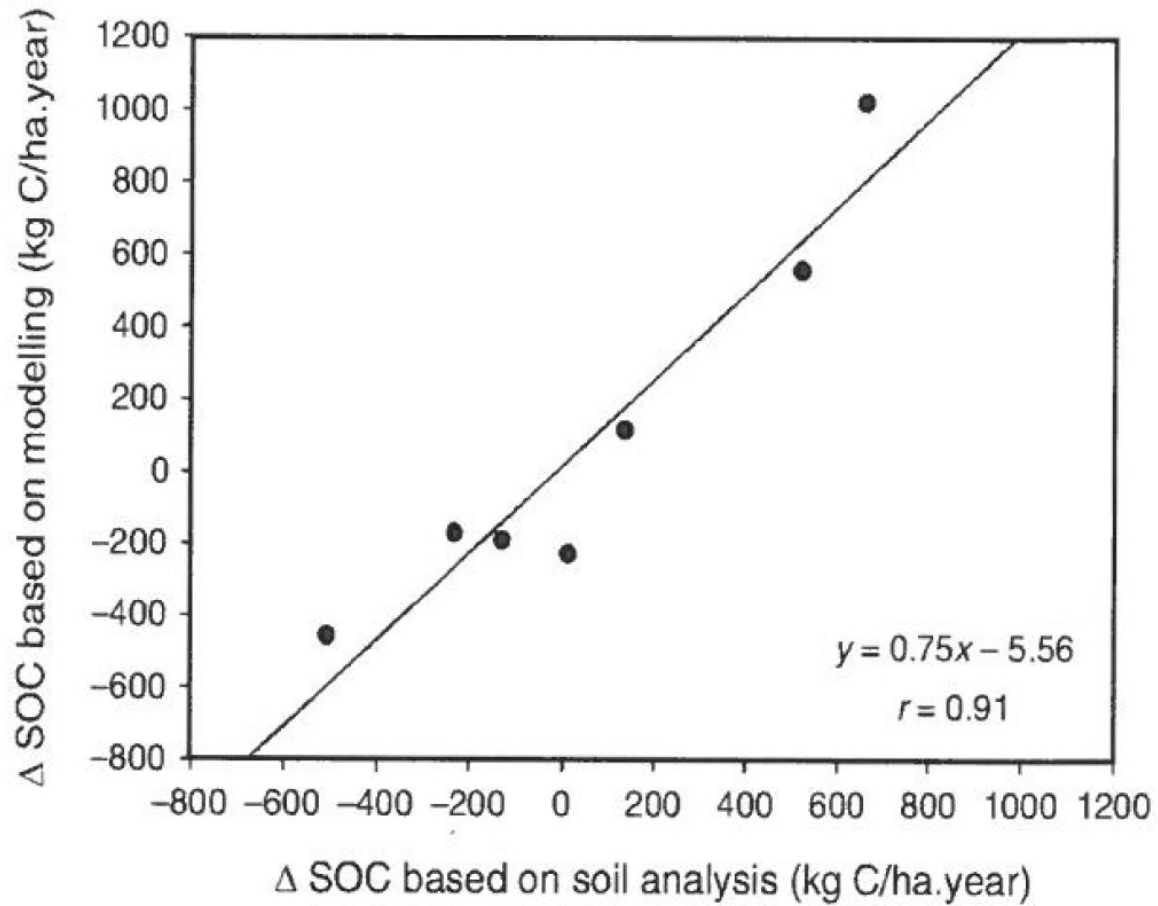


Parameter	0	C1	C2	C3
		(8 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	(14 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	(20 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Humus demand	-760	-803	-828	-838
Humus reproduction	302	918	1386	1859
compost	0	602	1066	1531
Humus balance	-457_a	115_d	558_e	1021_f
Δ SOC (soil analysis)	-508_a	134_{bcd}	520_{cd}	658_d
Δ SOC / C input compost		0.45	0.41	0.32





Beziehung zwischen gemessenen und modellierten Veränderungen der C_{org} -Vorräte (Erhart et al. 2016)





Greenhouse gas (GHG) balance (kg CO_{2eq} ha⁻¹ yr⁻¹)

Long-term field experiment, bio-waste compost, Vienna, 1992 – 2006 (Erhart et al. 2016)



Parameter	0	C1	C2	C3
		(8 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	(14 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	(20 t ha ⁻¹ yr ⁻¹)
CO₂ emission, cultivation	517_a	627_b	703_c	774_e
Diesel	344	371	381	385
N₂O emissions	226_a	627_e	939_f	1252_g
C depletion, sequestration	1604_f	-425_c	-2052_b	-3754_a
GHG (kg CO_{2eq} ha⁻¹ yr⁻¹)	2348_a	830_c	-409_d	-1728_e
GHG (kg CO_{2eq} ha⁻¹ GE⁻¹)	49.4_e	16.5_c	-8.0_b	-33.6_a



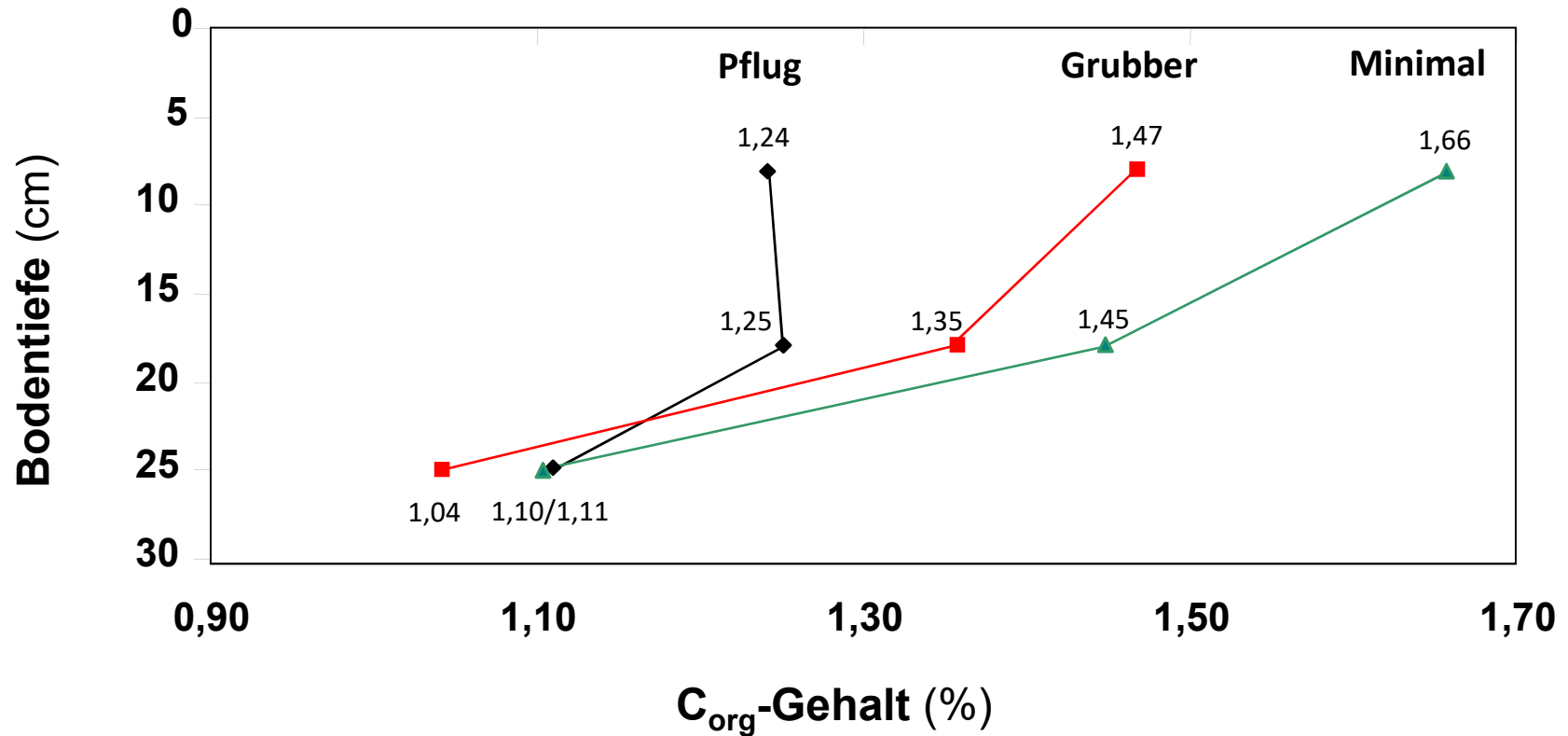
Humusabbau: -560 bis -800 kg C ha⁻¹ a⁻¹

unter Berücksichtigung von Wurzelmasse, Rhizodeposition und Anbauverfahren
(Bodenbearbeitung) abgeleitet aus Dauerfeldexperimenten (VDLUFA 2014)



C_{org}-Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülsbergen 2013)



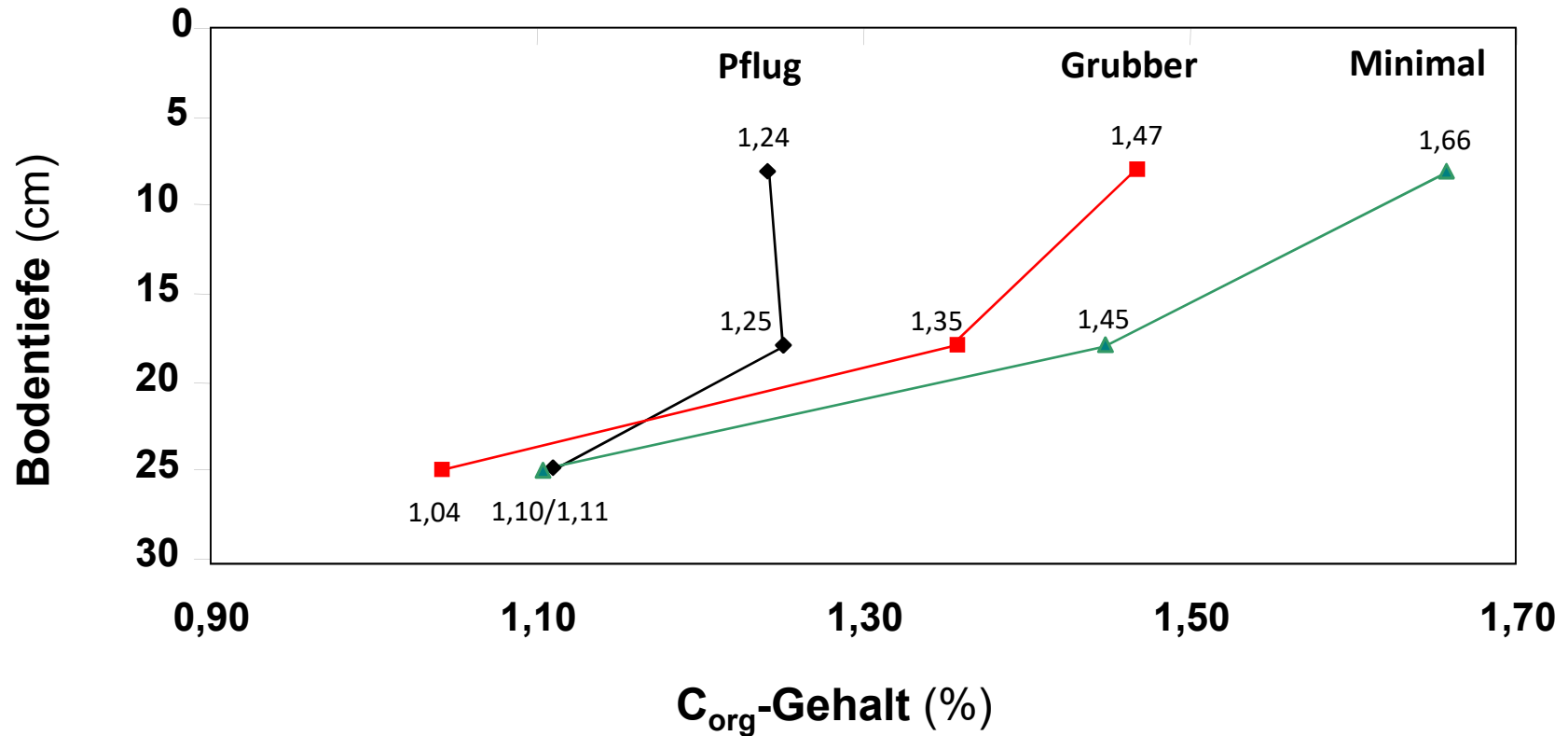
Anlagejahr: 1992 Messung: 2005

Fruchtfolge: Mais – Winterweizen – Kartoffeln – Winterweizen



C_{org} -Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülsbergen 2013)



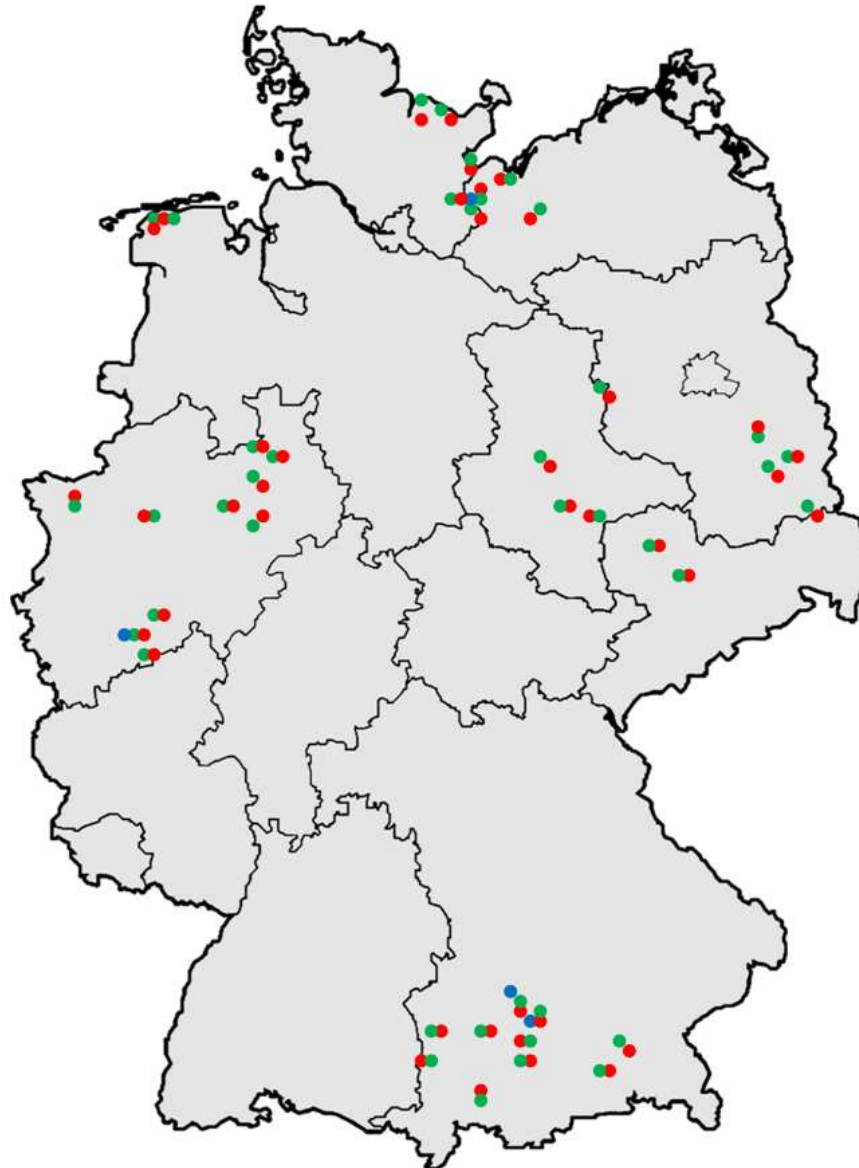
	Pflug	Grubber	Minimal
C_{org} (t ha ⁻¹)	41,1	46,3	52,5
ΔC_{org} (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	- 300	+ 500	+ 150





Ressourceneffizienz und Klimawirkungen von Landbausystemen

Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben



80 Pilotbetriebe

- Pilotbetrieb, ökologischer Landbau
- Pilotbetrieb, konventioneller Landbau
- Versuchsstation

Transdisziplinäres Forschungsprojekt seit 2008

www.pilotbetriebe.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

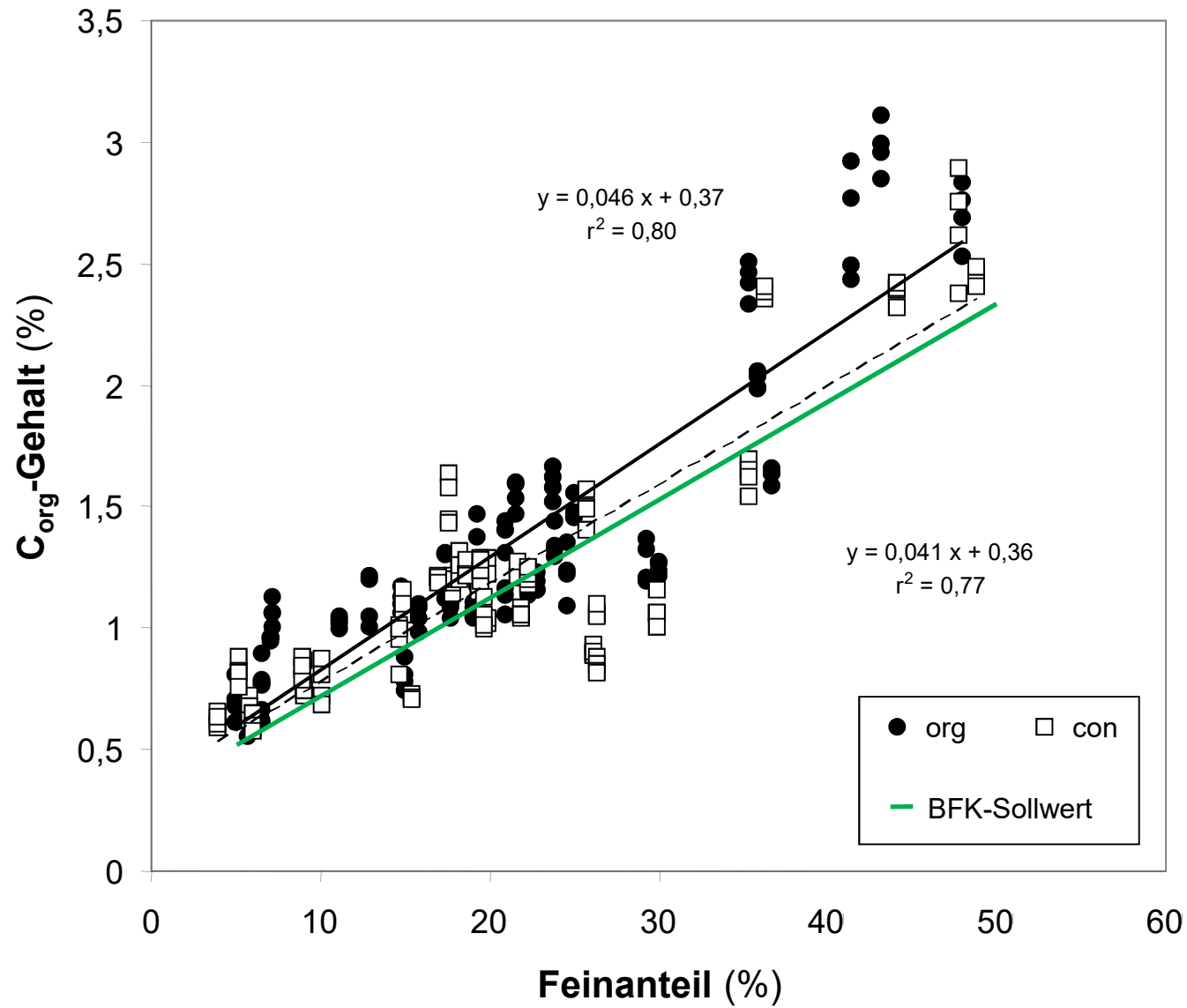
BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft



Abhängigkeit des C_{org} -Gehaltes von der Bodentextur

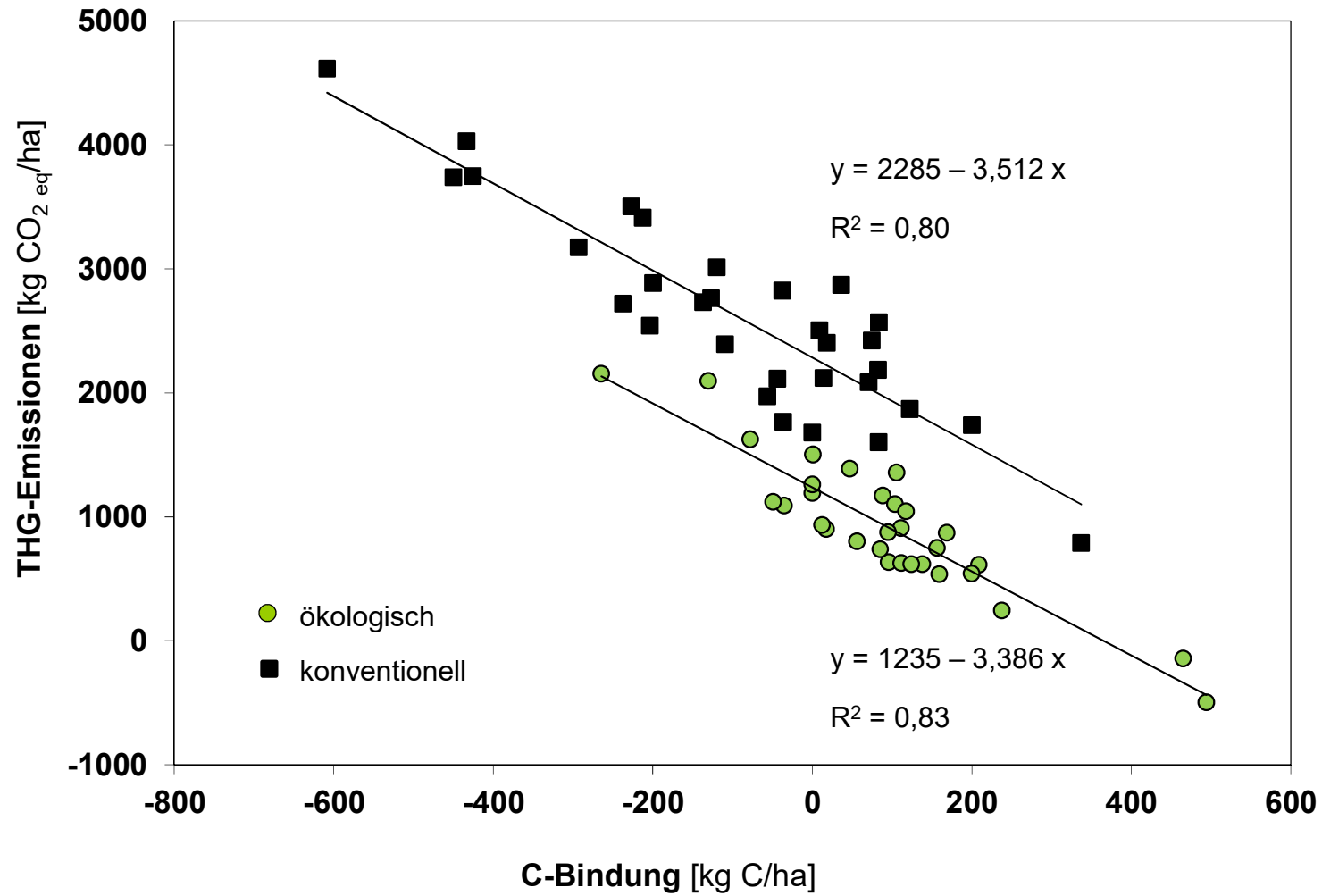
(Hoyer & Hülsbergen 2007)





C-Sequestrierung und flächenbezogene THG-Emissionen

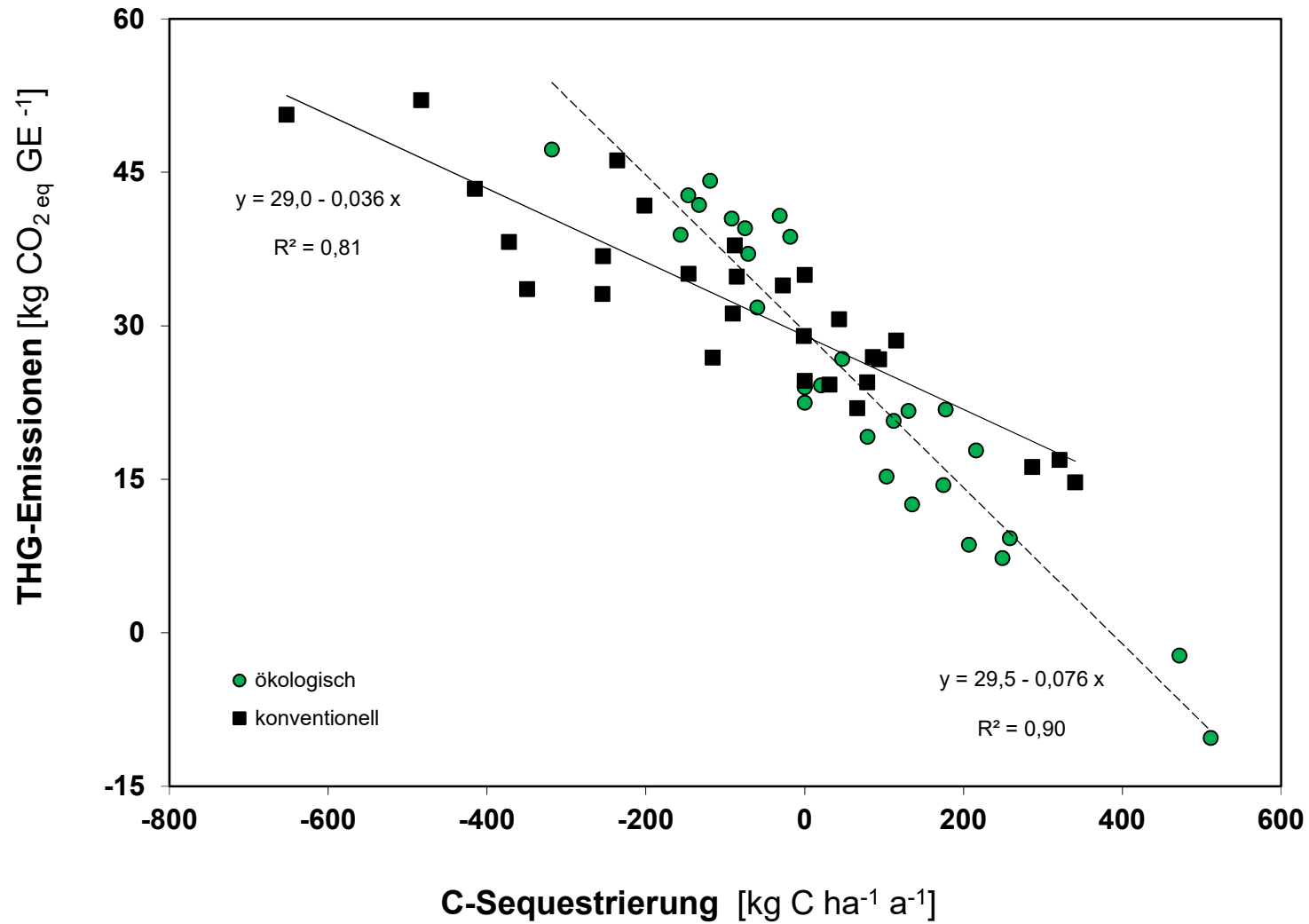
Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülsbergen 2012)





C-Sequestrierung und produktbezogene THG-Emissionen

Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülshagen 2012)



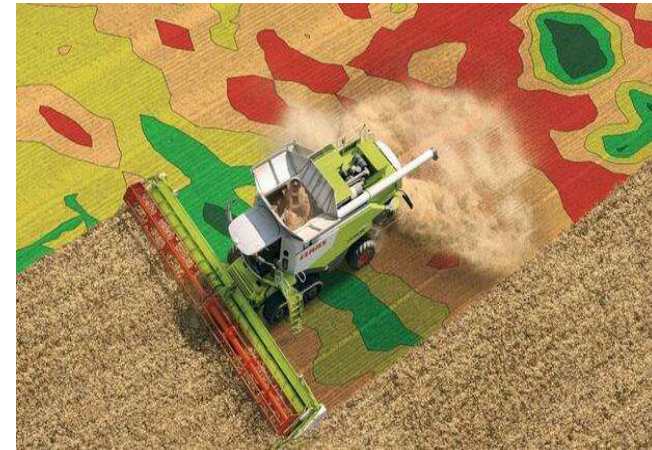


Forschungsprojekt digisens Burghausen/Burgkirchen

Räumliche Variabilität von Böden, Ertrag, N-Salden und Nitratverlusten



Satellitendaten (NDVI, VISTA)



Mähdrescher-Ertragsdaten

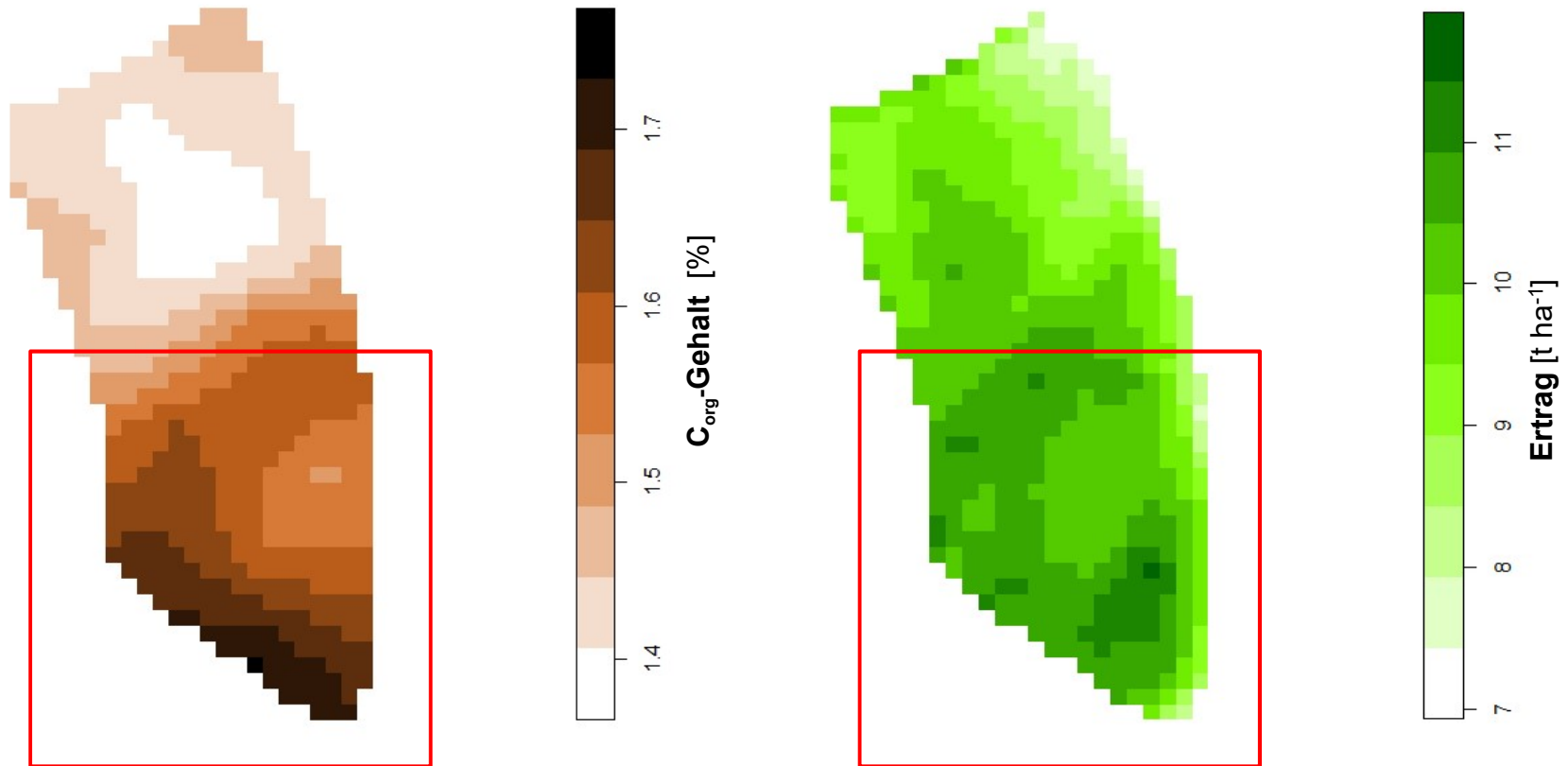


Sensordaten (REIP)



Forschungsprojekt digisens Burghausen/Burgkirchen

Räumliche Variabilität der C_{org} -Gehalte im Ap-Horizont und der Erträge (Mittermayer et al. 2021)



C_{org} -Gehalt, Ap-Horizont

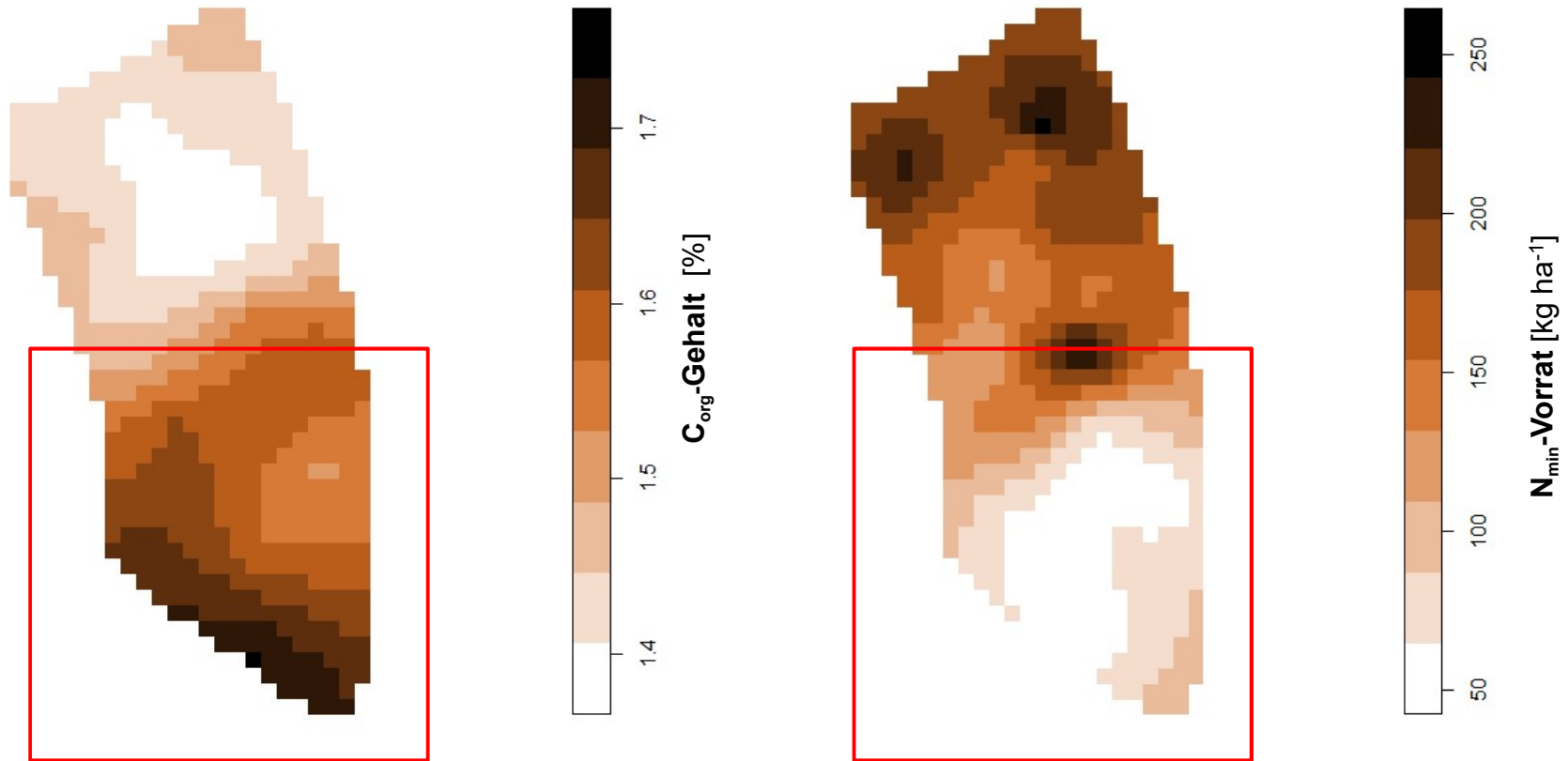
Ertrag Winterweizen, Sensor

Schlag Hausfeld, 6.5 ha, sL, 452 (448 – 454) über NN



Forschungsprojekt digisens Burghausen/Burgkirchen

Räumliche Variabilität der C_{org} -Gehalte im Ap-Horizont und der N_{min} -Vorräte (Mittermayerr et al. 2021)



C_{org} -Gehalt, Ap-Horizont

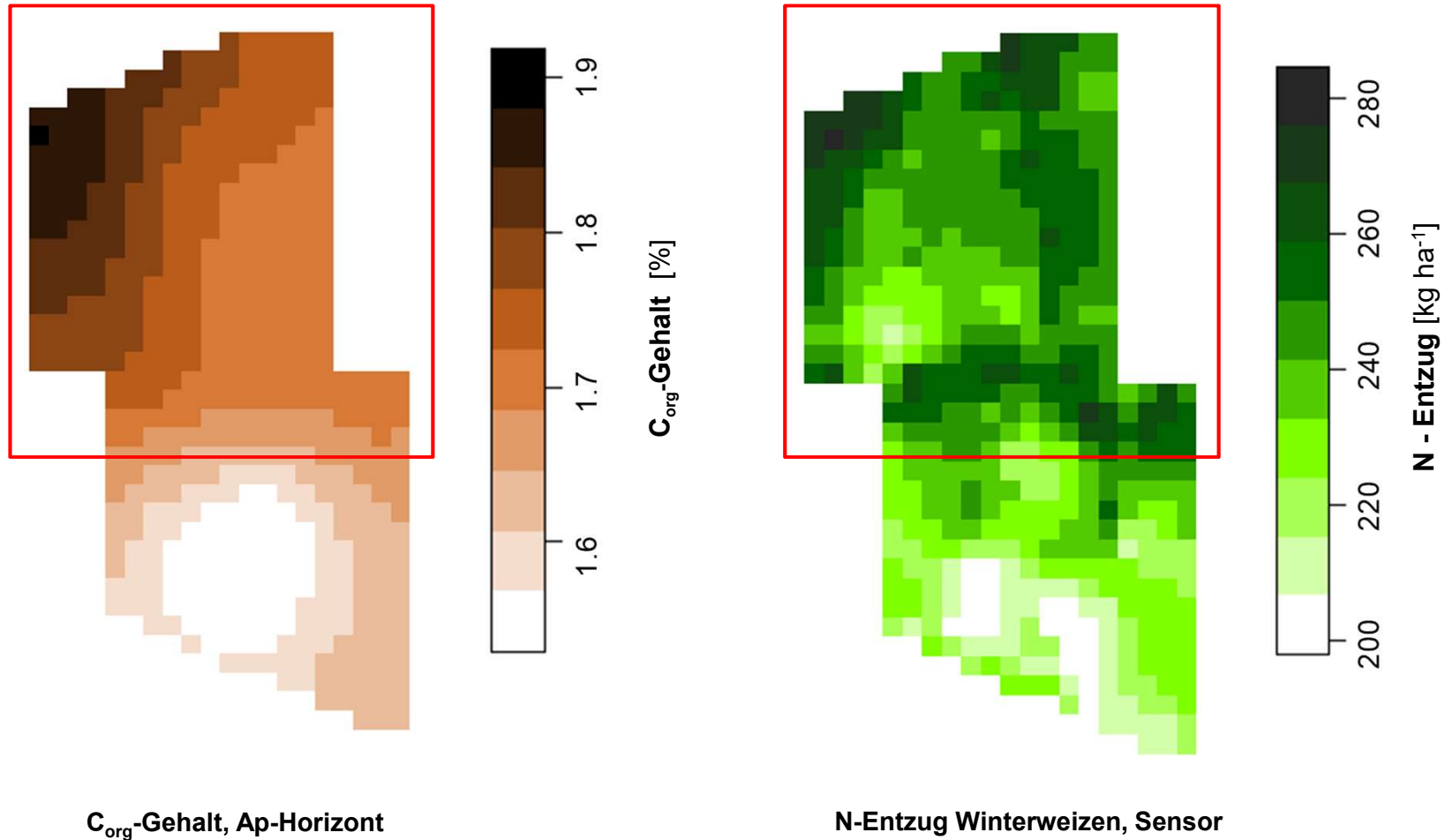
N_{min} -Vorrat (0 – 2,5 m Tiefe)

Schlag Hausfeld, 6.5 ha, sL, 452 (448 – 454) über NN



Forschungsprojekt digisens Burghausen/Burgkirchen

Räumliche Variabilität der C_{org} -Gehalte im Ap-Horizont und der N-Entzüge (Schuster et al. 2021)

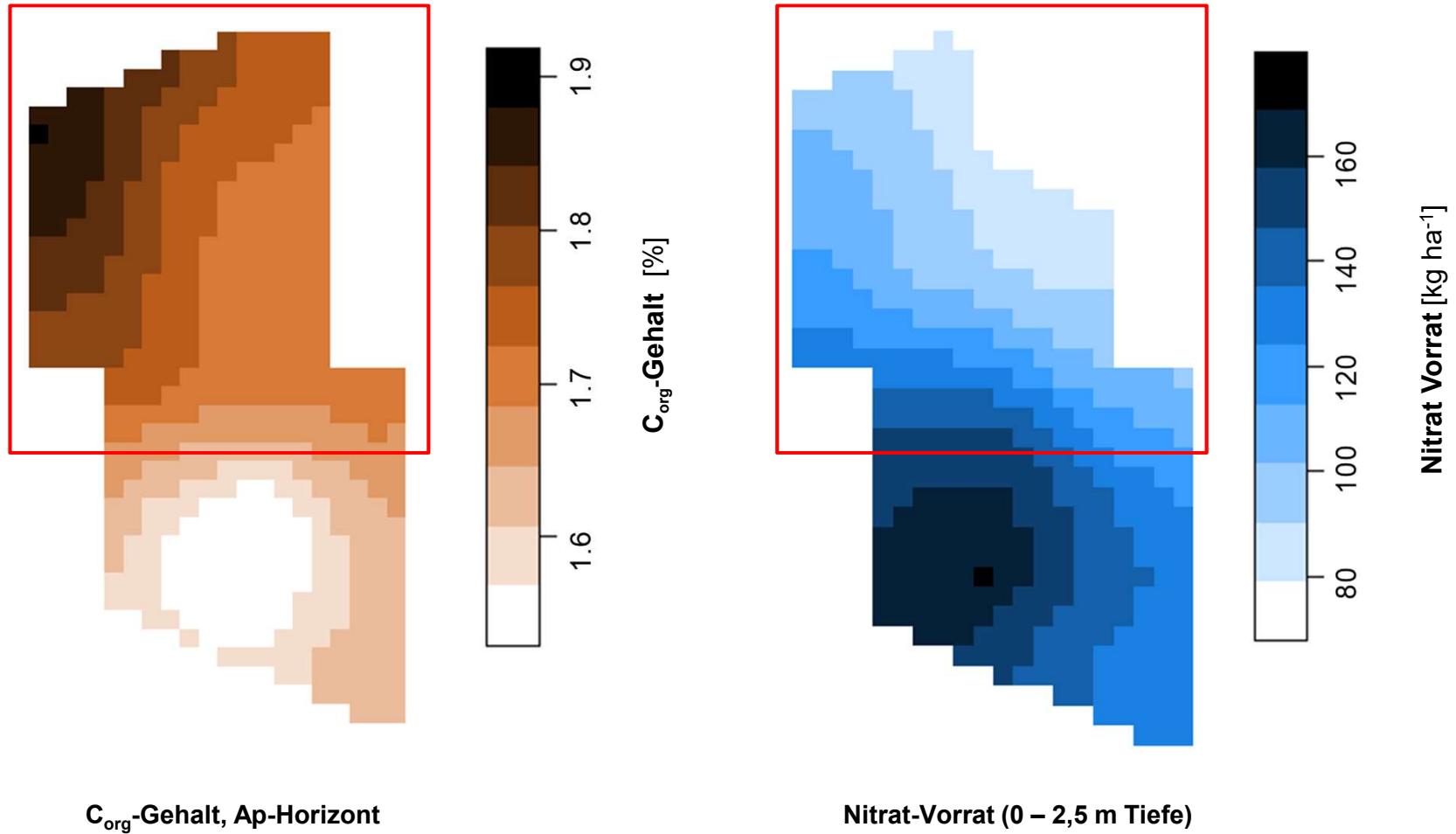


Schlag 2, 5.5 ha, L, 452 (460 – 469) über NN



Forschungsprojekt digisens Burghausen/Burgkirchen

Räumliche Variabilität der C_{org} -Gehalte im Ap-Horizont und der Nitrat-Vorräte (Schuster et al. 2021)



Schlag 2, 5.5 ha, L, 452 (460 – 469) über NN

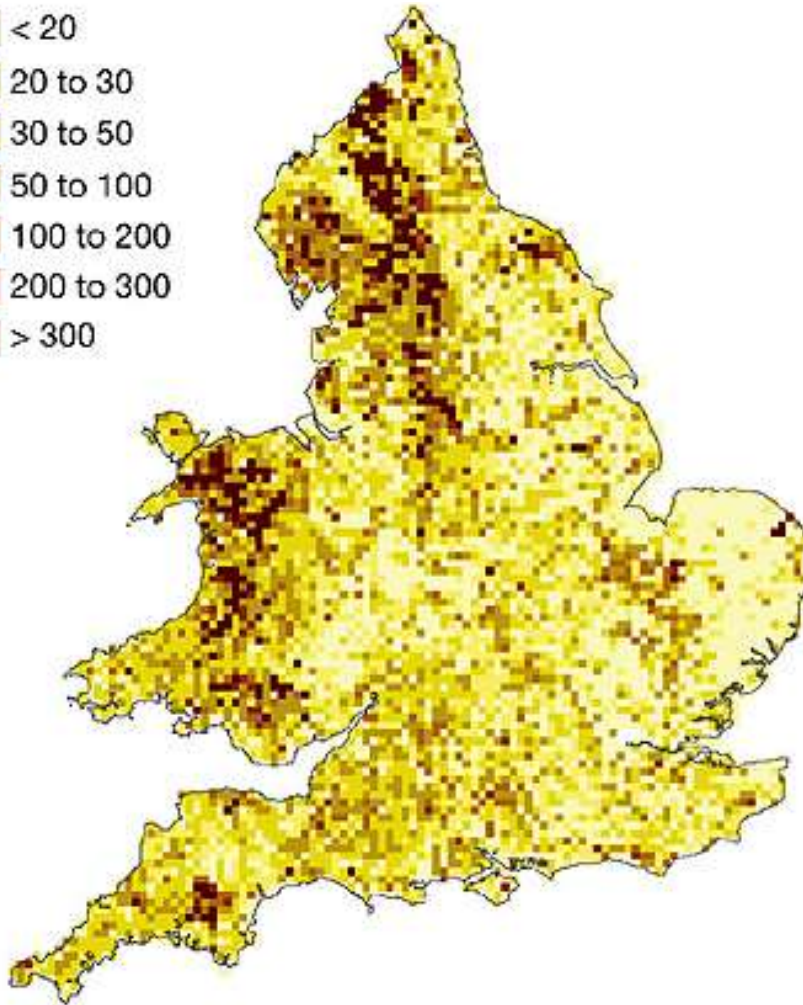
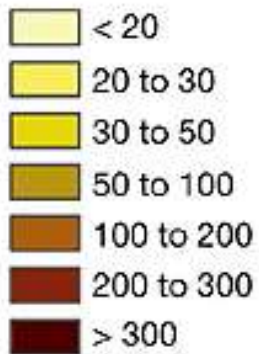


Carbon losses from all soils across England and Wales

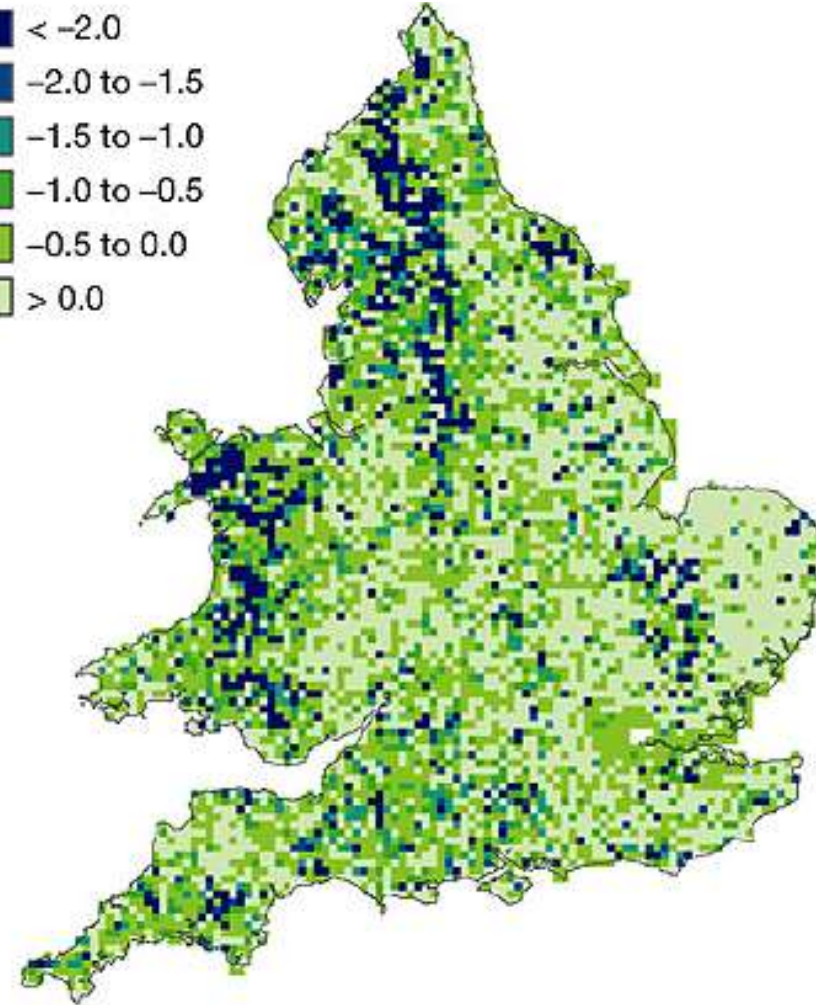
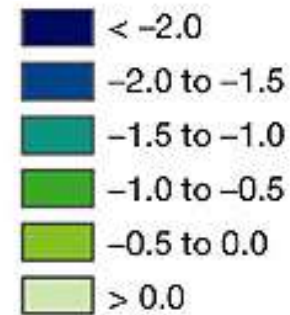
1978–2003 Bellamy et. al.: NATURE, Vol 437, September 2005, 245-247.



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



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

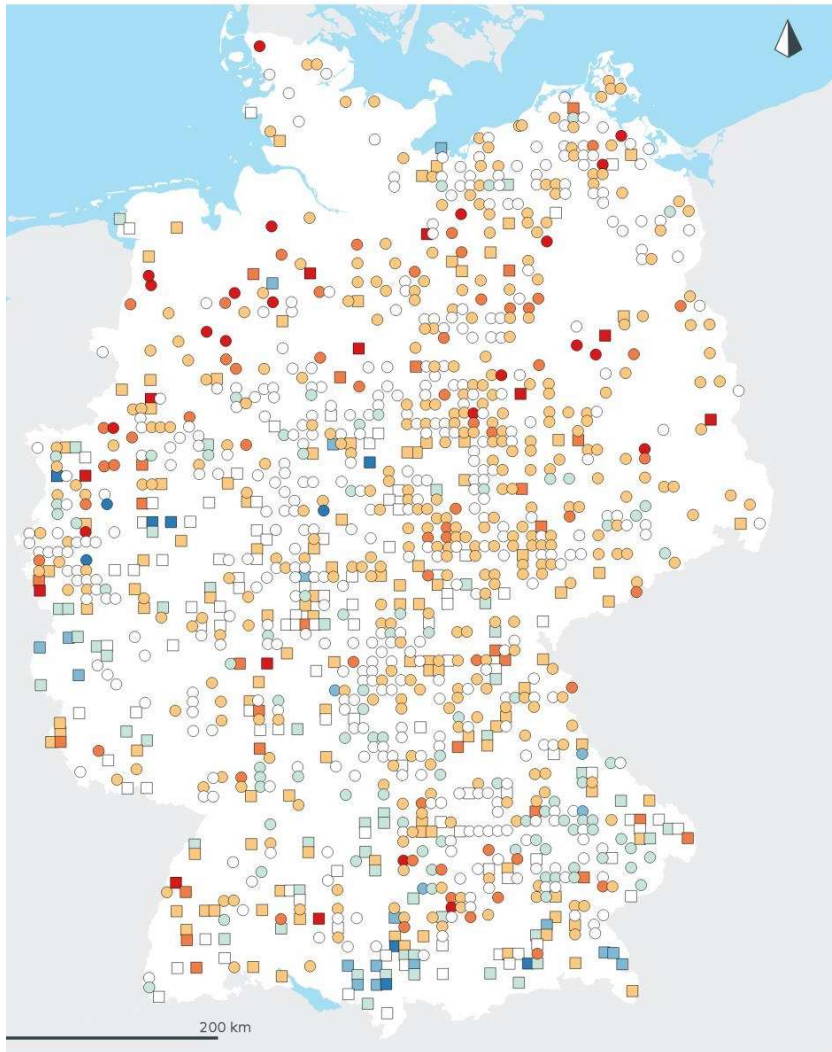


¹National Soil Resources Institute, Cranfield University, Silsoe MK45 4DT, UK. ²Rothamsted Research, Harpenden AL5 2JQ, UK.



Modellierte Änderung der Bodenkohlenstoffvorräte

Bodenschicht 0 bis 30 cm, Angaben je Hektar, Bodenzustandserhebung, Thünen-Institut (2018)



Modellierte Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte

landwirtschaftlicher Standorte im Oberboden (0-30 cm) bei Annahme zeitlich unveränderlicher Bedingungen, nicht signifikant auf Standortebene

Änderung

(t C_{org}ha⁻¹a⁻¹)

- < -1,0
- - 1,0 - -0,6
- - 0,6 - -0,2
- - 0,2 - +0,2
- +0,2 - +0,6
- +0,6 - +1,0
- > +1,0

○ Acker

□ Dauergrünland

C-Sequestrierung in Agroforstsystemen



Versuchsanlage in der Forschungsstation Scheyern



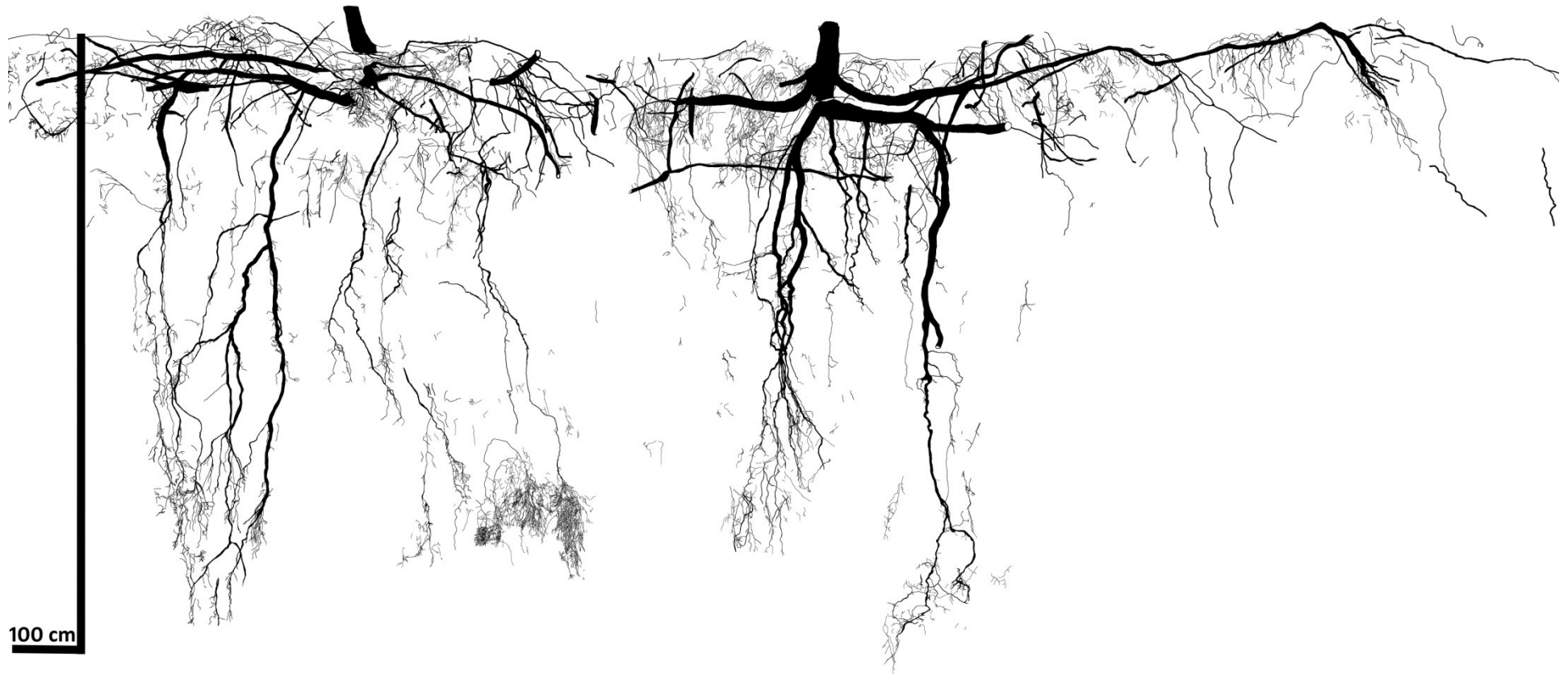
Agroforstsystem Scheyern, Holzernte Winter 2012/13

Huber (2013)



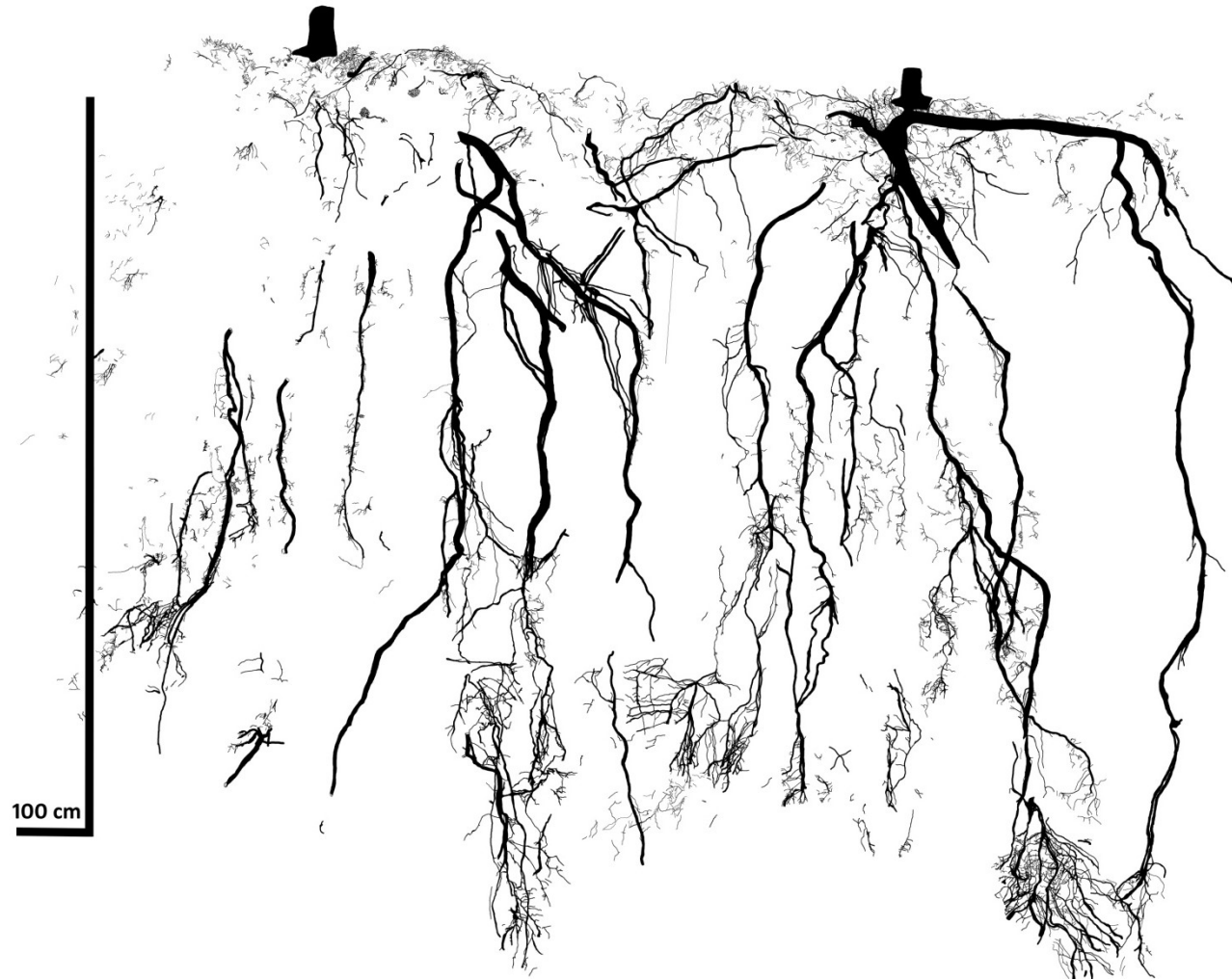


Wurzelsystem der Pappel, Huber (2011)





Wurzelsystem der Erle, Huber (2011)



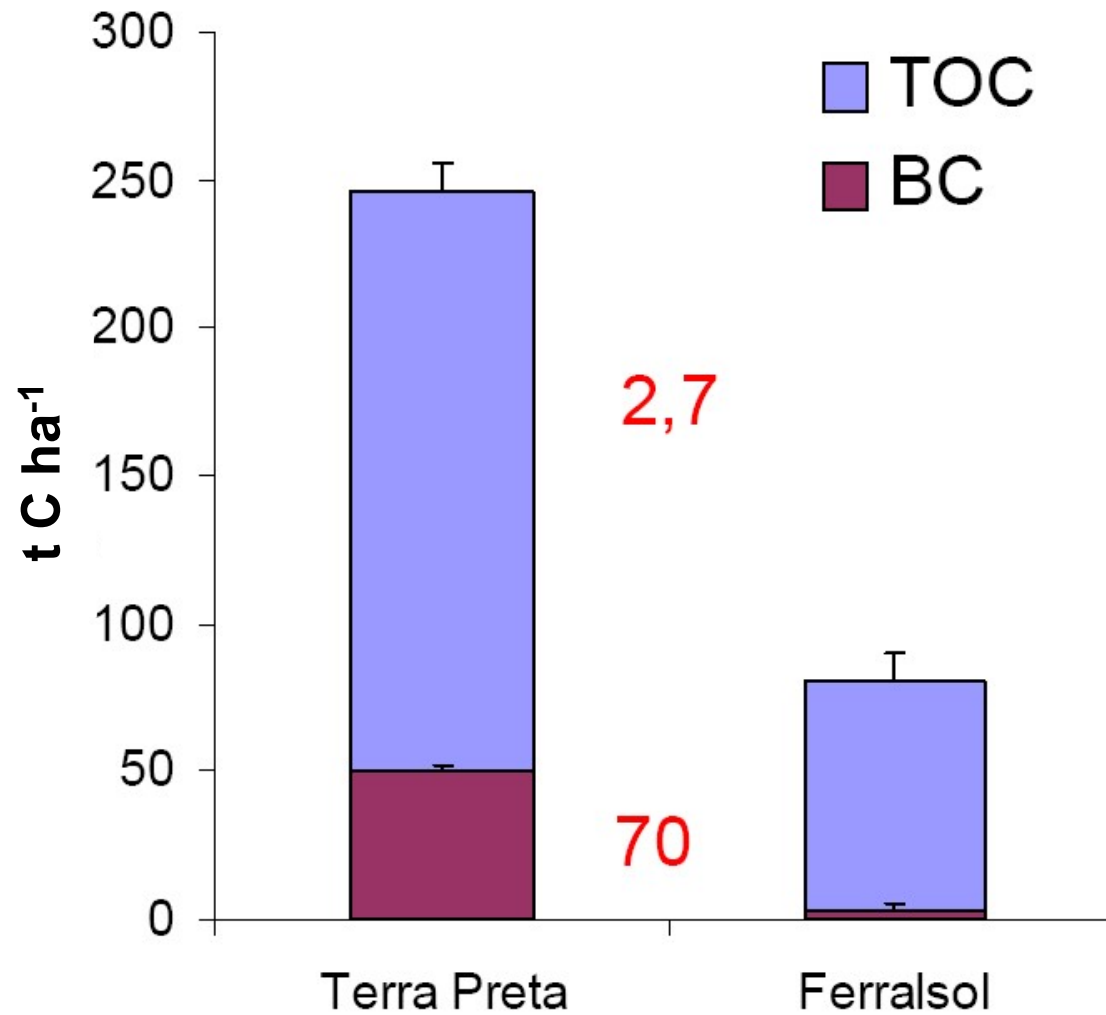


The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture

(Glaser et al. 2001)



Fig. 1 Typical profiles of 'Terra Preta' (a) and Oxisol (b) sites





Dauerfeldexperiment mit Pflanzenkohle

Versuchsstation Roggenstein (Jaufmann 2020)





Nutzungspotenziale von Pflanzenkohle und Terra Preta in der Bayerischen Landwirtschaft – Beitrag zu Klimaschutz und Klimaanpassung (TerraBayt)

Projektantrag an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Geplanter Projektbeginn: 01.01.2022

Mögliche Untersuchungsregion: Burghausen/Burgkirchen





- **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. $1,5 \text{ bis } 2,0 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

- **Höhere C-Gehalte im ökologischen Landbau**

+ 0,2 % C ($\approx 10 \text{ t C ha}^{-1}$), Ursache: Klee gras, Anbaustruktur – Fruchtfolge

- **Vorteile des Humusaufbaus**

Minderung der Treibhausgasemissionen, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit

Wasserinfiltration und -speicherung (Anpassung an Klimaextreme)



Systemüberblick CO₂-Zertifizierungssysteme

Christian Hiller, Projekt Agrarsysteme (2021), TUM School of Life Sciences



Anbieter	Ziele	Anwendungsgebiete	Honorierung	Maßnahmen	Nachweis
CarboCert	CO₂-Kompensation durch Humusaufbau	260 Landwirte 10.000 ha	30 € t ⁻¹ CO _{2-e}	Keine konkrete Forderung	GPS-gestützte Bodenproben
Indigo	CO₂-Kompensation durch Humusaufbau	3.000 Landwirte 1 Mio. ha	13 € t ⁻¹ CO _{2-e}	Individuell auf Beratungsbasis	georeferenzierte Bodenproben
Green Collar	CO ₂ -Kompensation	730 Projekte 3 Mio. ha	7,8 € t ⁻¹ CO _{2-e}	Individuell nach Betriebsform	georeferenzierte Bodenproben
Trimble Agriculture	CO ₂ -Kompensation	3.5 Mio. t CO _{2-e}	20 € t ⁻¹ CO _{2-e}	konservierende BB, N-Protokollierung	Dokumentation
Ökoregion Kaindorf	CO₂-Kompensation durch Humusaufbau	300 Landwirte 4.000 ha	30 € t ⁻¹ CO _{2-e}	Individuell auf Beratungsbasis	Bodenproben
Nori	CO ₂ -Kompensation	22.345 t CO _{2-e}	13 € t ⁻¹ CO _{2-e}	Individuell auf Beratungsbasis	Bodenproben
CoolFarm	gesamtbetriebliche GHG-Betrachtung	12.500 registrierte Nutzer	keine	Individuell, auf Kalkulationsbasis	GHG-Kalkulation
Farm Carbon Toolkit	gesamtbetriebliche GHG-Betrachtung	2.500 registrierte Nutzer	keine	Individuell, auf Kalkulationsbasis	GHG-Kalkulation



Ökoregion Kaindorf

[DIE ÖKOREGION](#) [PROJEKTE](#) [MITGLIED/PARTNER](#) [TERMINE](#) [SERVICE](#) [SHOP](#)



Das Humusaufbau-Projekt

In den letzten Jahrzehnten wurde weltweit „humuszehrend“ gewirtschaftet – das heißt, dass die Humusreserven der Ackerböden durch die Bewirtschaftung (Bodenlockerung, Handelsdünger, Spritzmittel, Monokulturen etc.) reduziert wurden. Im Vergleich zu den 1930er-Jahren haben wir nur mehr ein Drittel bis maximal die Hälfte des ursprünglichen Humusvorrates im Boden.



CARBON FARMING

GreenCollar works with graziers, farmers and land managers throughout Australia to develop carbon projects under the Emissions Reduction Fund (ERF).

Our projects enhance productive enterprise while caring for the environment. Our team of project development and technical specialists can help you earn a resilient, drought-proof income.

HOW IT WORKS

Carbon Farming projects generate income for landholders through changes in land management practices which reduce greenhouse gas emissions or store carbon in soil and vegetation.