

Humusersatzwirkung pflanzlicher Kohlenstoffquellen

Mewes, P., Höcker, S., Engels, C.

Humboldt - Universität zu Berlin

Lebenswissenschaftliche Fakultät

Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

Was ist Humusersatzwirkung und wie kann die Humusersatzwirkung pflanzlicher C-Quellen erfasst werden?

Wie unterscheiden sich Fruchtarten und Anbausysteme im Energiepflanzenanbau in ihrer Humusersatzwirkung?

Welche Beziehungen bestehen zwischen der Humusersatzwirkung und biochemischen Eigenschaften pflanzlicher C-Quellen?

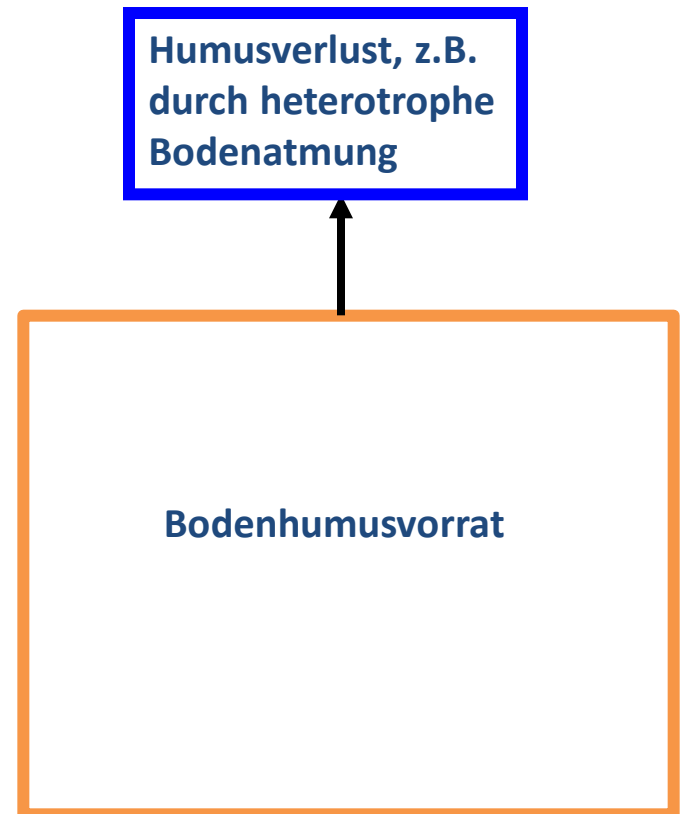
Einführung

Humusverluste im Anbau von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen

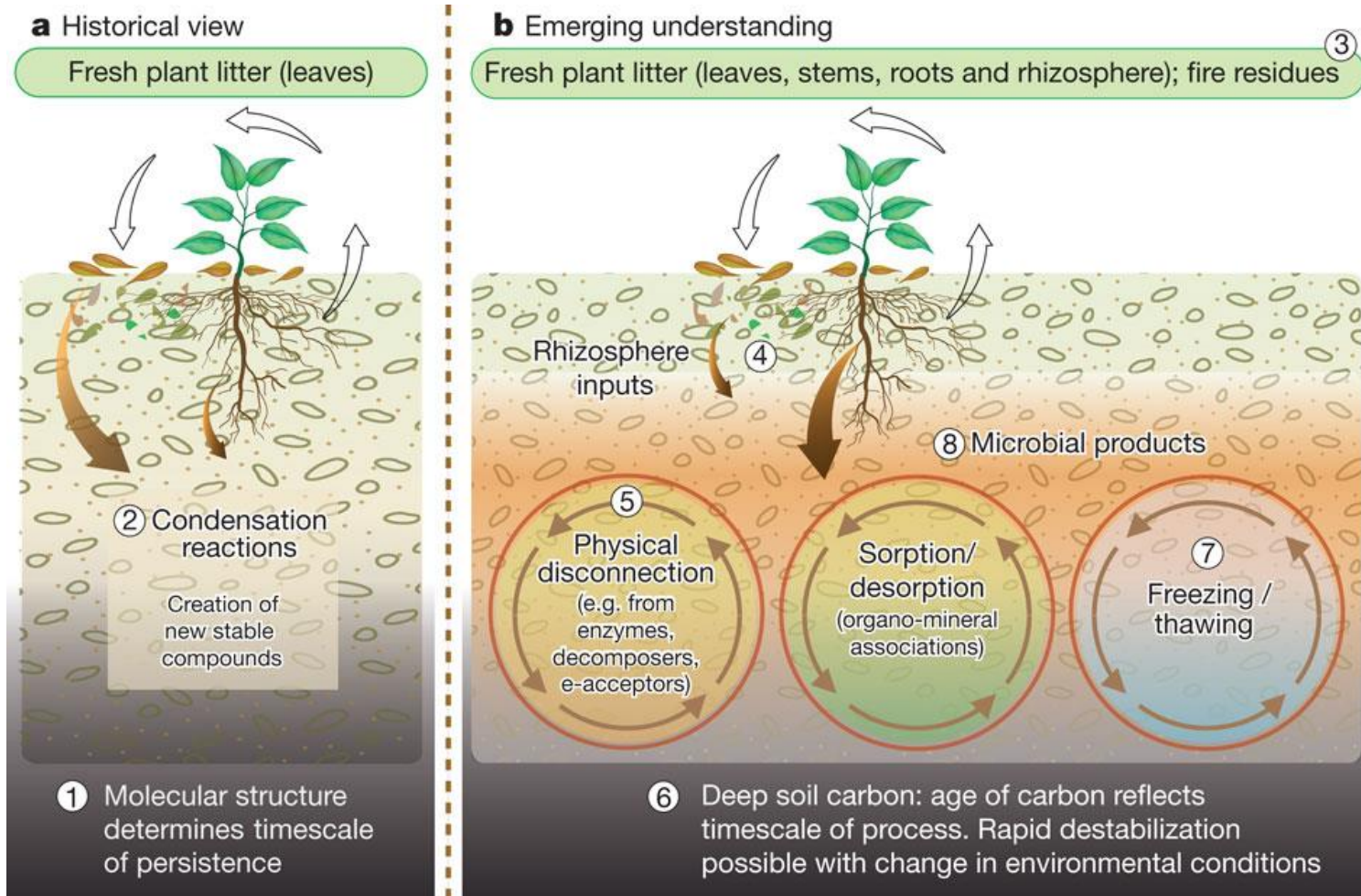
heterotrophe Bodenrespiration

Erosion

Auswaschung



Prozessierung des Kohlenstoffs im Boden

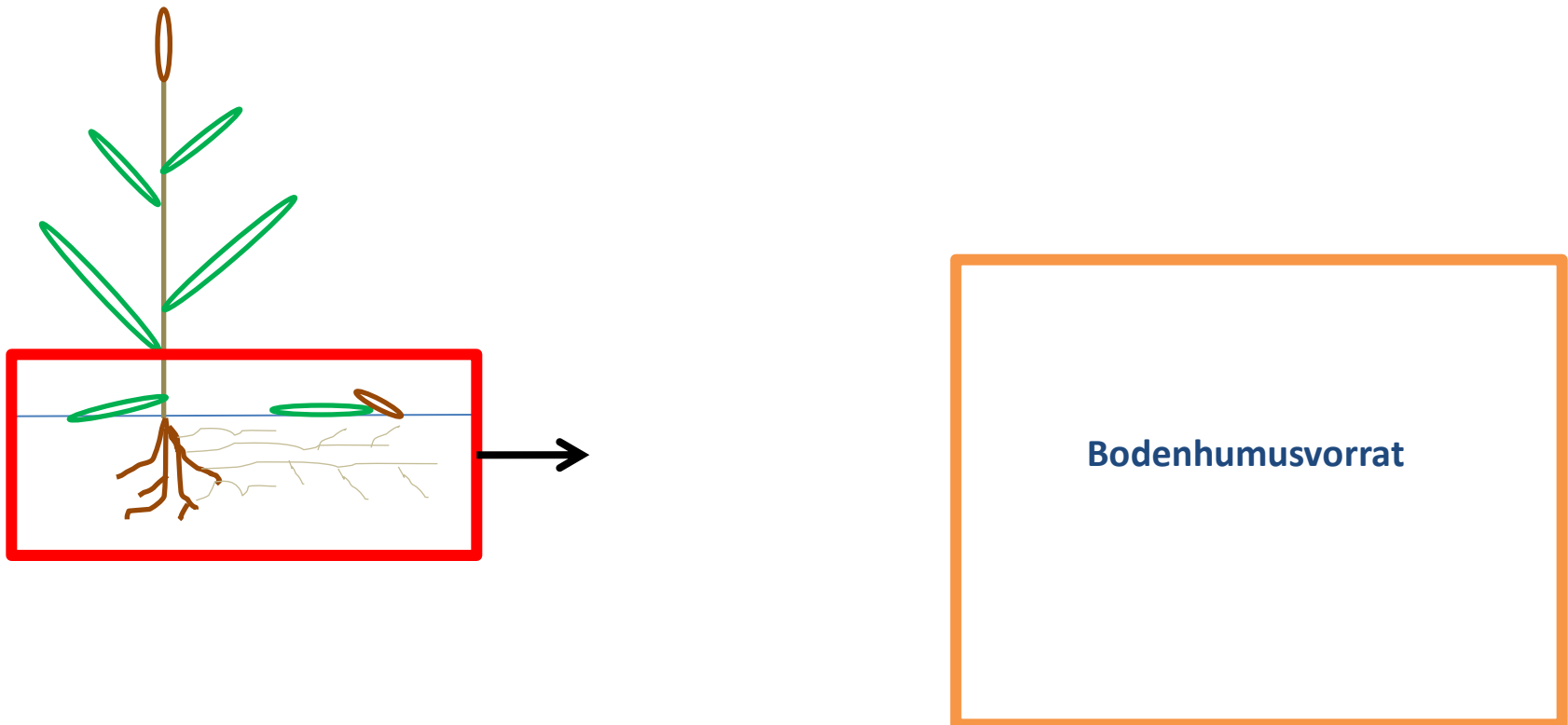


Schmidt MWI *et al.* 2011. *Nature* 478, 49-56

Zufuhr von exogenen organischen C-Quellen

a) Eintrag von pflanzlichen C-Quellen

Höcker, Sven – Eintrag von pflanzenbürtigem organischem Kohlenstoff in den Boden durch den Anbau von Energiepflanzenarten und Energieanbausystemen; Agrosnet Doktorandentag, 11.03.2015, 9.30 Uhr, H2



Zufuhr von exogenen organischen C-Quellen

a) Eintrag von pflanzlichen C-Quellen

b) organische Düngung

Wirtschaftseigene Dünger

- Stroh
- Stallmist
- Gülle

Biokomposte

Gärrückstände (fest / flüssig)

Biokohle

Abbau, Umbau und Humifizierung exogener organischer C-Quellen

Regulation durch 3 Faktorengruppen¹:

- i. chemischen Eigenschaften der organischen Substanz (z.B. C/N-Verhältnis, Ligningehalt), welche die Rekalzitranz beeinflussen,
- ii. Aktivität der Bodenorganismen, die stark von Bodentemperatur und –feuchte beeinflusst wird und
- iii. physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften, die zu einer Stabilisierung organischer Verbindungen im Boden führen.

¹Jastrow JD, Amonette JE, Bailey VL 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. Climatic Change 80, 5-23.

Was ist Humusersatzwirkung und wie kann die Humusersatzwirkung pflanzlicher C-Quellen erfasst werden?

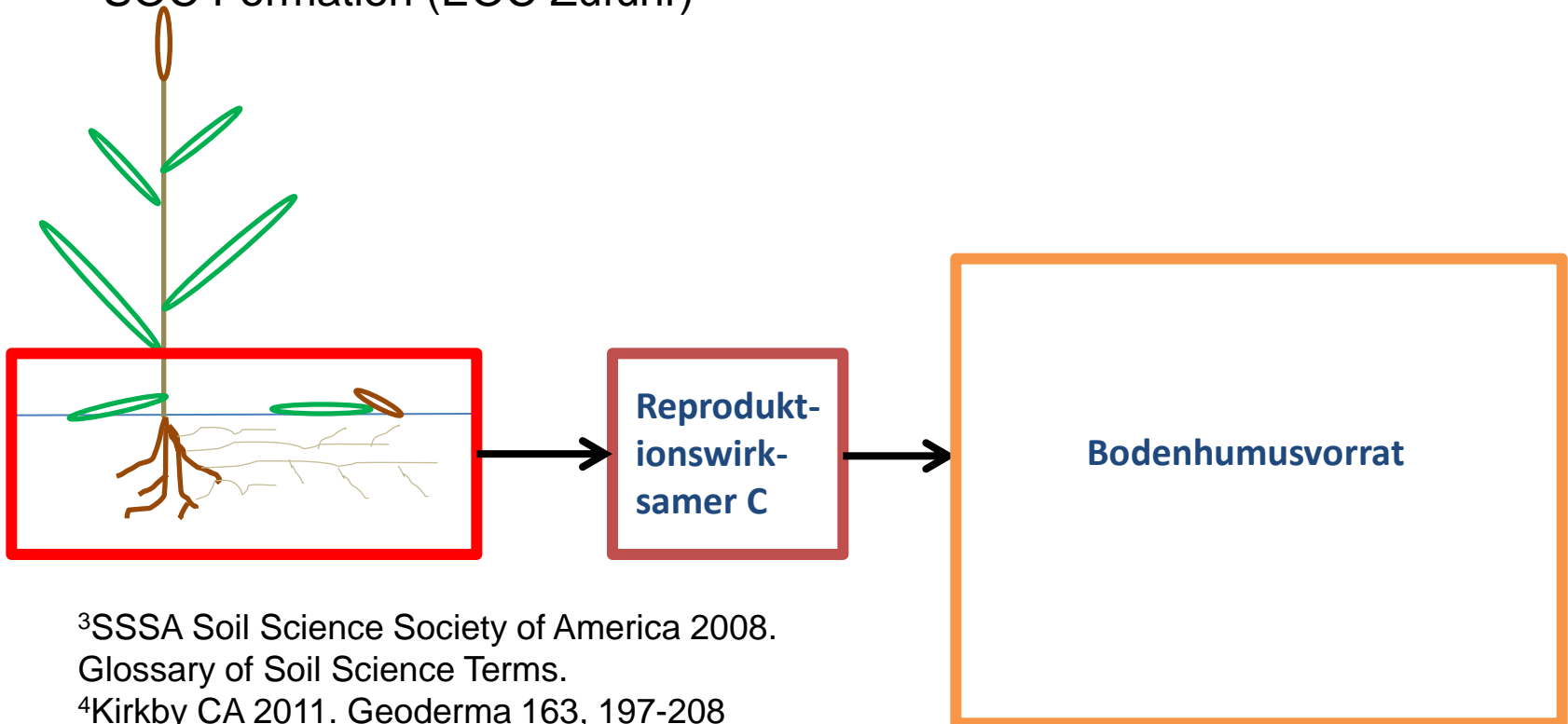
Humus (SOC)

Organische Bodenfraktion exklusive Pflanzen, Tiere und ihre direkten unprozessierten Rückstände³

Humuswirkung (humification effect, Humusersatzwirkung): SOC Formation

Humuswirkungsgrad (humification efficiency⁴, Humifizierungskoeffizient):

$\text{SOC Formation (EOC Zufuhr)}^{-1}$



³SSSA Soil Science Society of America 2008. Glossary of Soil Science Terms.

⁴Kirkby CA 2011. Geoderma 163, 197-208

Zielstellung

Quantifizierung der Humuswirkung pflanzlicher Kohlenstoffquellen

Herkömmlich: Dauerfeldversuche

Schnellverfahren: Kurzfristiger Abbau

- Streubeutelversuch im Feld
- Laborversuche
- Vorhersage auf der Grundlage biochemischer Eigenschaften (z.B. C/N-Verhältnis, Ligningehalt)

Material und Methode

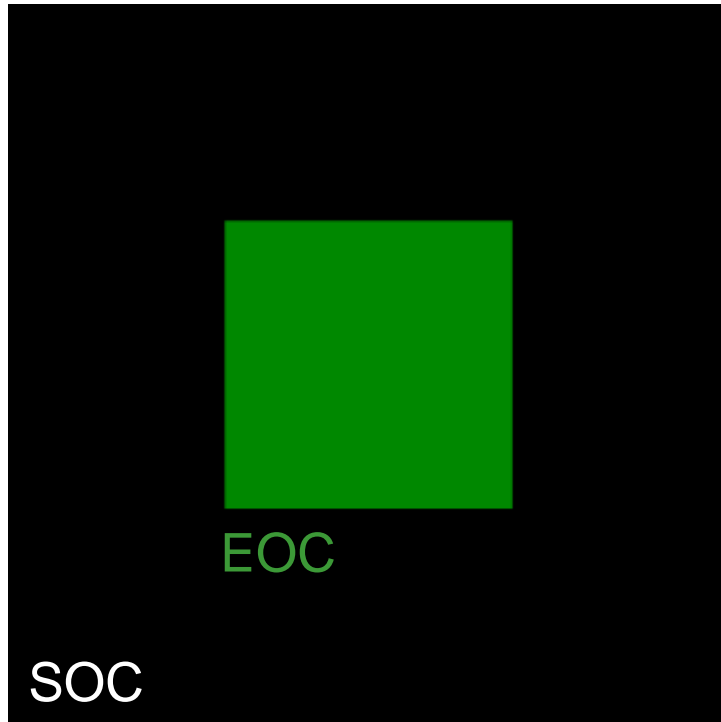
Inkubationsversuche

DIN ISO 16072:2005-6



Bestimmung des mikrobiellen Abbaus der pflanzlichen C-Quelle

Inkubation der pflanzlichen C-Quelle



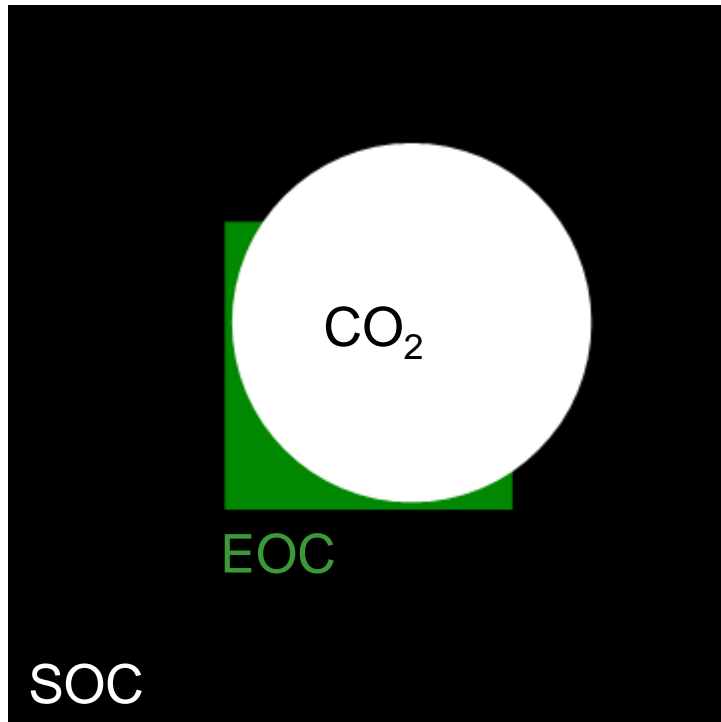
Bestimmung des mikrobiellen Abbaus der pflanzlichen C-Quelle

Inkubation der pflanzlichen C-Quelle

Messung der CO₂-Freisetzung

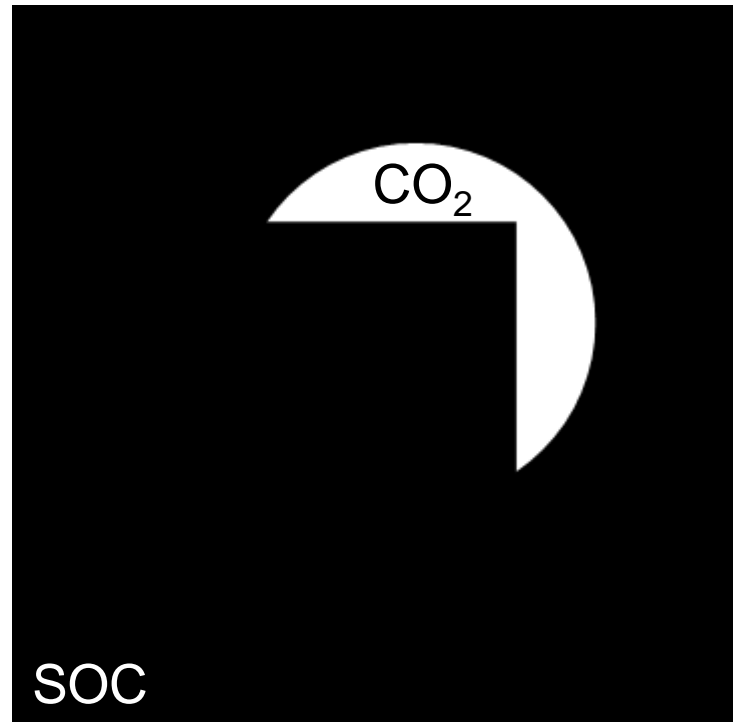
aus Bodensäulen mit
pflanzlicher C-Quelle

$$C_{CO_2EOC+Soil}(t)$$



aus Bodensäulen

$$C_{CO_2Soil}(t)$$

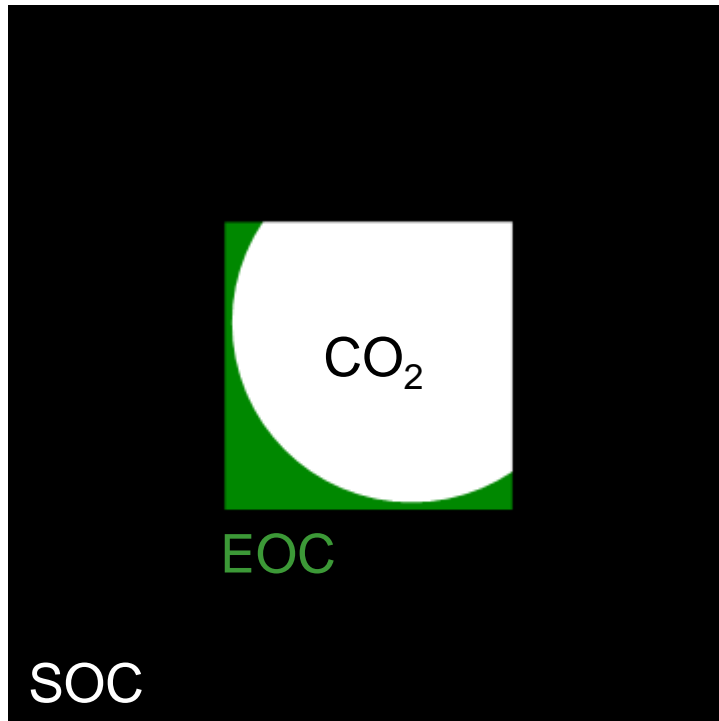


Bestimmung des mikrobiellen Abbaus der pflanzlichen C-Quelle

Inkubation der pflanzlichen C-Quelle

Messung der CO₂-C-Freisetzung

Mineralisationskoeffizient



Mineralisationskoeffizient $C(t_i)$

$$C(t_i) = \frac{C_{CO_2 EOC+Soil}(t_i) - C_{CO_2 Soil}(t_i)}{C_{EOC}}$$

C_{EOC} Pflanzliche C-Quelle

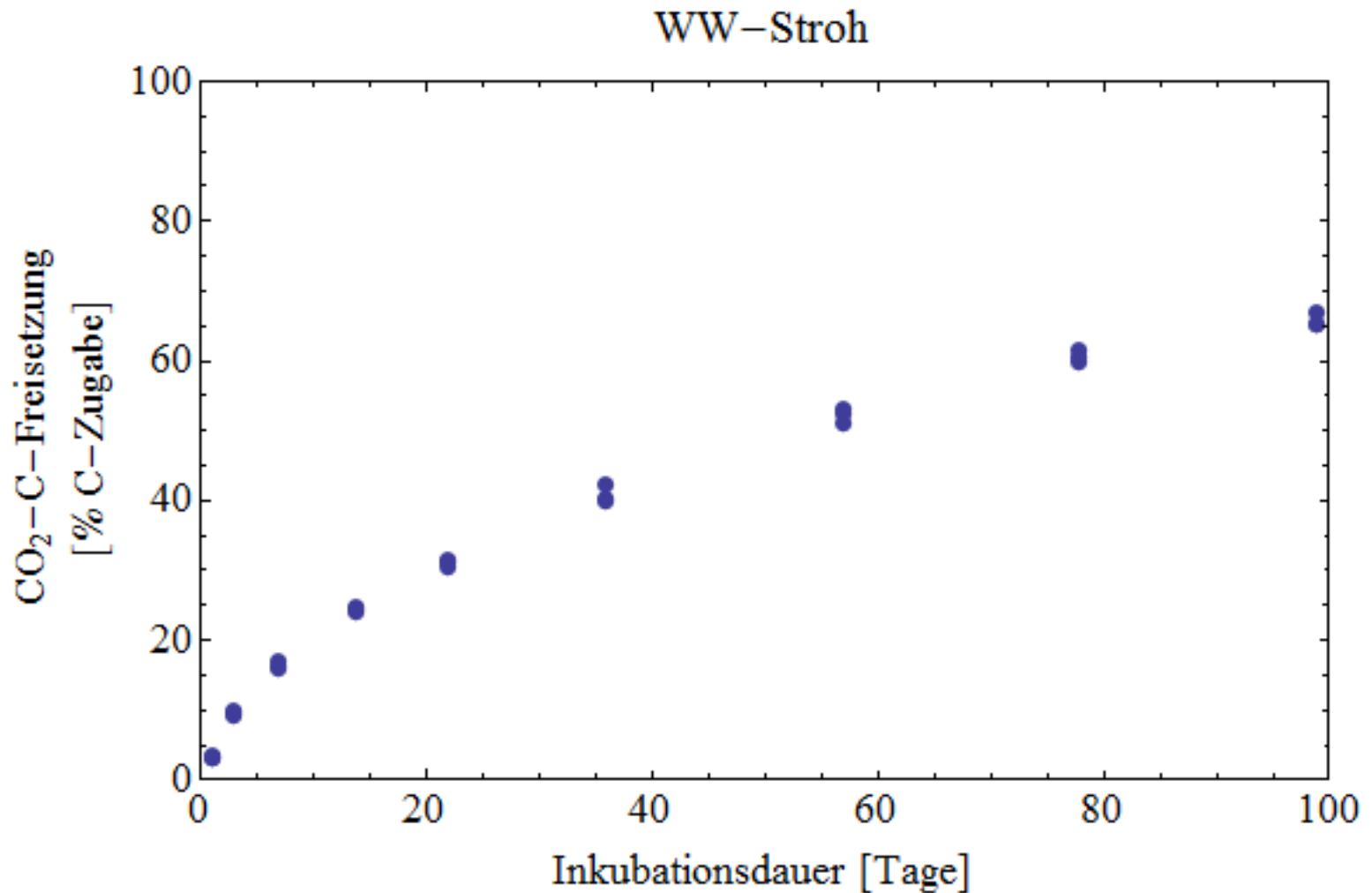
C_{CO_2} CO₂-C-Freisetzung

t_i Messzeitpunkt i

Ergebnisse

Messwertreihe der CO₂-Freisetzung

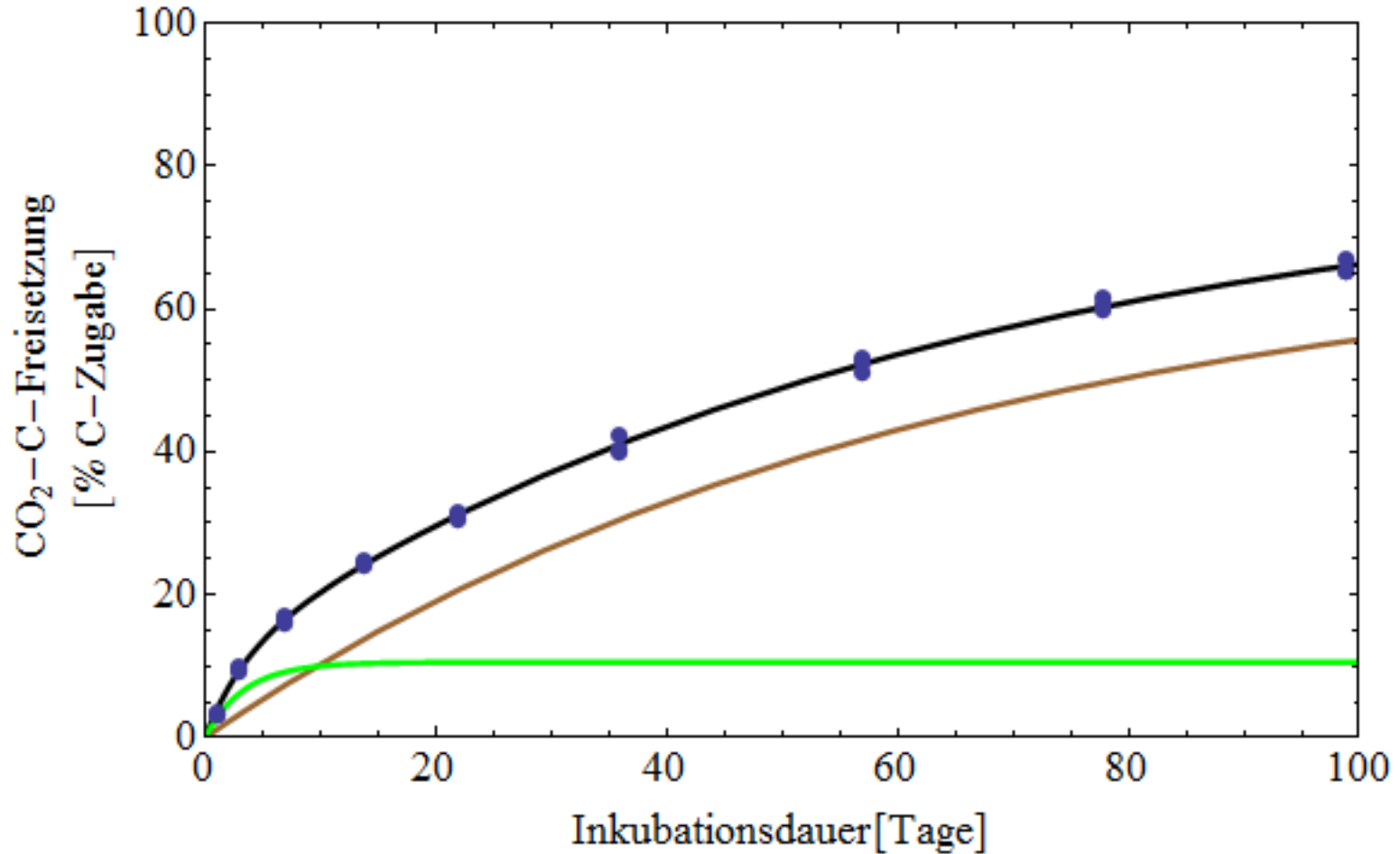
Beispiel: Winterweizenstroh



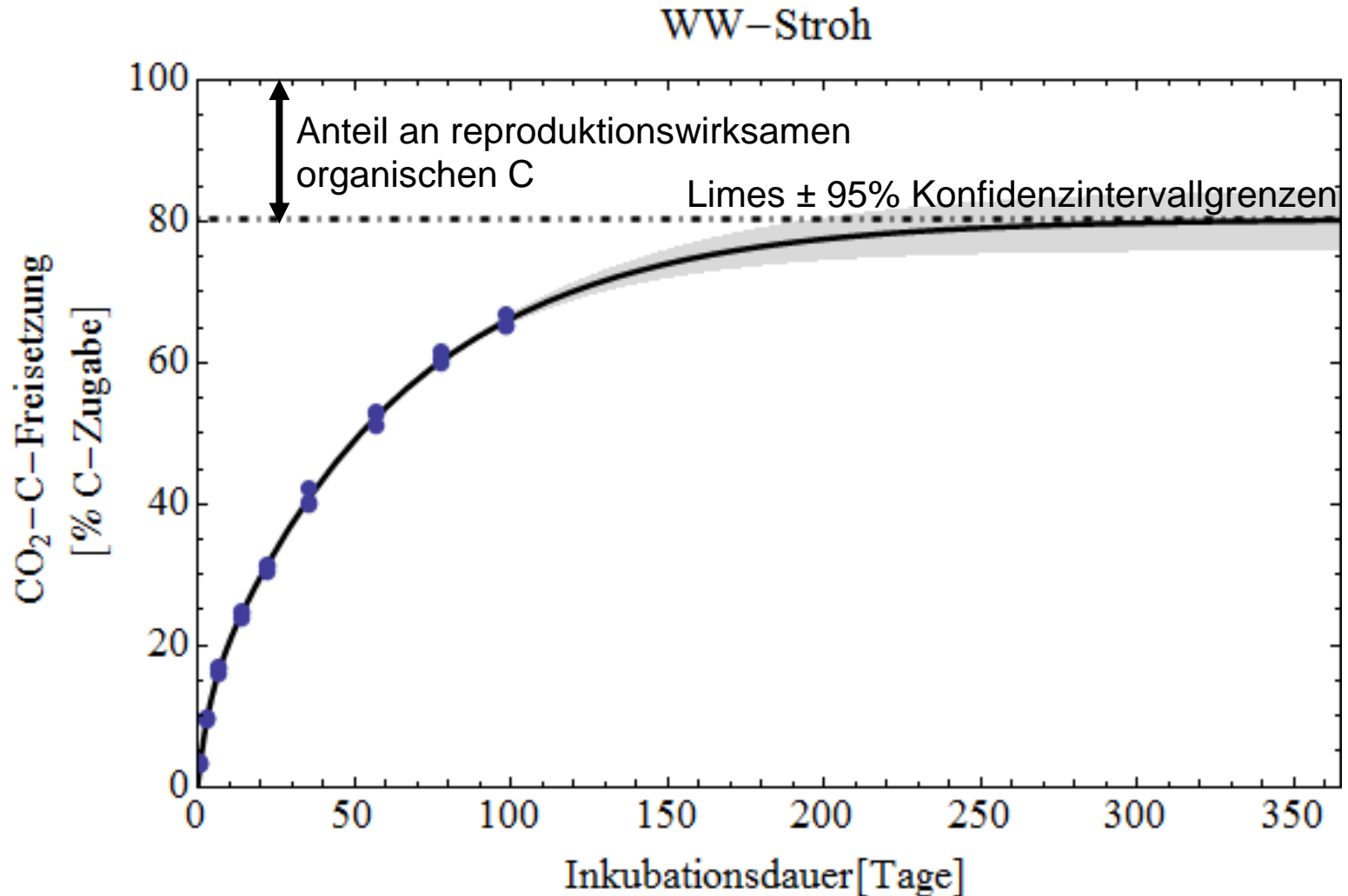
Zweikompartimentmodell (parallele Kompartimente)

$$\underline{C_{11}(t)} = \underline{C_1(1 - e^{-k_1 t})} + \underline{C_2(1 - e^{-k_1 t})}$$

WW-Stroh



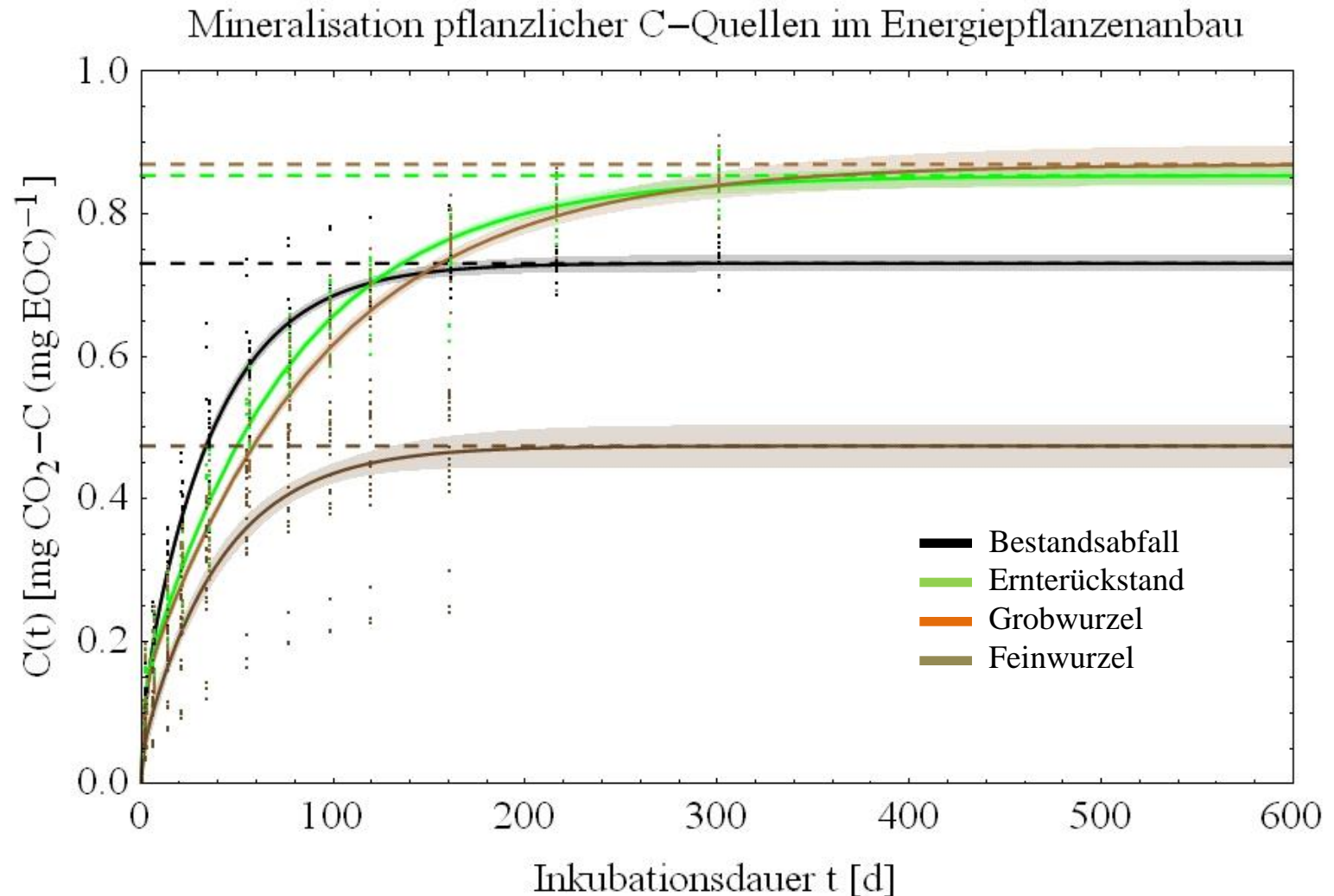
Anteil an reproduktionswirksamen organischen C (**potential residual organic carbon⁵⁾**)



⁵Lashermes *et al.* 2009. European Journal of Soil Science 60, 297-310

Wie unterscheiden sich Fruchtarten und Anbausysteme im Energiepflanzenanbau in ihrer Humusersatzwirkung?

Inkubationsversuch, Mittelwerte für verschiedene Fruchtarten (Mais, *S. bicolor*, *S. sudanense*, Erbse, Hafer); 22°C, 60% WHK, ohne N-Düngung



Einfluss der Fruchtart bzw. des Anbausystems auf den Anteil an reproduktionswirksamen organischen C aus unterschiedlichen pflanzlichen C-Quellen

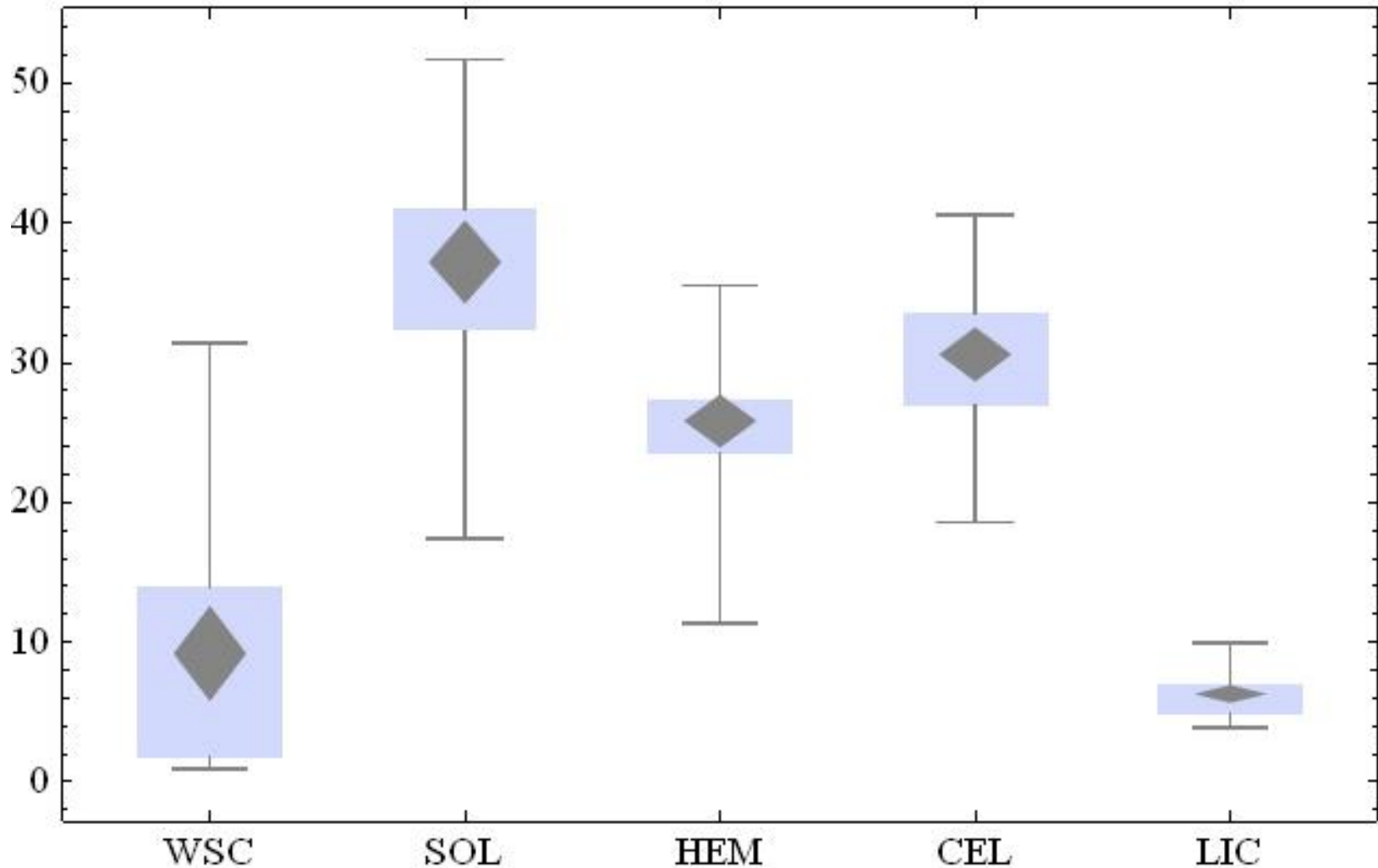
Grenzwerte \pm 95% Konfidenzintervallgrenzen, WW Winterweizen, HF Hauptfrucht, ZF Zweitfrucht, MF Mischfrucht

Fruchtart/ Anbausystem	Pflanzliche C-Quelle				Mittelwert Fruchtart
	Bestandsabfall	Ernterückstand	Grobwurzel	Feinwurzel	
Anteil an reproduktionswirksamen organischen C [mg C (mg Pfl.-C)⁻¹]					
Erbse	0.20 \pm 0.024	0.33 \pm 0.010	0.46 \pm 0.004	0.71 \pm 0.028	0.54
WW Vollreife	0.21 \pm 0.019	0.14 \pm 0.020	0.29 \pm 0.023	0.52 \pm 0.050	0.34
Mais	0.30 \pm 0.008	0.19 \pm 0.010	0.11 \pm 0.008	0.48 \pm 0.022	0.23
<i>Sorghum bicolor</i>	0.26 \pm 0.008	0.11 \pm 0.013	0.13 \pm 0.015	0.38 \pm 0.021	0.18
<i>S. bicolor x sudanense</i>	0.27 \pm 0.008	0.12 \pm 0.009	0.09 \pm 0.023	0.44 \pm 0.013	0.20
MF Mais/ <i>S. bicolor</i>	0.25 \pm 0.009	0.15 \pm 0.010	0.24 \pm 0.015	0.41 \pm 0.107	0.24
MF Erbse/ Hafer	0.28 \pm 0.013	0.19 \pm 0.007	0.27 \pm 0.018	0.58 \pm 0.071	0.37
ZF Mais	0.25 \pm 0.014	0.08 \pm 0.018	0.09 \pm 0.031	0.53 \pm 0.062	0.26
ZF <i>Sorghum bicolor</i>	0.21 \pm 0.027	0.04 \pm 0.057	0.09 \pm 0.039	0.45 \pm 0.013	0.21
ZF <i>S. bicolor x sud.</i>	0.22 \pm 0.024	0.05 \pm 0.065	0.09 \pm 0.038	0.55 \pm 0.040	0.26
WW Grünschnitt		0.13 \pm 0.014	0.11 \pm 0.017	0.43 \pm 0.008	0.25
Mittelwert pflanzliche C-Quelle	0.25	0.14	0.18	0.50	

Welche Beziehungen bestehen zwischen der Humuswirkung und biochemischen Eigenschaften pflanzlicher C-Quellen?

Deskriptive Statistik verschiedener biochemische Parameter pflanzlicher C-Quellen

Box-Whisker-Charts, pflanzliche C-Quellen verschiedener Fruchtarten- und Anbausysteme (s.o.), n=28,
WSC watersoluble carbohydrates, SOL Solubles, HEM Hemicelluloses, CEL Celluloses, LIC Lignocelluloses
[g (100g TM)⁻¹]



Einfluss der Fruchtart bzw. des Anbausystems auf das C/N-Verhältnis verschiedener pflanzlicher C-Quellen

Mittelwerte; BA Bestandsabfall, ER Ernterückstand, GW Grobwurzel, FW Feinwurzel

Kulturart/ Anbausystem	Pflanzliche C-Quelle			
	BA	ER	GW	FW
	C/N-Verhältnis			
Erbse	21	28	18	21
WW Vollreife	33	98	51	29
Mais	30	82	93	29
<i>Sorghum bicolor</i>	34	84	71	38
<i>S. bicolor x sudanense</i>	35	82	54	41
MF Erbse/ Hafer	34	41	50	23
MF Mais/ <i>S. bicolor</i>	42	90	80	41
ZF Mais	58	118	99	33
ZF <i>Sorghum bicolor</i>	67	149	102	45
ZF <i>S. bicolor x sudanense</i>	60	154	102	35
WW Grünschnitt		131	60	30
Mittelwert pflanzliche C-Quelle	41	92	70	33

Einfluss der Fruchtart bzw. des Anbausystems auf den Gehalt wasserlöslicher Kohlehydrate (WSC) verschiedener pflanzlicher C-Quellen

Mittelwerte; BA Bestandsabfall, ER Ernterückstand, GW Grobwurzel, FW Feinwurzel

Kulturart /Anbausystem	Pflanzliche C-Quelle		
	BA	ER	GW
	WSC [g (100 g TM)⁻¹]		
Erbse			
WW Vollreife	4	1	1
Mais	2	14	8
<i>Sorghum bicolor</i>	1	26	16
<i>S. bicolor x sudanense</i>	1	24	23
MF Erbse/ Hafer	2	14	2
MF Mais/ <i>S. bicolor</i>	2	17	11
ZF Mais	2	15	9
ZF <i>Sorghum bicolor</i>	1	24	27
ZF <i>S. bicolor x sudanense</i>	1	17	27
WW Grünschnitt		31	9
Mittelwert pflanzliche C-Quelle	2	18	12

Welche Beziehung besteht zwischen der Humuswirkung (Mineralisation) und biochemischen Eigenschaften pflanzlicher C-Quellen?

1) Biochemische Charakteristik

Die pflanzlichen C-Quellen verschiedener Fruchtarten bzw. Anbausysteme im Energiepflanzenanbau unterscheiden sich stark im C/N-Verhältnis.

Die weitesten C/N-Verhältnisse finden sich in den Ernterückständen und der Grobwurzel der Energiepflanzenarten Mais, *Sorghum bicolor* und *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Sie sind in Zweitfruchtstellung deutlich weiter als in Hauptfruchtstellung.

Der Gehalt wasserlöslicher Kohlehydrate variiert ebenfalls sehr stark zwischen den pflanzlichen C-Quellen (ohne Feinwurzeln) verschiedener Fruchtarten bzw. Anbausysteme. Der Bestandsabfall ist nahezu frei von wasserlöslichen Kohlehydraten.

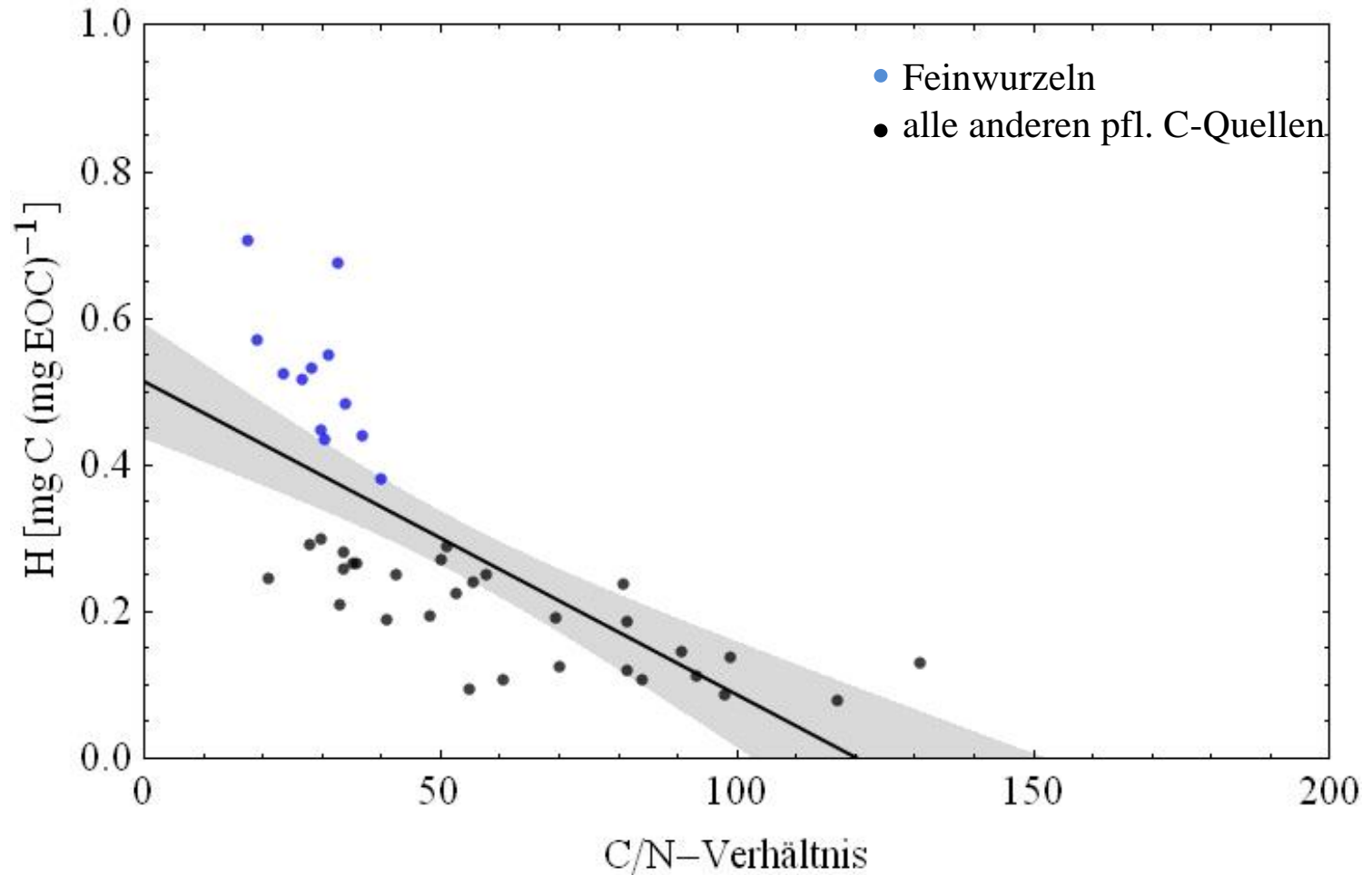
Die pflanzlichen C-Quellen (ohne Feinwurzeln) verschiedener Fruchtarten bzw. Anbausysteme im Energiepflanzenanbau unterscheiden sich kaum im Ligningehalt.

Schätzung der Humuswirkung aus dem C/N-Verhältnis

$$H = 0.51393 - 0.00428 \frac{C}{N}$$

$$r^2 = 0.52, n = 42$$

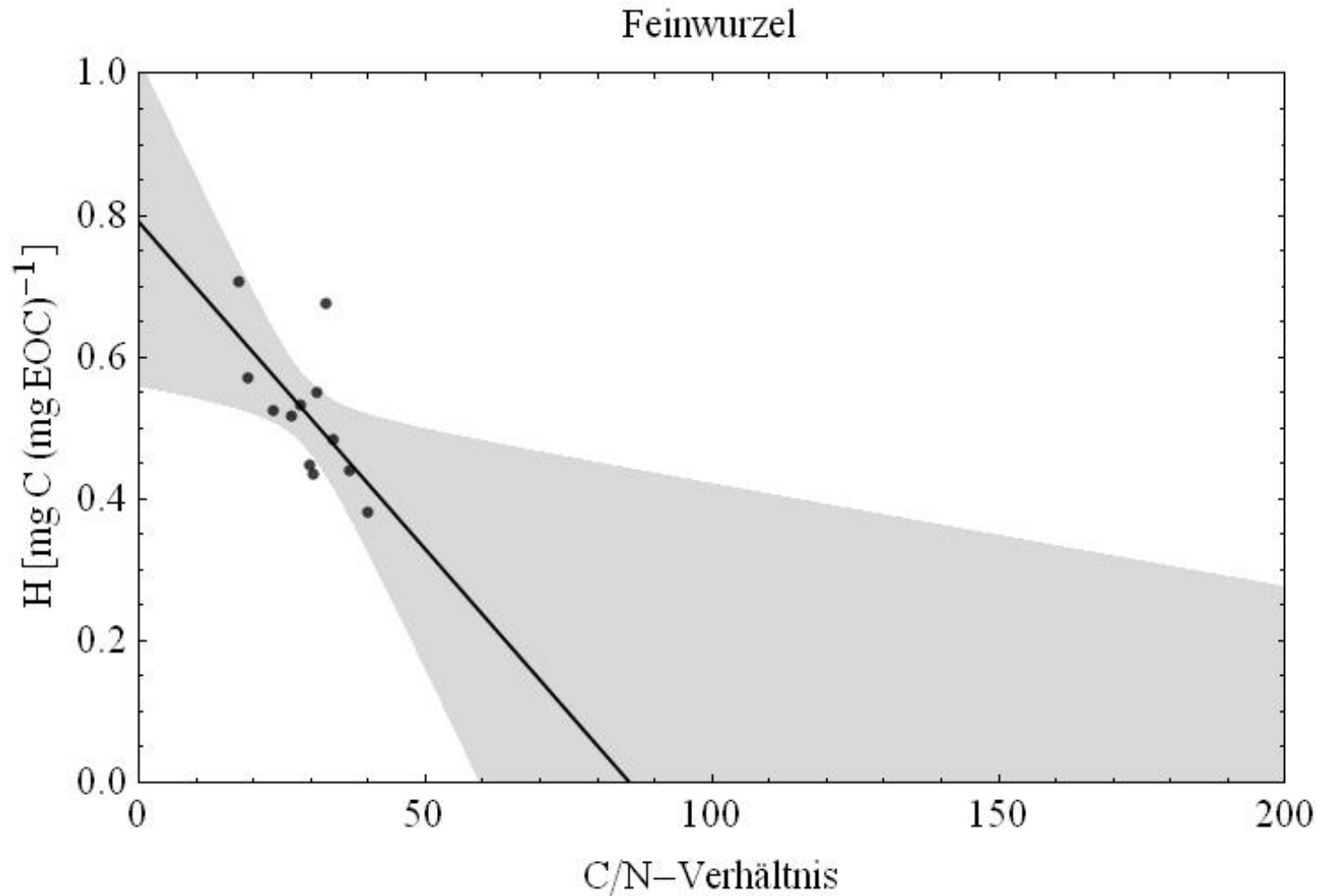
Bestandsabfall, Ernterückstand, Grobwurzel, Feinwurzel



Schätzung der Humuswirkung aus dem C/N-Verhältnis

$$H = 0.79059 - 0.00924 \frac{C}{N}$$

$$r^2 = 0.41, n = 12$$

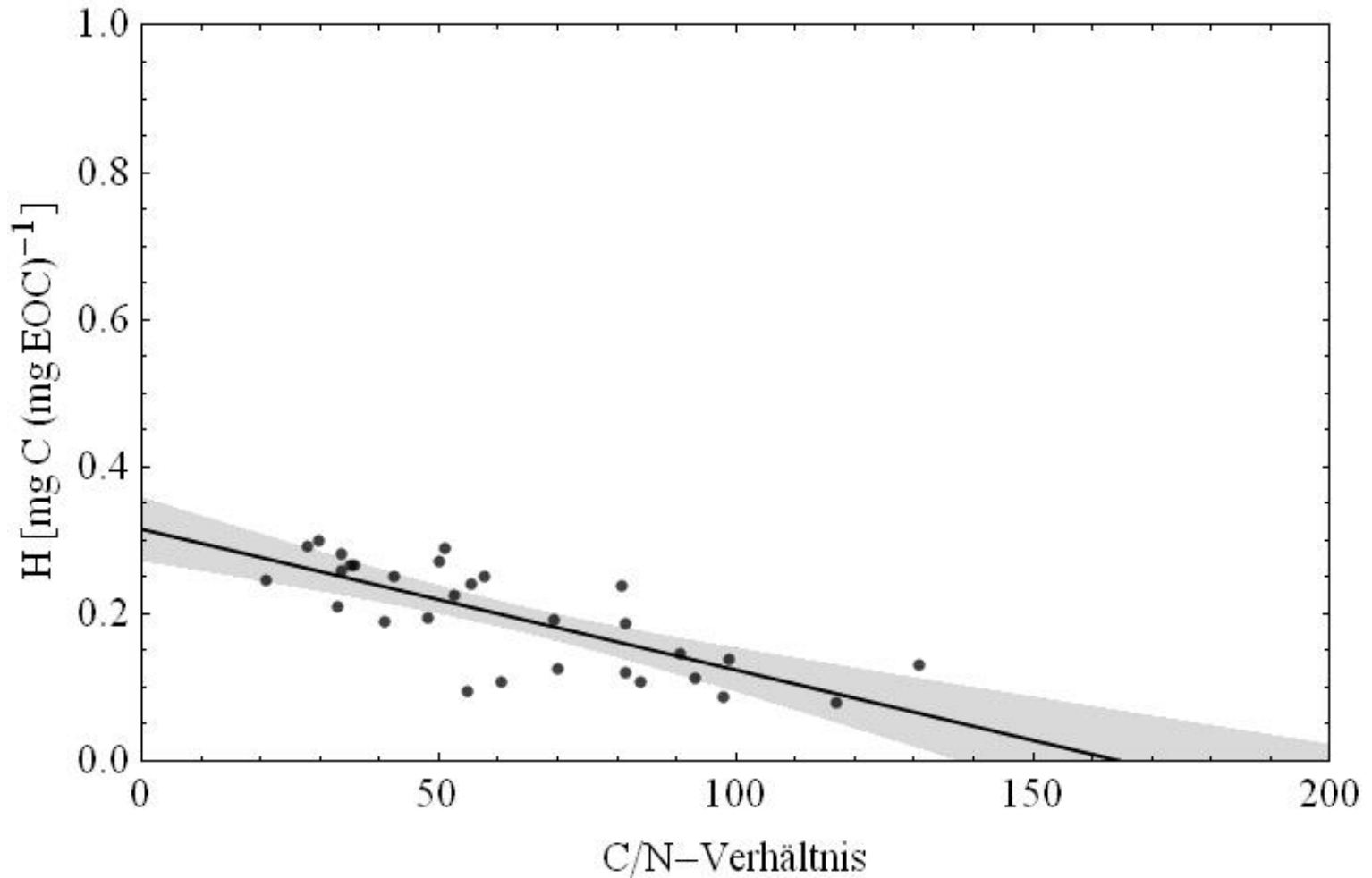


Schätzung der Humuswirkung aus dem C/N-Verhältnis

$$H = 0.31479 - 0.00191 \frac{C}{N}$$

$$r^2 = 0.56, n = 30$$

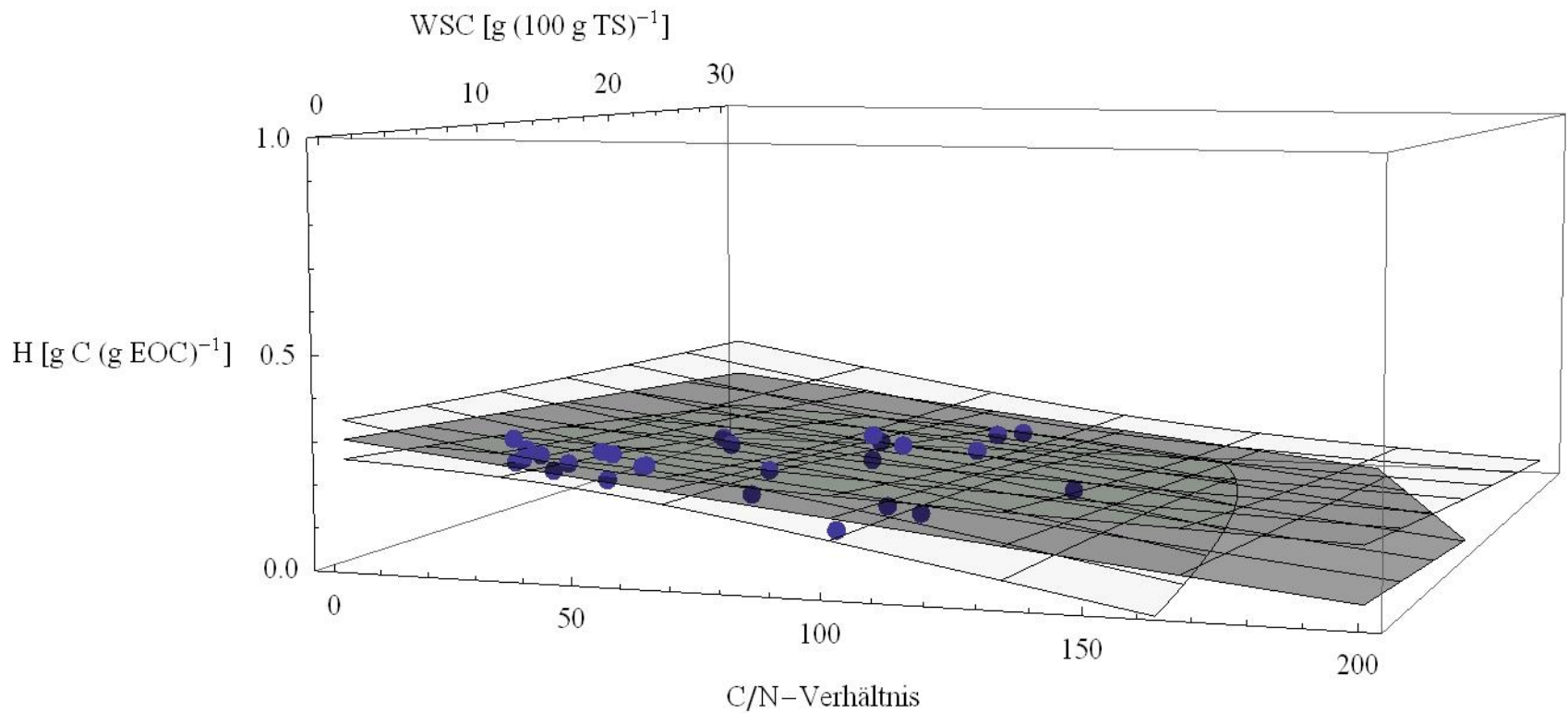
Bestandsabfall, Ernterückstand, Grobwurzel



Schätzung der Humuswirkung aus dem C/N-Verhältnis und WSC

$$H = 0.30278 - 0.00126 \frac{C}{N} - 0.00325 WSC$$

$$r^2 = 0.64, n = 28$$



Welche Beziehung besteht zwischen der Humuswirkung (Mineralisation) und biochemischen Eigenschaften pflanzlicher C-Quellen?

2) Beziehungen

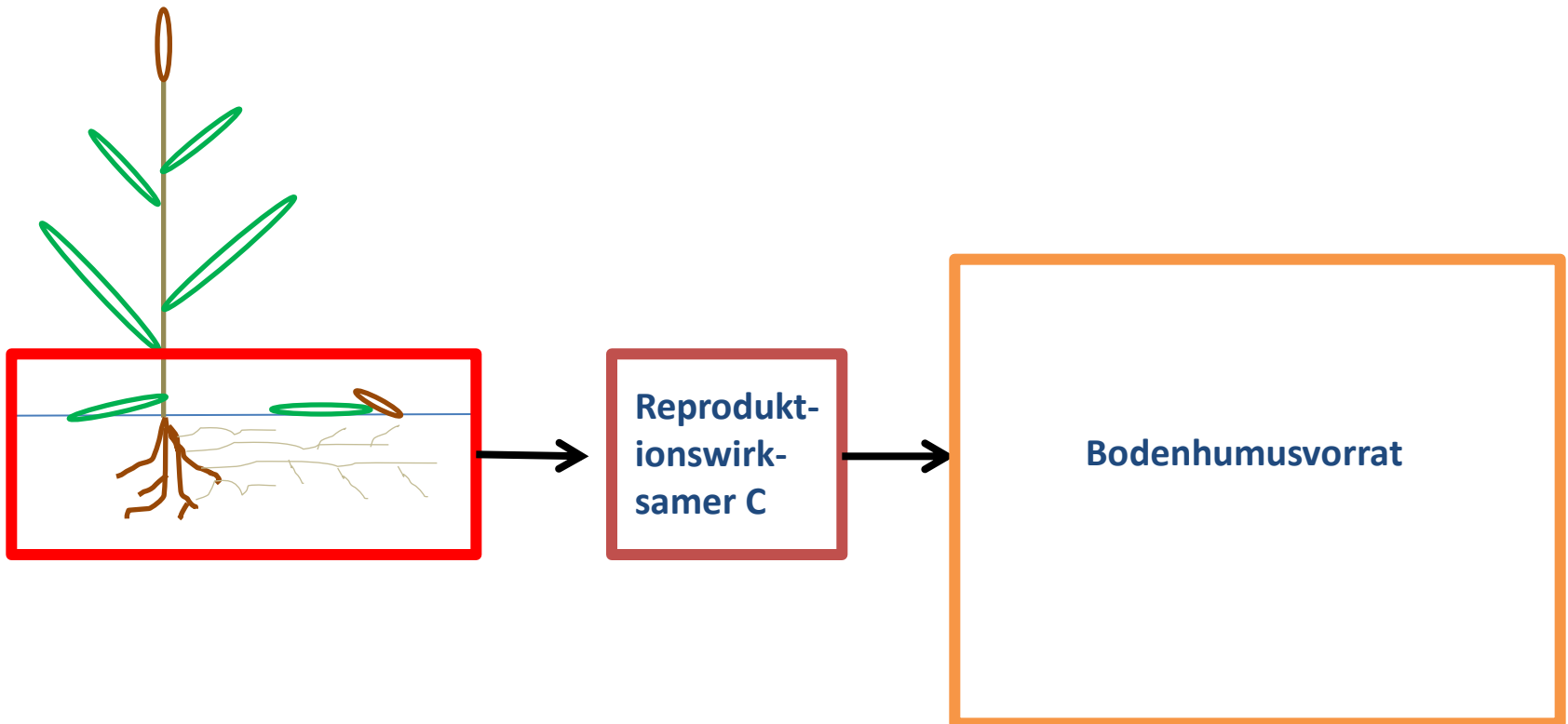
Die Humuswirkung steht in diesem Versuch nur mit dem C/N-Verhältnis und dem Gehalt wasserlöslicher Kohlehydrate in einer signifikanten Beziehung. Sie ist negativ mit beiden korreliert.

3) Schätzgleichungen

Das C/N-Verhältnis und der Gehalt wasserlöslicher Kohlehydrate stellen signifikante Modellparameter linearer Schätzgleichungen dar. Die hohe Humuswirkung der Feinwurzeln gegenüber den anderen pflanzlichen C-Quellen kann nicht durch das C/N-Verhältnis allein erklärt werden.

Eintrag an reproduktionswirksamen organischen C (Humuswirkung)

Pflanzlicher org. C x „Humifizierungskoeffizient“



Einfluss der Fruchtart bzw. des Anbausystems auf den **Eintrag an reproduktionswirksamen organischen C in den Boden** über verschiedene pflanzliche C-Quellen; mittlerer Pflanzen-C-Eintrag über mehrere Jahre, Standorte und Düngungsstufen x Humifizierungskoeffizient (aus 1 Inkubationsversuch) WG Wintergetreide, HF Hauptfrucht, ZF Zweitfrucht, MF Mischfrucht

Fruchtart/ Anbausystem	Pflanzliche C-Quelle				Gesamt
	Bestands- abfall	Ernterück- stand	Grobwurzel	Feinwurzel	
Eintrag an reproduktionswirksamen organischen C [dt C (ha y)⁻¹]					
Erbse	0.11	0.14	0.12	1.4	1.8
WG Vollreife	0.24	0.23	0.66	1.8	2.9
Mais	0.14	0.84	0.40	1.0	2.4
<i>Sorghum bicolor</i>	0.58	0.58	1.04	1.2	3.4
<i>S. bicolor x sudanense</i>	0.45	0.62	0.66	1.9	3.6
MF Mais/ <i>S. bicolor</i>	0.29	0.85	2.33	1.7	5.1
MF Erbse/ Hafer	0.52	0.22	0.41	1.6	2.7
WG Grünschnitt - ZF Mais	0.10	0.42	0.41	3.5	4.4
WG Grün - ZF <i>Sorghum bicolor</i>	0.23	0.44	0.66	4.6	6.0
WG Grün ZF <i>S. b. x sudanense</i>	0.21	0.21	0.35	4.9	6.1

Wie unterscheiden sich Fruchtarten und Anbausysteme im Energiepflanzenanbau in ihrer Humusersatzwirkung?

Der Anteil an reproduktionswirksamen organischen C am pflanzlichen C-Eintrag hängt stark von der pflanzlichen C-Quelle ab. Für Feinwurzeln ist er doppelt bis dreifach so hoch, wie für Bestandsabfälle, Ernte- und Wurzelrückstände. Er ist weiterhin kulturarten- und anbausystemspezifisch: Für Erbse (Leguminosen) ist er doppelt so hoch, wie für Mais und *Sorghum bicolor*, *Sorghum bicolor x sudanense*. In Zweitfruchtstellung erhöhte sich der Anteil an reproduktionswirksamen organischen C.

Der Eintrag von reproduktionswirksamen organischen C ist bei Wintergetreide und Mais deutlich höher als bei Erbse. Er ist kulturarten- und sehr anbausystemspezifisch: *Sorghum bicolor* und *Sorghum bicolor sudanense* tragen mehr reproduktionswirksamen organischen C in den Boden ein als Mais. Durch Mischfruchtanbau und Zweikultursysteme kann er stark erhöht werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe unterstützt (FKZ 22401112).

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zufuhr von exogenen organischen C-Quellen

a) Eintrag von pflanzlichen C-Quellen

