



# **Fruchtfolgewirkungen auf den Bodenkohlenstoff – was ist wichtig?**

**Dennis Grunwald**

**Institut für Zuckerrübenforschung, Abteilung Pflanzenbau**

***grunwald@ifz-goettingen.de***

# Leitfragen des Vortrags

Wie kann eine Fruchtfolge den Bodenkohlenstoff beeinflussen?

- Wirkung ausgewählter Fruchtarten
- Effekt der Gesamtfruchtfolge über Einzelkulturen hinaus

Welche Faktoren beeinflussen die Wirkung der Fruchtfolge auf den Bodenkohlenstoff?

- Limitierungen der möglichen Fruchtfolgewirkung und überlagernde Effekte

Wie kann ich meine Fruchtfolge hinsichtlich der Wirkung auf den Bodenkohlenstoff einschätzen?

- Vermeidung falscher Annahmen: Beispiel Zuckerrübenfruchtfolgen
- Sind Treibhausgasrechner geeignet für Fruchtfolgen?

**→ Antworten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und eigenen Arbeiten**

# Eigener Hintergrund: Systemversuch Fruchtfolge



Standort: Harste bei Göttingen

Boden: Lusivol (10 % Sand, 76 % Schluff, 14 % Ton)

Versuchsbeginn 2005/06

Varianten: neun verschiedene Fruchtfolgen oder Monokulturen mit unterschiedlichen Anteilen Zuckerrübe

Reduzierte Bodenbearbeitung  
Ernterückstände verbleiben im Feld  
Zwischenfrüchte vor Zuckerrübe

Nur Mineraldüngung entsprechend der aktuellen Bedingungen

# Leitfragen des Vortrags

Wie kann eine Fruchtfolge den Bodenkohlenstoff beeinflussen?

→ **Wirkung ausgewählter Fruchtarten**

→ Effekt der Gesamtfruchtfolge über Einzelkulturen hinaus

Welche Faktoren beeinflussen die Wirkung der Fruchtfolge auf den Bodenkohlenstoff?

→ Limitierungen der möglichen Fruchtfolgewirkung und überlagernde Effekte

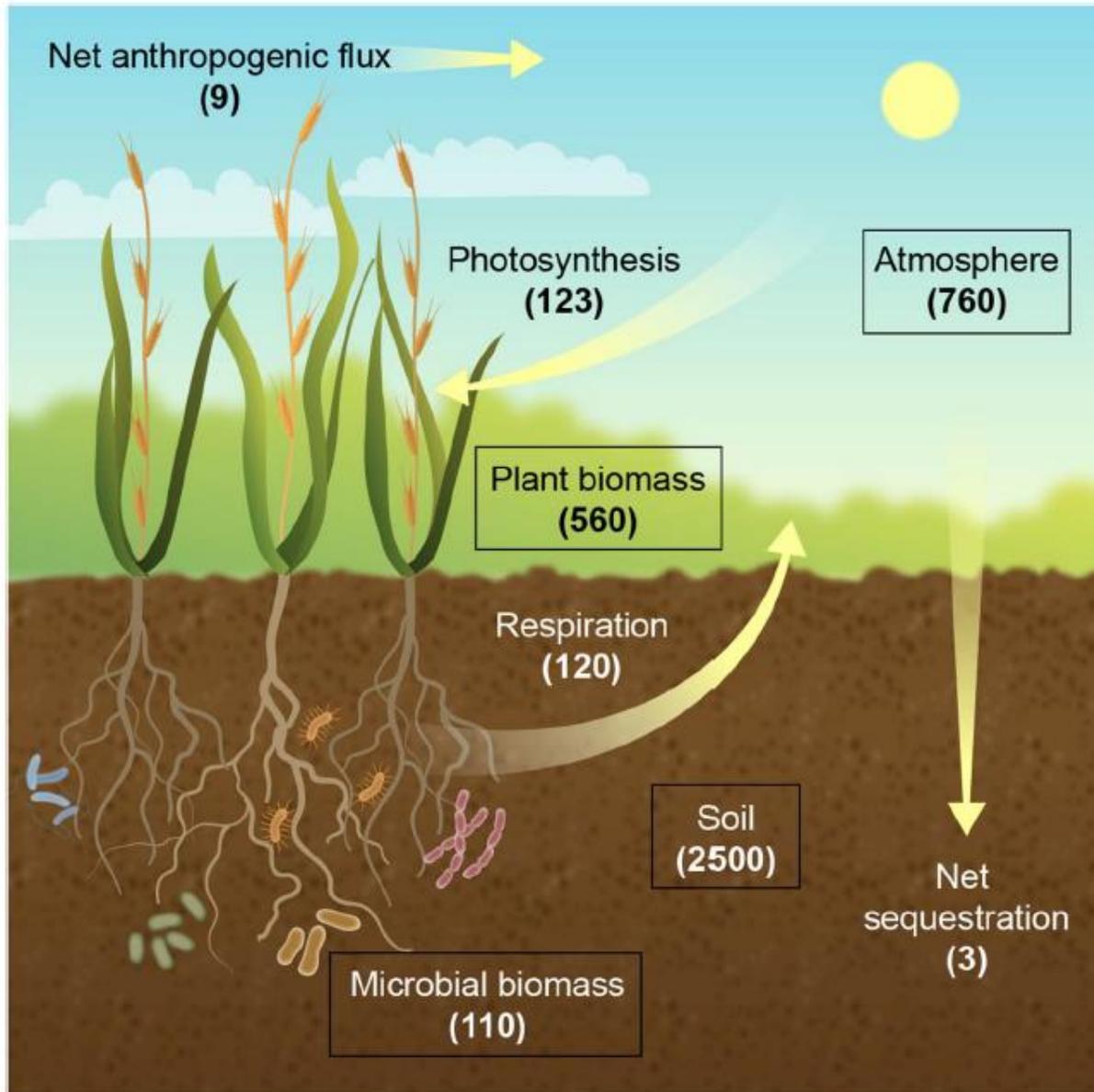
Wie kann ich meine Fruchtfolge hinsichtlich der Wirkung auf den Bodenkohlenstoff einschätzen?

→ Vermeidung falscher Annahmen: Beispiel Zuckerrübenfruchtfolgen

→ Sind Treibhausgasrechner geeignet für Fruchtfolgen?

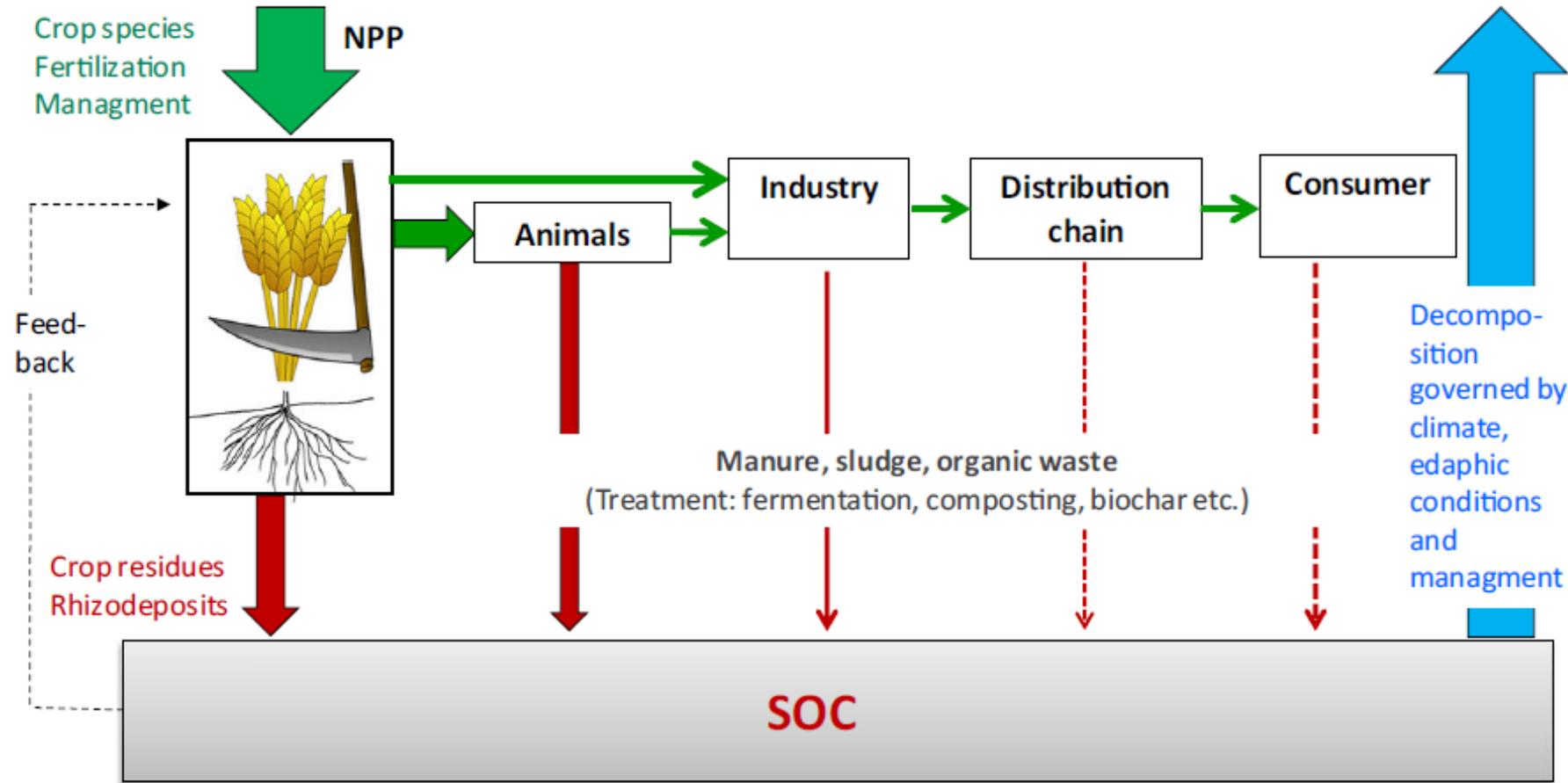
→ **Antworten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und eigenen Arbeiten**

# Globaler Kohlenstoffkreislauf - Boden



Aufnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in den Boden über Photosynthese und die resultierende Pflanzenbiomasse

# Einträge organischer Substanz in den Boden

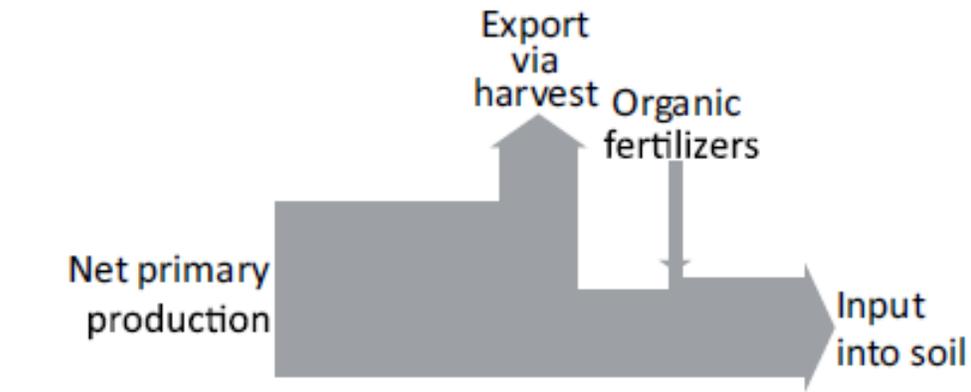


Nutzung eines Teils der produzierten Biomasse, ein Teil verbleibt im Boden → primär Ernterückstände

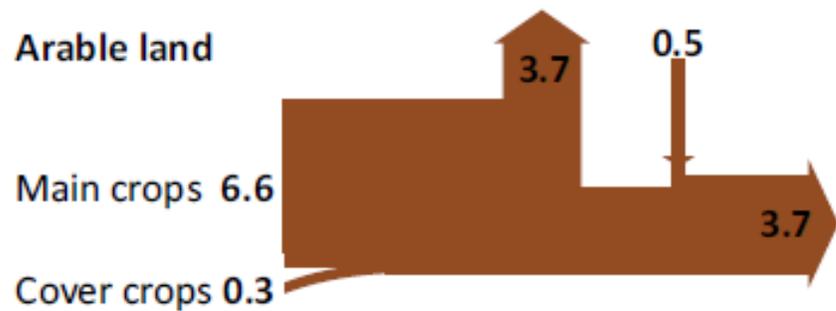
Wiederum ein Teil hiervon wieder freigesetzt

Fig. 1 The major fluxes of carbon in the food chain affecting the soil organic carbon (SOC) balance for agroecosystems are net primary productivity (NPP) and CO<sub>2</sub> release from soil through decomposition. Measures that stimulate NPP, decrease decomposition of SOC, or increase recycling of products will favor carbon sequestration. SOC stocks are in equilibrium when the C inputs are equal to the outputs

# Kohlenstoffimporte und -exporte in Deutschland



Im großen Mittel 3,2 t C ha<sup>-1</sup> Eintrag aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten in Ackerböden in Deutschland, Entzug von 3,7 t C ha<sup>-1</sup>



← C-Eintrag basiert auf Berechnungen auf Grundlage des Ertrags!



Fig. 1 Mean fluxes of organic carbon ( $C_{org}$ , Mg  $C_{org}$  ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) on agricultural soils in Germany calculated for the multiplication of sites and years recorded within the German Agricultural Soil Inventory (arable: n = 19,987; grassland: n = 7417); for grassland soils, harvest includes biomass uptake of animals and fertilizers include excreta of animals

# Oberirdischer Kohlenstoffeintrag verschiedener Kulturen



Jährlicher Kohlenstoffeintrag oberirdischer Ernterückstände [t C ha<sup>-1</sup>] im Systemversuch Fruchtfolge 2006-2018/2019 in ausgewählten Fruchtfolgen. Mittel aus sechs Parzellen; ZR = Zuckerrübe, WW = Winterweizen, SM = Silomais, KM = Körnermais, WR = Winterraps, KE = Körnererbse.

Fruchtfolge	ZR	WW	WR	KE	SM	KM
ZR-WW-WW	2.6	3.6	---	---	---	---
ZR-WW-SM (KM bis 2009)	2.3	3.5	---	---	0.6	4.1
ZR-WW-WR-WW-WW-KE	2.6	3.7	3.9	2.6	---	---

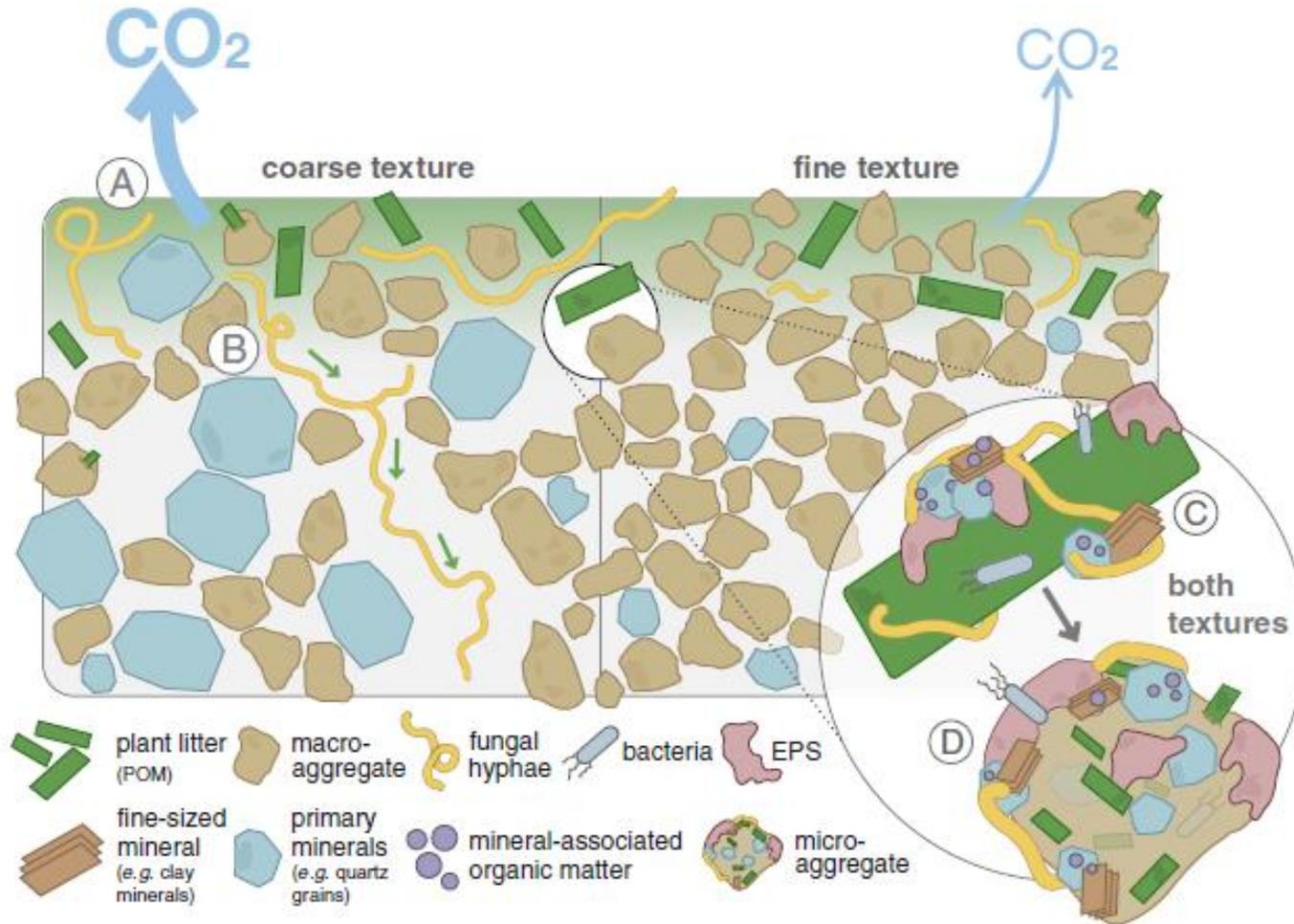
*verändert nach Grunwald et al. 2021*

Große Unterschiede zwischen den Kulturen, hoher Eintrag nach Weizen, Raps, (Körner-)Mais, niedriger nach Zuckerrübe, Körnererbse und sehr wenig nach Silomais

Hier nicht berücksichtigt: Zwischenfrüchte → in unserem Fall können Senf (vor Zuckerrübe) oder Phacelia (vor Erbse) jährlich 1-2 t C ha<sup>-1</sup> beitragen

→ Führt bei Gesamtbetrachtung eines Jahres zu ähnlichen oder höheren Einträgen für Senf + Zuckerrübe oder Phacelia + Erbse im Vergleich zu Weizen, Raps, oder Körnermais

# Kohlenstoffspeicherung im Boden

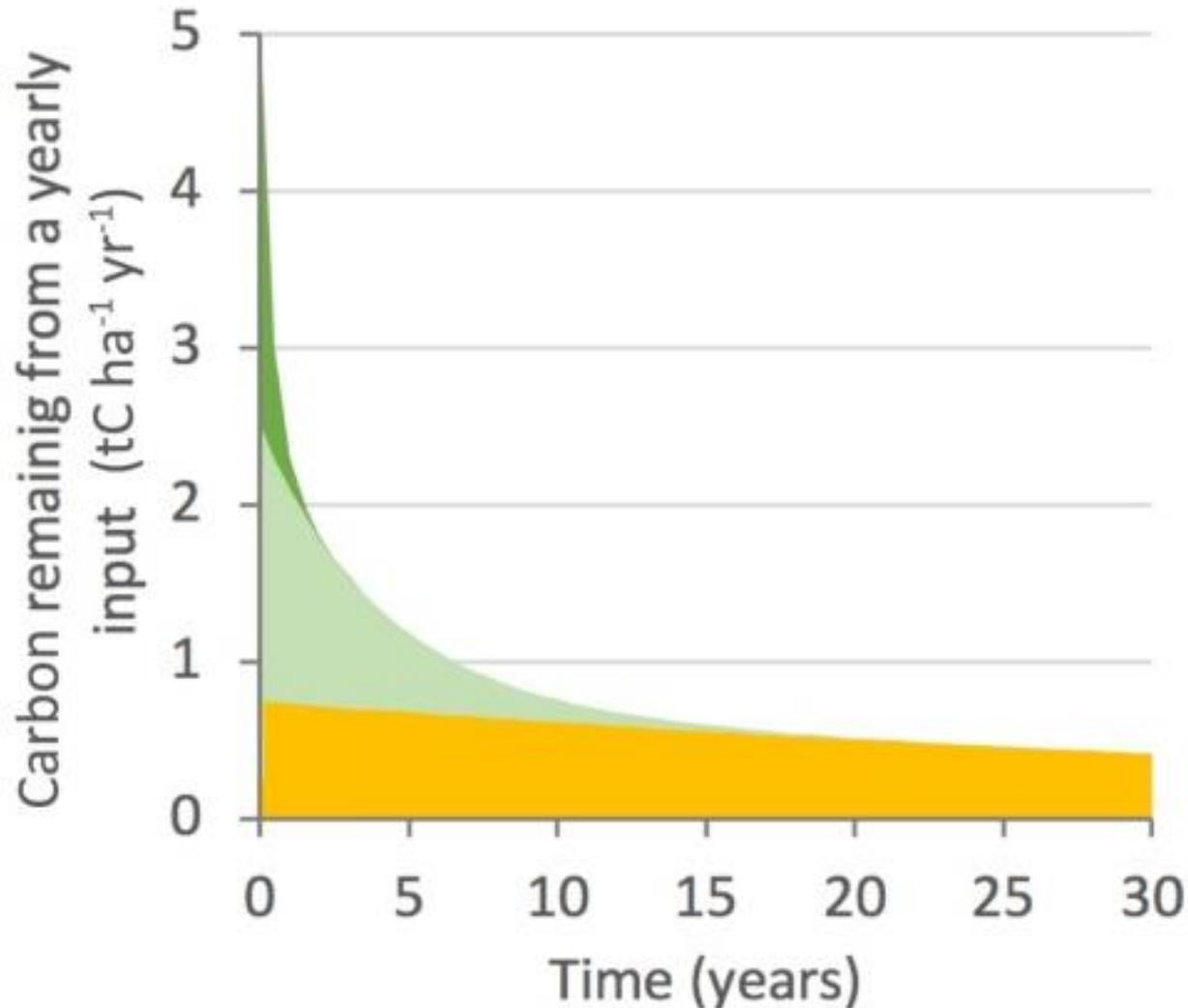


Längerfristige C-Speicherung durch mikrobielle Zersetzung der eingebrachten organischen Substanz und Einbau in Bodenaggregate → Verbindung mit der Mineralphase

Dabei Verlust von großen Teilen des eingebrachten Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub>

**Fig. 8 Aggregate and mineral-associated organic matter formation in soils of different textures driven by interactions between litter, microorganisms, and soil matrix.** Fresh litter surfaces serve as hotspots of microbial activity driving the formation of organo-mineral associations in concert with comprising a nucleus for aggregate formation. **A** Coarse soil texture fosters higher mineralization of native and litter-derived organic matter resulting in higher CO<sub>2</sub> emissions compared to the fine-textured soil. **B** Fungal hyphae in coarse-textured soils promote the translocation of litter-derived C away from the litter source. **C** Regardless of texture, gluing of fine-sized minerals, driven by microbial products (EPS) on the fresh litter surface leads to **(D)** the formation of soil aggregates directly at the plant-soil interface.

# Einträge organischer Substanz in den Boden



Insgesamt längerfristige C-Speicherung nur von etwa 10 % der oberirdisch eingebrachten organischen Substanz

→ 1 t C ha<sup>-1</sup> Unterschied im Eintrag daher längerfristig nur 0,1 t C ha<sup>-1</sup> Unterschied im Boden!

Zur Einordnung: mittlere C-Vorräte in deutschen Ackerböden in den obersten 100 cm sind etwa 100 t C ha<sup>-1</sup>

# Bedeutung der unterirdischen Biomasse

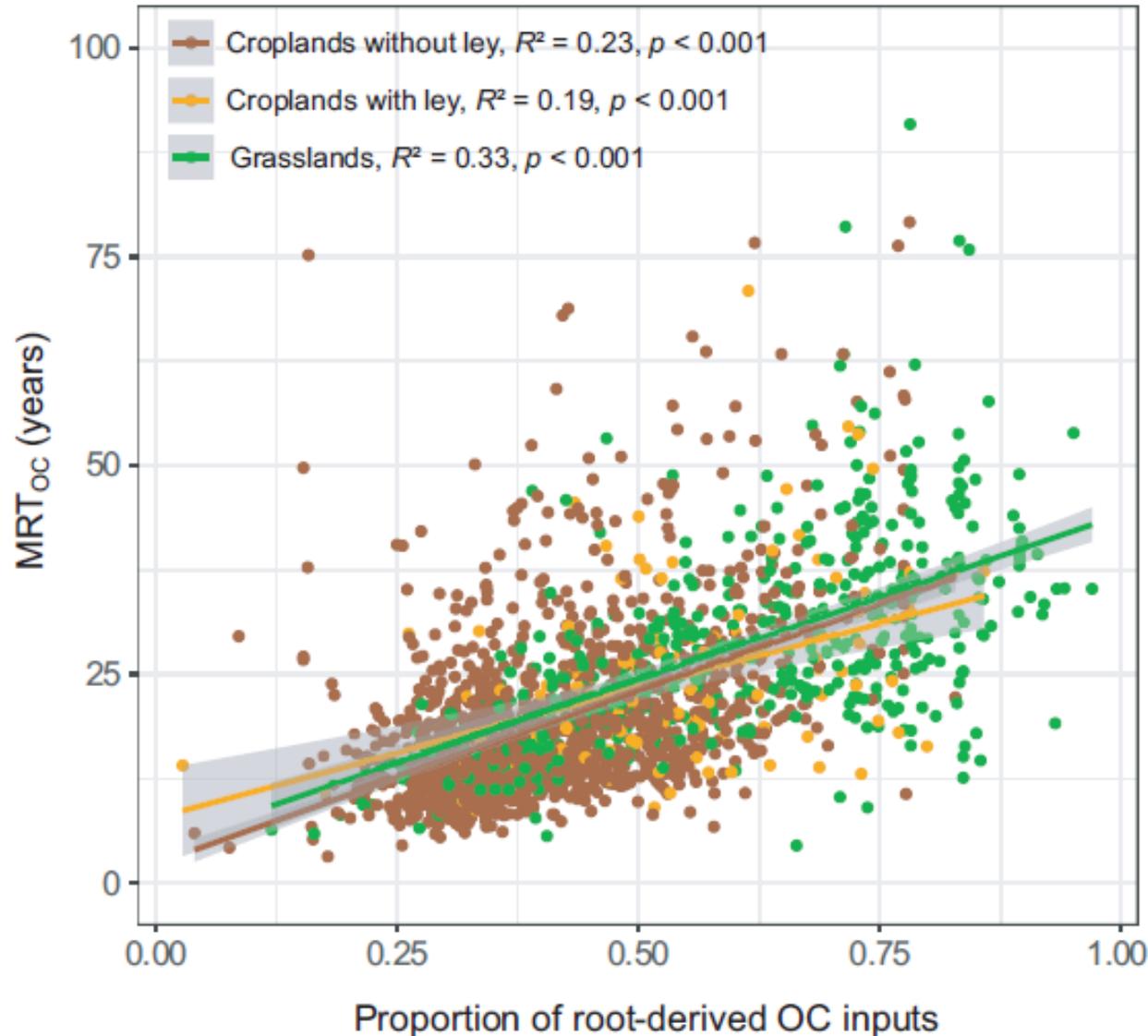


FIGURE 4 Mean residence time of organic carbon entering the soil ( $MRT_{OC}$ ) in topsoils (0–30 cm) of croplands (with and without ley) and grasslands as a function of the proportion of root-derived C input, with regression lines and their 95% confidence intervals

Wurzelbiomasse hat eine höhere Verweildauer im Boden und trägt damit überproportional zur längerfristigen C-Speicherung bei

# Bedeutung der unterirdischen Biomasse

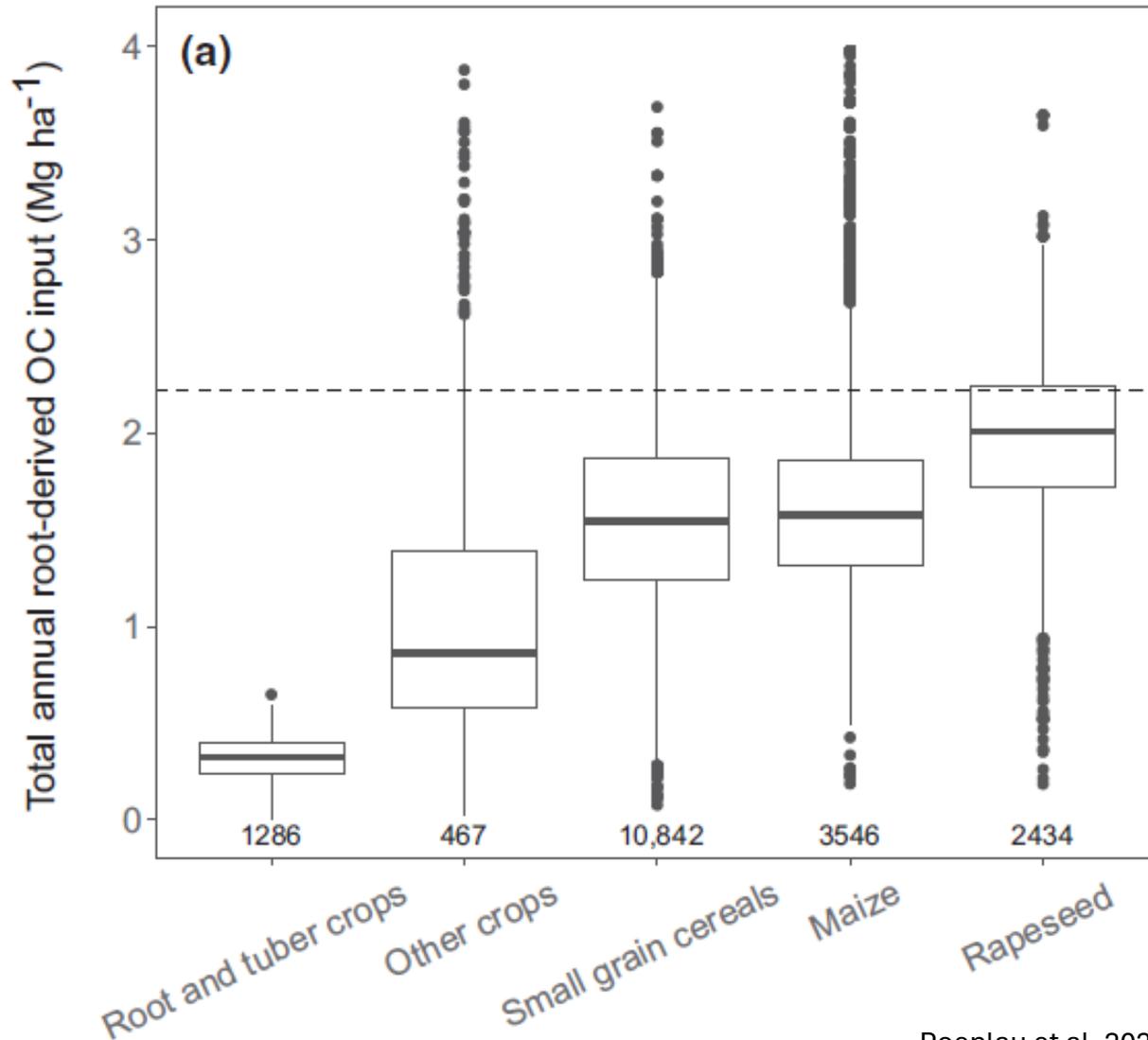
**Table 1** Proportion of aboveground and belowground biomass contributing to SOM formation in agricultural field studies performed in situ using primarily isotopic approaches

Vegetation type or treatment	Belowground carbon inputs retained in SOM (%)	Aboveground carbon inputs retained in SOM (%)	Ratio	Reference
Conventional agriculture	35%	4.8%	7.4	Kong & Six 2010
Low-input agriculture	65%	4.9%	13.2	Kong & Six 2010
Organic agriculture	91%	3.6%	25.6	Kong & Six 2010
Mixed C <sub>3</sub> and C <sub>4</sub> crops	36%	4.0%	9.0	Ghafoor et al. 2017
Mixed C <sub>3</sub> and C <sub>4</sub> crops	18%	10%	1.8	Ghafoor et al. 2017
Maize	61%	5.0%	12.2	Mazzilli et al. 2015
Soybean	80%	3.0%	26.7	Mazzilli et al. 2015
Rye cover crop, 5 months	26%	5.2%	5.0	Austin et al. 2017
Rye cover crop, 12 months	27%	3.5%	7.7	Austin et al. 2017
Rye cover crop	21%	12%	1.7	Bolinder et al. 1999
Maize	38%	11%	3.5	Balesdent & Balabane 1996
Maize	73%	14%	5.1	Clapp et al. 2000
Maize	58%	16%	3.6	Clapp et al. 2000
Maize, fertilized	49%	13%	3.7	Puget & Drinkwater 2001
Vetch	34%	8%	4.3	Barber 1979
Maize	39%	17%	2.3	Kätterer et al. 2011
<b>Average; median</b>	45%, 39%	8.3%, 6.6%	8.1, 5.0	

Wurzelbiomasse hat eine höhere Verweildauer im Boden und trägt damit überproportional zur längerfristigen C-Speicherung bei

Jackson et al. 2017

# Wurzelbiomasse verschiedener Kulturen



Große Unterschiede zwischen verschiedenen Kulturen

Oft aber nicht gemessen, da sehr großer Aufwand → stattdessen Berechnung anhand von Ertrag oder oberirdischer Biomasse

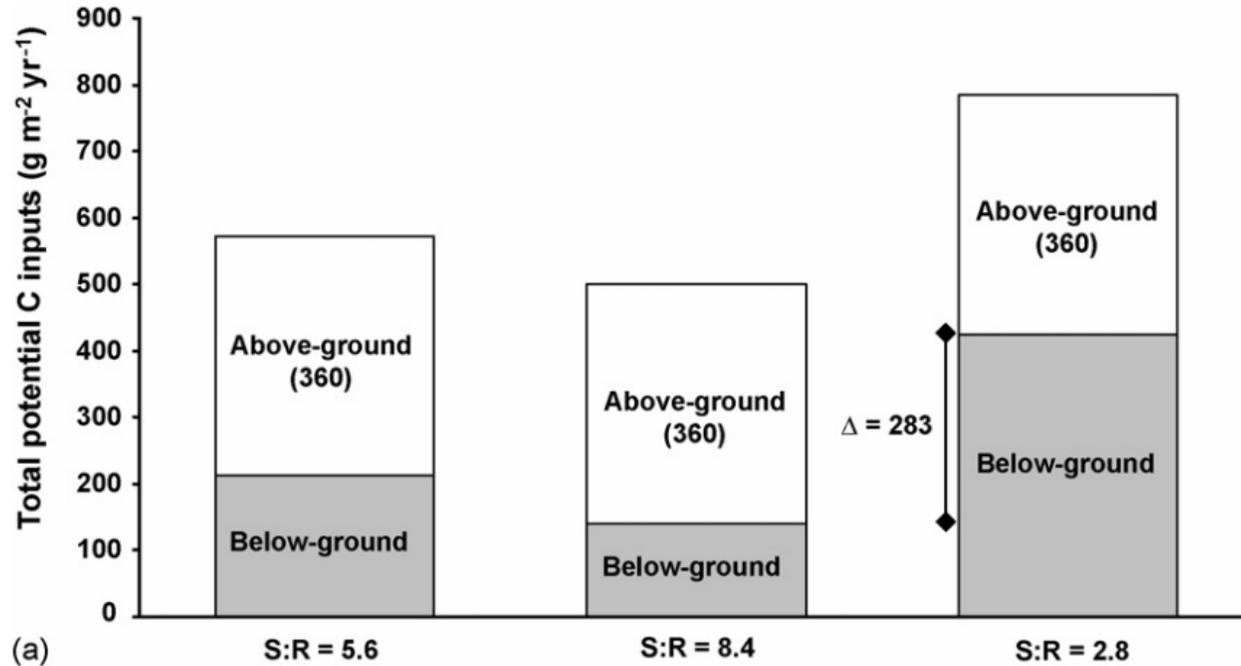
← Diese Daten stammen ebenfalls aus Berechnungen!

Eigene Arbeiten in Vorbereitung

→ in unserem Versuch: Weizen und Raps bringen etwa doppelt so viel Wurzel-C wie Zuckerrübe oder Erbse bis 1 m Bodentiefe ein

→ Zwischenfruchtwurzeln können diesen Unterschied nahezu ausgleichen!

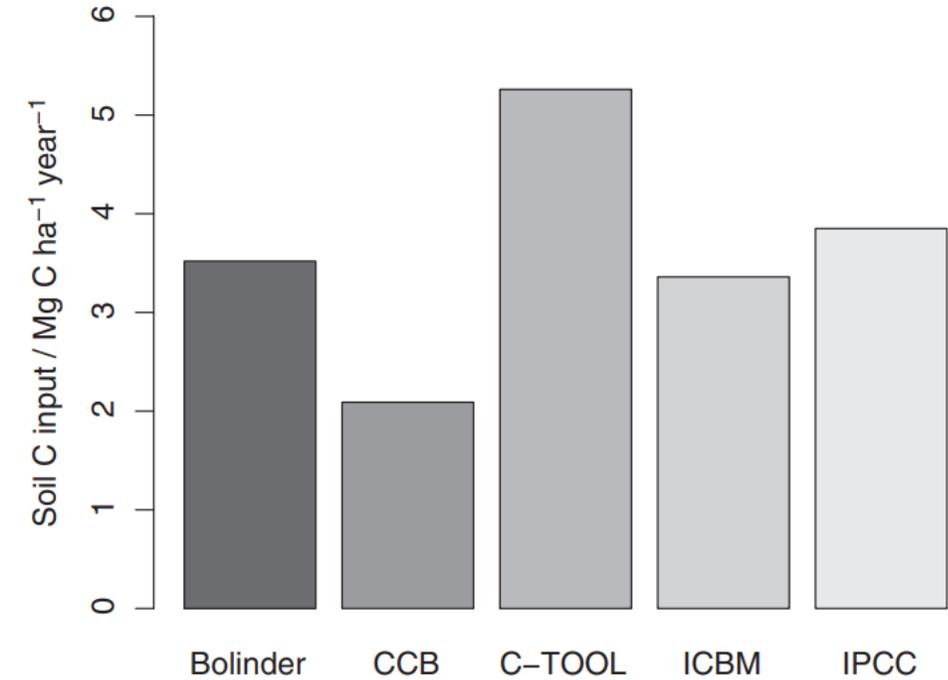
# Unsicherheiten beim Verständnis der Wirkung der unterirdischen Biomasse



Bolinder et al. 2007

Beispielrechnung für die Auswirkungen der Unsicherheit der berechneten Wurzelbiomasse für Mais

Unsicherheiten und Schwankungsbreiten beim Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse führen zu großen Schwankungen der berechneten (möglicherweise) eingebrachten Wurzelbiomasse  
 → Gemessene Wurzelbiomassen sind von hoher Bedeutung für unser Verständnis der Mechanismen



**Figure 1** Mean annual soil carbon inputs to 0–1-m depth from plant residues estimated with five different allometric equations (Bolinder, CCB, C-TOOL, ICBM and IPCC) based on measured yields from a Swiss agricultural field trial for the period 1977–2004.

Keel et al. 2017

# Leitfragen des Vortrags

Wie kann eine Fruchtfolge den Bodenkohlenstoff beeinflussen?

→ Wirkung ausgewählter Fruchtarten

→ **Effekt der Gesamtfruchtfolge über Einzelkulturen hinaus**

Welche Faktoren beeinflussen die Wirkung der Fruchtfolge auf den Bodenkohlenstoff?

→ Limitierungen der möglichen Fruchtfolgewirkung und überlagernde Effekte

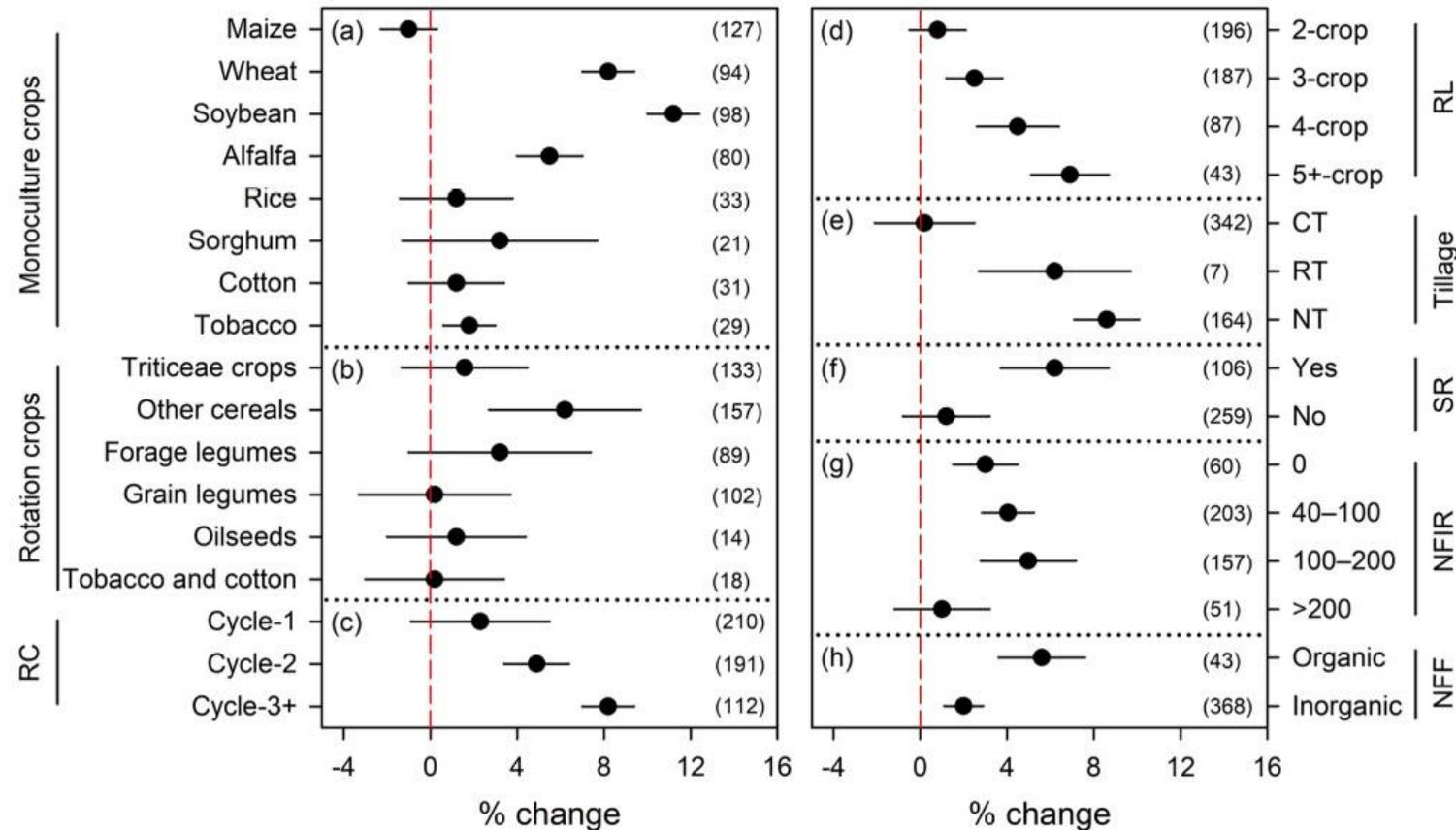
Wie kann ich meine Fruchtfolge hinsichtlich der Wirkung auf den Bodenkohlenstoff einschätzen?

→ Vermeidung falscher Annahmen: Beispiel Zuckerrübenfruchtfolgen

→ Sind Treibhausgasrechner geeignet für Fruchtfolgen?

→ **Antworten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und eigenen Arbeiten**

# Meta-Analyse zu Fruchtfolgeeffekten auf Bodenkohlenstoff



**Globale Metaanalyse, 167 Studien**  
*Vergleich: Fruchtfolge mit Monokultur (= Null-Linie)*

Diversität in der Fruchtfolge sorgt für eine höhere Stabilisierung des eingetragenen Kohlenstoffs:

- wenn nicht gepflügt wird (= Tillage)

- wenn die Ernterückstände auf dem Feld verbleiben (=SR)

- über mehrere Durchgänge der Fruchtfolge hinweg (=RC)

- umso mehr, je länger die Fruchtfolge ist (=RL)

**Fig. 4.** Percent changes in SOC content under different agronomic practices. The independent sample sizes of SOC content are shown in parentheses. Error bars are the 95% confidence intervals (CIs). The 95% CI that does not go across the zero line denotes a significant difference between crop rotation (CR) and continuous crop monoculture (CM) ( $p < 0.05$ ). The abbreviations are rotation cycles (RC), rotation length (RL), tillage practices (Tillage), conventional tillage (CT), reduced tillage (RT), no-till (NT), straw retention practices (SR), nitrogen fertilizer input rate (NFIR), and nitrogen fertilizer form (NFF). Detailed descriptions of categorical variables see [Table 1](#).

# Meta-Analyse zu Fruchtfolgeeffekten auf Bodenkohlenstoff

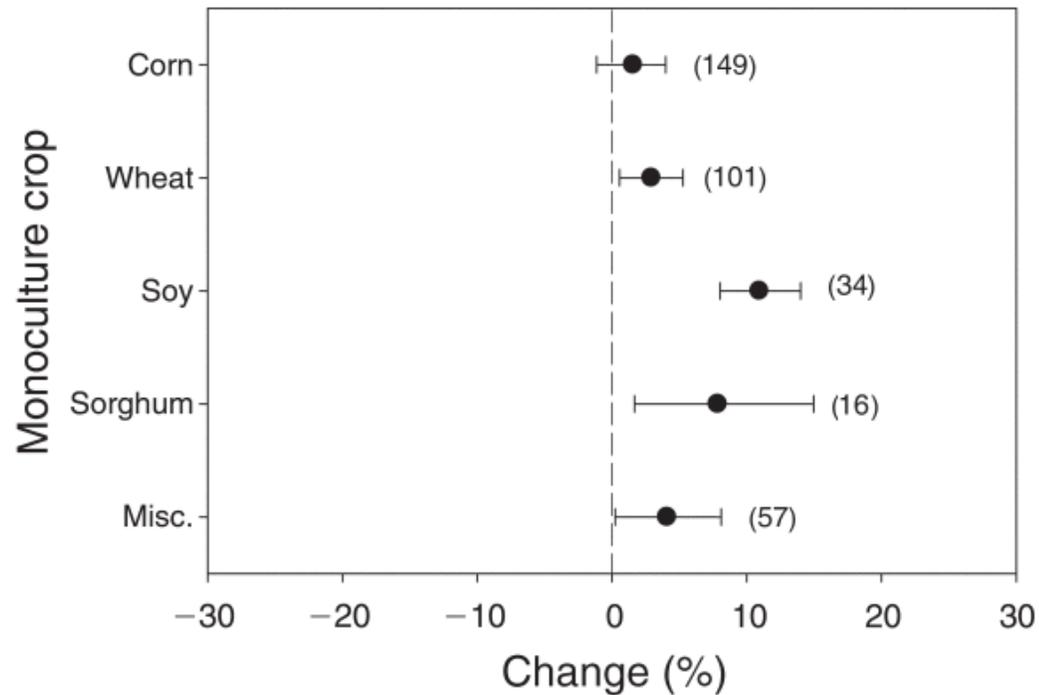


FIG. 4. Change in soil total C among different monoculture treatments. The number of observations for each crop is shown in parentheses. Error bars are 95% bias-corrected confidence intervals.

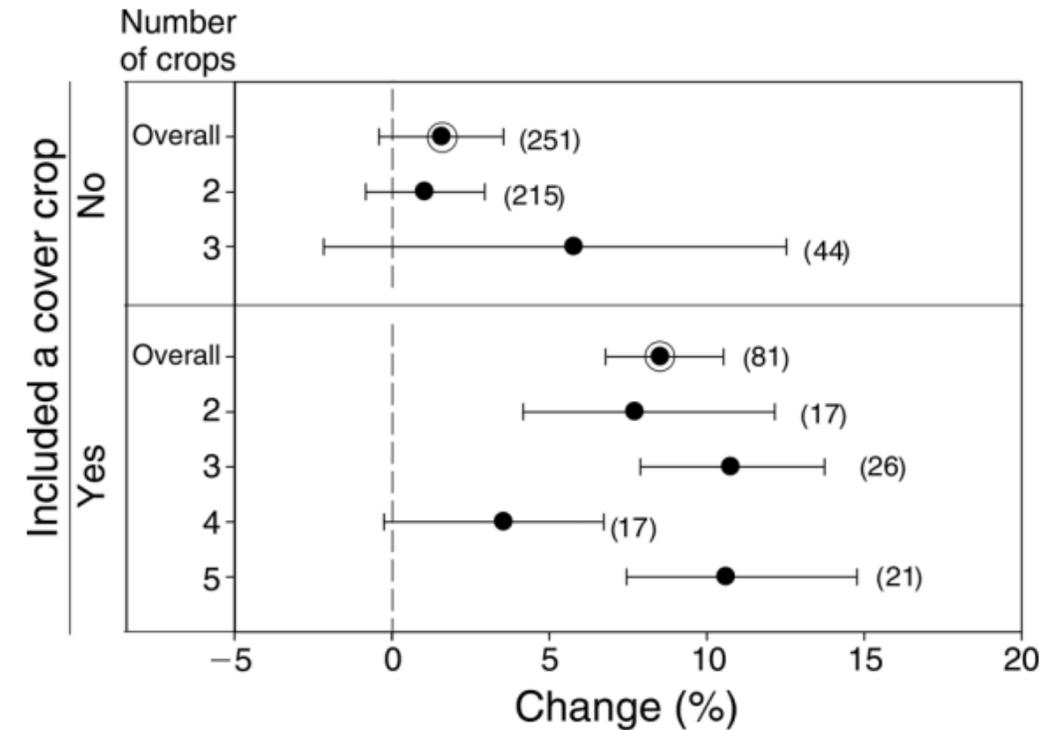
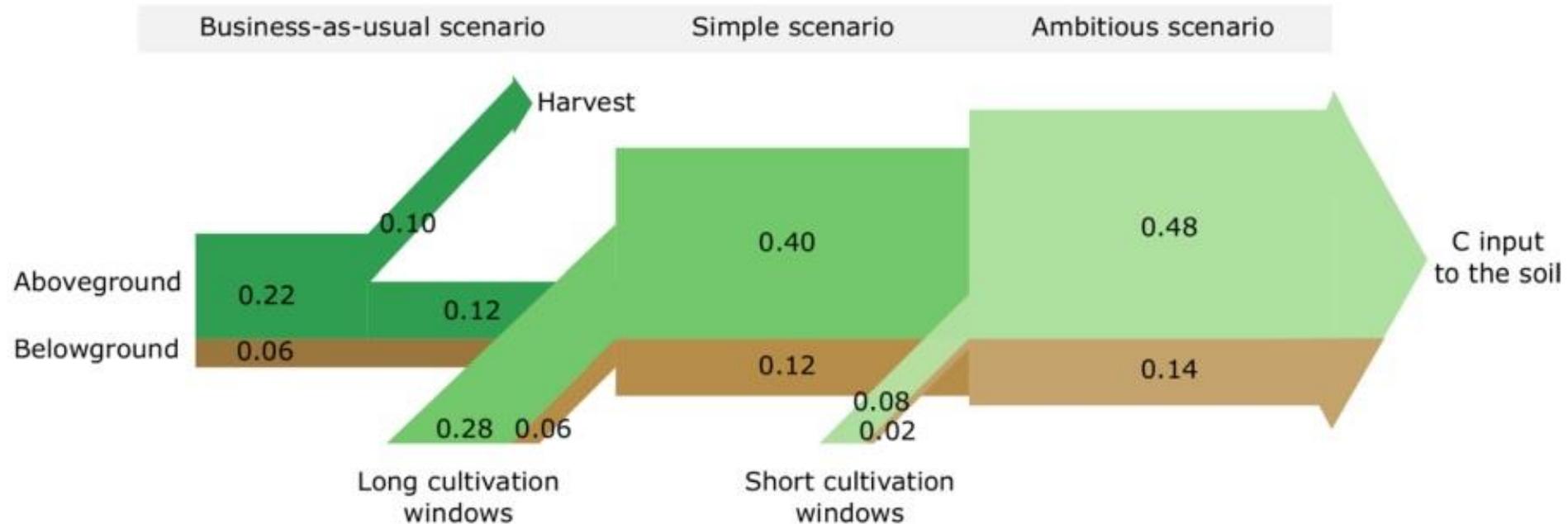


FIG. 5. Mean changes in soil total C by whether one or more of the crops included in the rotation was a cover crop and number of crops in rotation. The number of observations for each crop is shown in parentheses. “Overall” (outlined circles) is the mean change when the different numbers of crops are pooled. Error bars are 95% bias-corrected confidence intervals.

Diversität in der Fruchtfolge sorgt für eine höhere Stabilisierung des eingetragenen Kohlenstoffs, insbesondere sobald Zwischenfrüchte angebaut werden

# Potential des Zwischenfruchtanbaus



**Fig. 4** Cover crop-induced C input [Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>] to German cropland soils in each scenario as average of the simulated sites (n=1,267). Average annual cover crop frequency

increases from 10% (business-as-usual) to 23% (simple) and 30% (ambitious) of total cropland area, thus increasing the C input from cover crops in each scenario

Seitz et al. 2022

Zwischenfrüchte können bei Ausnutzung der potentiellen Anbaufenster einen signifikanten Beitrag zum C-Eintrag in den Boden leisten

# Leitfragen des Vortrags

Wie kann eine Fruchtfolge den Bodenkohlenstoff beeinflussen?

- Wirkung ausgewählter Fruchtarten
- Effekt der Gesamtfruchtfolge über Einzelkulturen hinaus

Welche Faktoren beeinflussen die Wirkung der Fruchtfolge auf den Bodenkohlenstoff?

- **Limitierungen der möglichen Fruchtfolgewirkung und überlagernde Effekte**

Wie kann ich meine Fruchtfolge hinsichtlich der Wirkung auf den Bodenkohlenstoff einschätzen?

- Vermeidung falscher Annahmen: Beispiel Zuckerrübenfruchtfolgen
- Sind Treibhausgasrechner geeignet für Fruchtfolgen?

- **Antworten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und eigenen Arbeiten**

# Metaanalyse zu anderen Einflussfaktoren auf C-Entwicklung

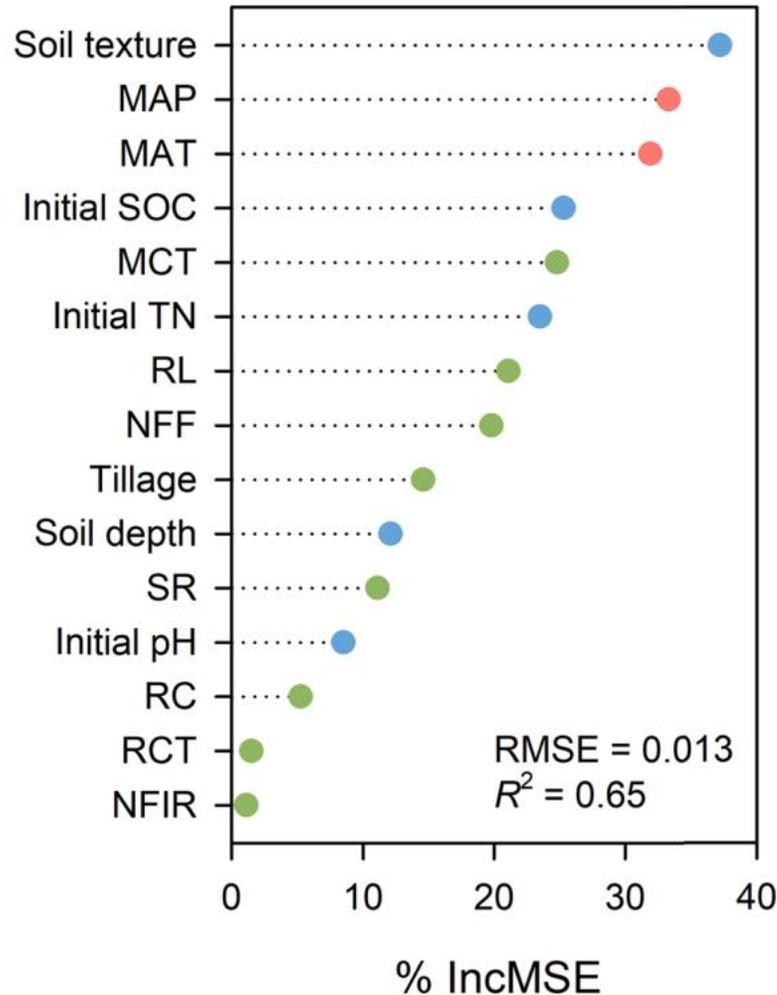


Fig. 5. The effects of climatic factors, soil properties, agronomic practices, and their interactions on the variation in SOC content responses to crop rotation (CR) as determined using the variable partitioning analysis (VPA). Climatic factors included mean annual precipitation. Soil properties consisted of clay content, initial SOC content, initial pH, and bulk density. Agronomic practices included monoculture crop types, rotation crop types, rotation cycles, rotation length, tillage practices, straw retention practices, nitrogen fertilizer input rate, and nitrogen fertilizer form.

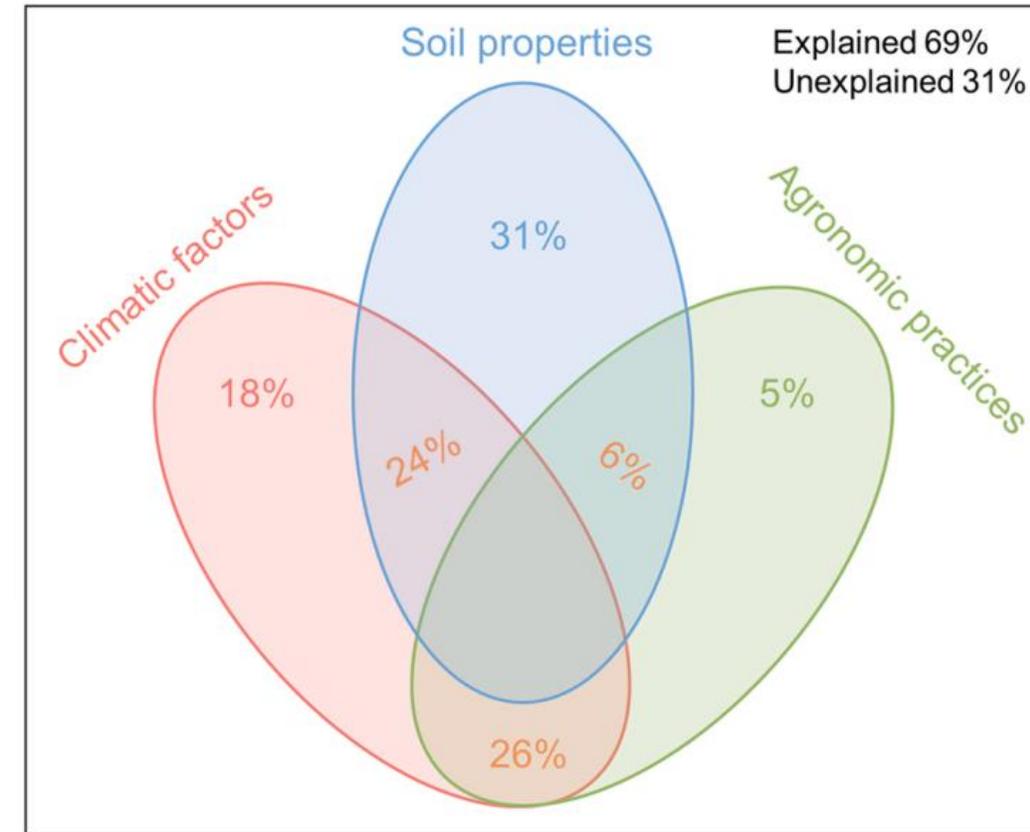


Fig. 6. Relative importance of independent variables for percent changes in SOC content as assessed by the random forest (RF) model. Greater values of the percent increase in the mean square error of prediction (% IncMSE) denote more important. The red, blue, and green solid circles represent climatic factors, soil properties, and agronomic practices, respectively. The independent variables encompass mean annual temperature (MAT) and precipitation (MAP), initial SOC, pH, and total nitrogen (TN), soil texture, soil depth, monoculture crop types (MCT), rotation crop types (RCT), rotation cycles (RC), rotation length (RL), tillage practices (Tillage), straw retention practices (SR), nitrogen fertilizer input rate (NFIR), and nitrogen fertilizer form.

Liu et al. 2022

Andere Faktoren als die Fruchtfolgegestaltung oder pflanzenbauliche Aspekte insgesamt überwiegen, insbesondere Textur und klimatische Faktoren

# Limitierungen: Ausgangsbedingungen und Sequestrierungsrate

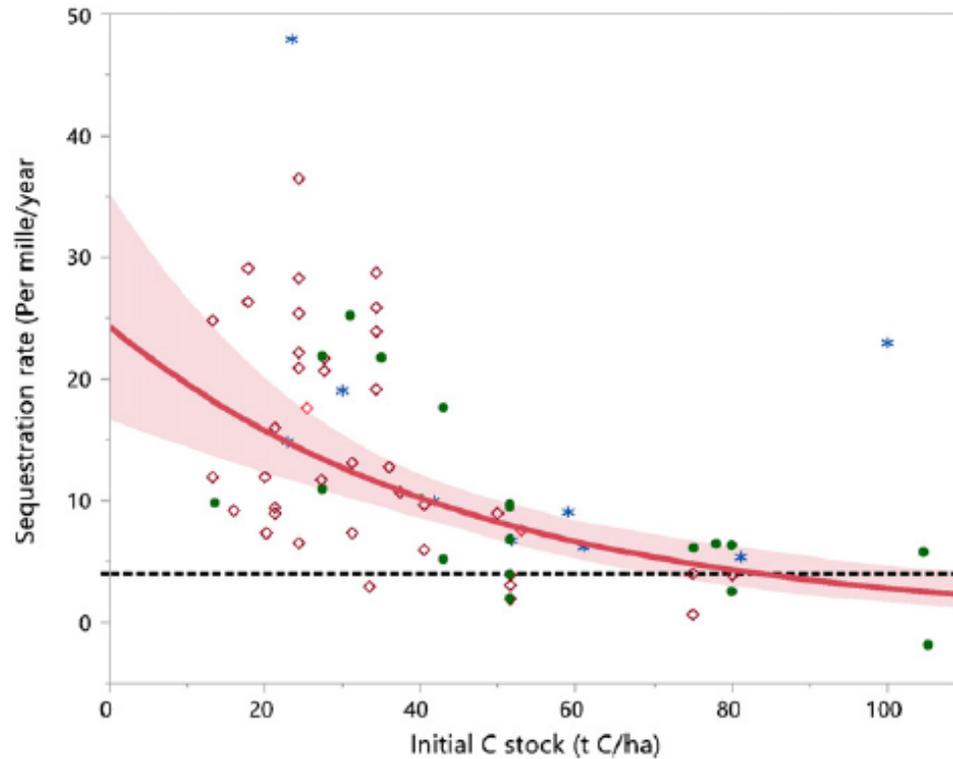


Fig. 14. Initial soil C stock and reported per mille sequestration based on studies in different regions reported in Table 1. The red curve is a regression model fitted to the data, the shaded areas are the 95% confidence interval of the model, the dotted line is the required 4 per mille, red diamonds refer to cropping land, green dots are grassland, and blue stars are forestry/plantation.

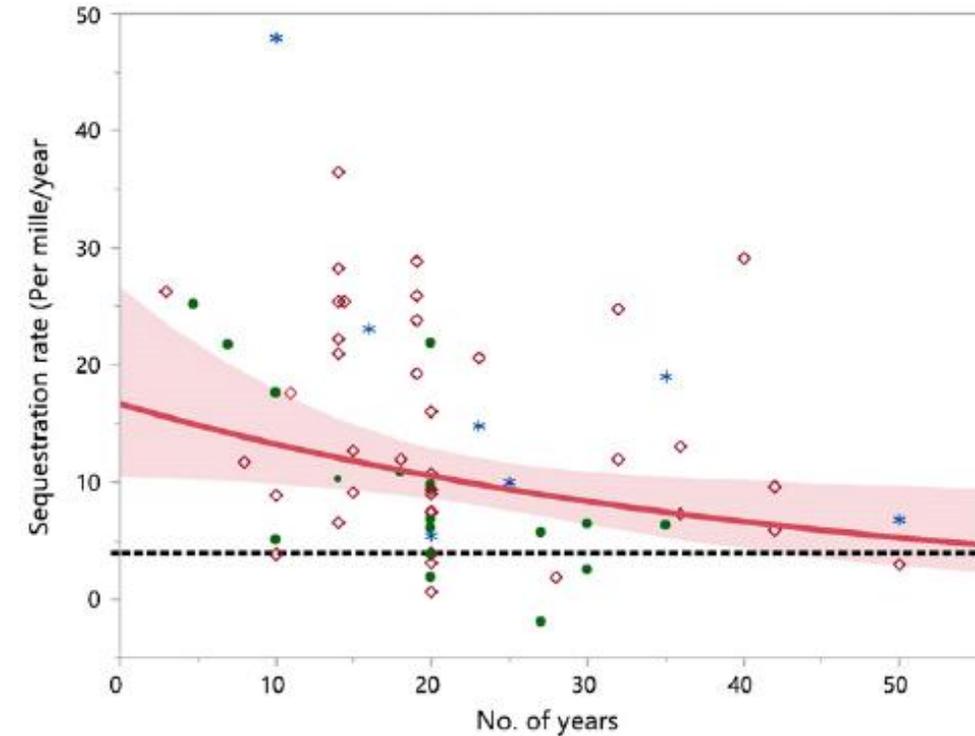
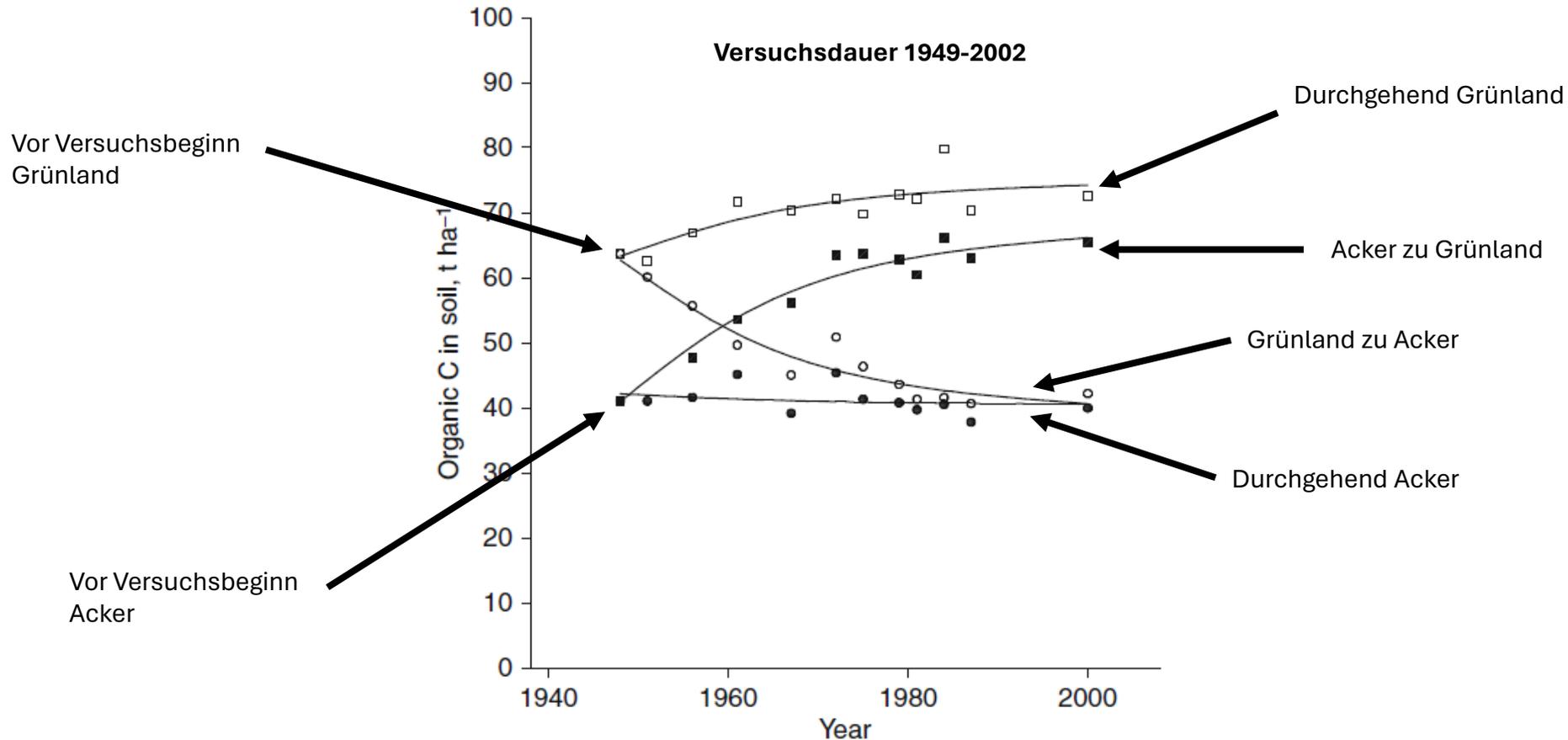


Fig. 15. Reported per mille sequestration rate as a function of number of years since management practices been implemented. Data are based on studies in different regions reported in Table 1. Red curve is a regression model fitted to the data with 95% confidence interval presented as shaded areas. Red diamonds refer to cropping land, green dots are grassland, and blue stars are forestry/plantation.

Schwächerer Effekt einer (positiven) Umstellung der Bewirtschaftung bei ohnehin schon hohen C-Gehalten, dazu abnehmender Effekt mit der Zeit

# Limitierungen: Reversibilität und Fließgleichgewicht



**Figure 6** Changes in organic carbon (t ha<sup>-1</sup>) in the top 23 cm of a silty clay loam soil, Ley-arable experiment, Rothamsted, 1949–2002. Highfield old grassland soil: kept in grass □; ploughed and kept in arable cropping ○. Fosters old arable soil: kept in arable ●; sown to grass and kept in grass ◻. (Adapted from Johnston, 1973 with recent data added.)

# Limitierungen: Prognostizierter C-Verlust durch Klimawandel

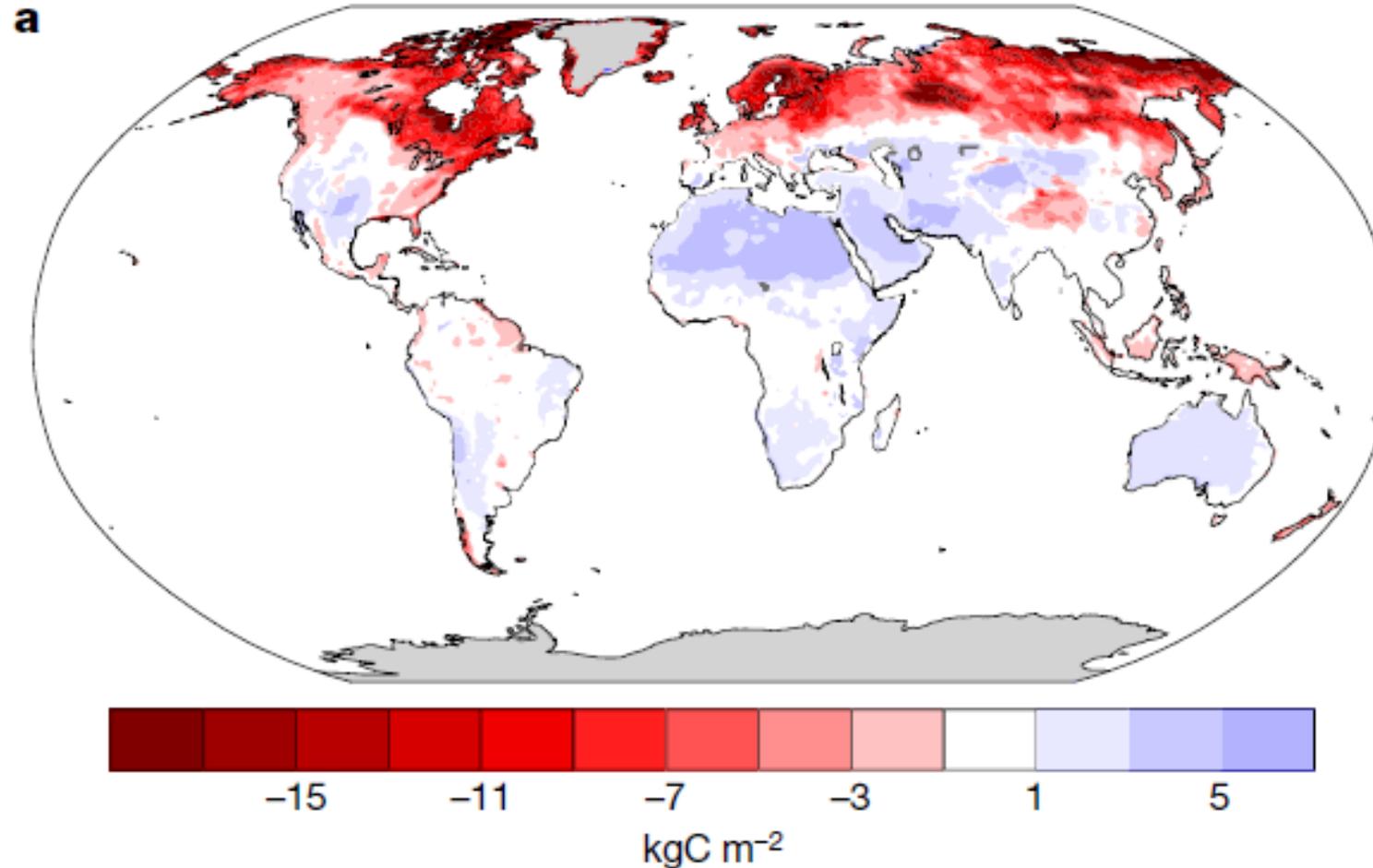


Figure 3 | Spatial extrapolation of the temperature vulnerability of soil C stocks. a, Map of predicted changes in soil C stocks per pixel by 2050 under the 'no acclimatization' scenario. This map was generated by extrapolating Equation (2) using spatially explicit estimates of soil C stocks<sup>19</sup> and soil surface temperature change<sup>22</sup> to reveal the spatial variation in projected changes in surface soil C stocks (0–15 cm depth) expected under a 1 °C rise in global average soil surface temperature. Note that Equation (2) reflects the maximum effect-time scenario, which generates the largest possible estimates of soil C change. This map also predicts C gains in tropical/desert regions that contain almost no soil C at present, but our lack of data in these mid-latitude regions means that we have low confidence in these effects. b, Total reductions in the global C pool under 1 °C and 2 °C global average soil surface warming by 2050, as expected under a full range of different soil C effect-time scenarios (x axis). Note that effect-time refers to the rate at which the full soil C response to warming is realized. Shaded areas indicate the 95% confidence intervals around the average C losses (dots) for each scenario. The rapid effect-time scenarios (for example, one week to one year) result in lower total soil C losses than the maximum effect-time scenario, but all simulations reveal considerable global losses of soil C under warming over the next 35 years.

Modellierte Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte in 0-15 cm Bodentiefe bei einer Erhöhung der Bodenoberflächentemperatur um 1 °C bis 2050

# Limitierungen: Einfluss des Klimawandels und Biomasse

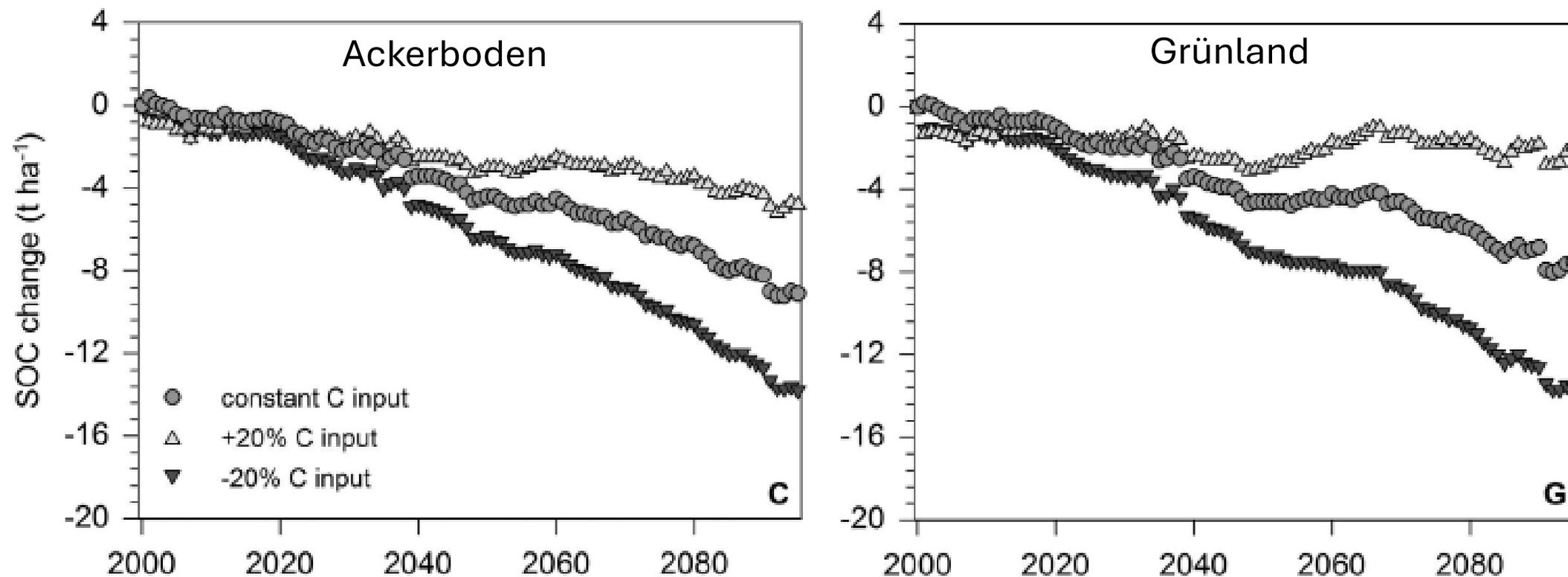


Figure 6. Projected average SOC changes of cropland (C) and grassland (G) sites between 2000 and 2095 under climate change (A1B) and different C input scenarios.

Modellrechnungen für Bayern bei variiertem C-Eintrag in den Boden

# Leitfragen des Vortrags

Wie kann eine Fruchtfolge den Bodenkohlenstoff beeinflussen?

- Wirkung ausgewählter Fruchtarten
- Effekt der Gesamtfruchtfolge über Einzelkulturen hinaus

Welche Faktoren beeinflussen die Wirkung der Fruchtfolge auf den Bodenkohlenstoff?

- Limitierungen der möglichen Fruchtfolgewirkung und überlagernde Effekte

Wie kann ich meine Fruchtfolge hinsichtlich der Wirkung auf den Bodenkohlenstoff einschätzen?

- **Vermeidung falscher Annahmen: Beispiel Zuckerrübenfruchtfolgen**
- **Sind Treibhausgasrechner geeignet für Fruchtfolgen?**
- **Antworten aus der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und eigenen Arbeiten**

# THG-Rechner als geeignetes Tool zur Bewertung der Fruchtfolge?

*Peter, C., Helming, K. & Nendel, C. (2017): Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators. Renewable and Sustainable Energy Reviews 67, 461-476.*

“... **none of the [investigated calculators] cover the consequences of optimizing the management, sequence and composition of crop rotations.** Most of these calculators generate their crop modules as single annual crops, which makes it difficult to display and to determine the effects of the crops on each other.”

*Ellinghausen, M. & Wiggering, H. (2023): Klimarechner in der Landwirtschaft – ein Treibhausgasbilanzierungstool auf dem Prüfstand. Berichte über Landwirtschaft 101, Band 1.*

„Eine große Schwachstelle des Tools ist jedoch die **mangelhafte Einbeziehung des Bodens und dessen Humusbilanz.** Dies schließt sowohl die Nicht-Berücksichtigung von Emissionen aus Moorböden als auch **die kritisch zu betrachtende aktuelle Humusbilanzmethode von TEKLa** mit ein. Letztere beruht vor allem auf kalkulatorischen Werten und stellt den theoretisch zu erwartenden Humusabbau und -aufbau, je nach angebauter Frucht, dar. Einige dabei zugrunde gelegte Werte stammen hierbei aus dem 2004 veröffentlichten VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“, der überwiegend auf Forschungsarbeiten der 80er Jahre in Ostdeutschland beruht (Engels et al., 2010) und damit **durchaus als veraltet gelten kann.** Zudem sollte hier berücksichtigt werden, dass die Kennwerte der VDLUFA „dazu dienen sollen, die optimale Versorgung [der Feldfrüchte] mit organischer Substanz zu bemessen und **nicht dazu geeignet sind, die Veränderung der Bodenhumusvorräte zu errechnen**“ (VDLUFA, 2014). Die hier von TEKLa und vom BEK aufgegriffenen Werte sind demnach in ihrer Verwendung zur Bilanzierung von Humusaufbau und –abbau kritisch zu betrachten.“

- **Bei der Arbeit mit THG-Rechnern ist große Vorsicht geboten und die Ergebnisse sollten sehr kritisch behandelt werden**
- **Festgesetzte Werte insbesondere für natürliche Prozesse sollten bei jedem Einzelrechner auf plausible Quellen geprüft werden**

**Tabelle 2: Richtwerte für fruchtartsspezifischen Humusreproduktionsbedarf bzw. Humusreproduktionsleistung in Humusäquivalenten (Häq) je ha Ackerfläche und Jahr für verschiedene Bewirtschaftungstypen**

**Tabelle 2a: Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Früchte**

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf (Häq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
Zucker- und Futterrübe <sup>2)</sup> , einschließlich Samenträger <sup>2)</sup>	760	1300	1840
Kartoffel <sup>3)</sup> und 1. Gruppe Sonderkulturen <sup>1)</sup>	760	1000	1240
Silomais, Körnermais <sup>2)</sup> und 2. Gruppe Sonderkulturen <sup>1)</sup>	560	800	1040
Getreide (Körnernutzung) <sup>2)</sup> , Öl- und Faserpflanzen <sup>2)</sup> , Sonnenblumen <sup>2)</sup> und 3. Gruppe Sonderkulturen <sup>1)</sup>	280	400	520
<b>Empfehlung zur Anwendung der Werte:</b>			
Untere Werte:	Anforderung zum Erhalt der Böden in einem guten Kulturzustand und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Beratungsempfehlung für ertragsschwache Standorte (z. B. grundwasserferne Diluvialstandorte)		
Mittlere Werte:	Beratungsempfehlung zur Förderung der Bodenfunktionen und Aufbau der Bodenfruchtbarkeit bei Reduktion der mineralischen Düngung		
Obere Werte:	Beratungsempfehlung für Böden in schlechtem Kulturzustand (z. B. Rekultivierungsflächen) und Anbausysteme mit hohem Humusbedarf ohne mineralische N-Düngung (z. B. Ökologischer Landbau bei hohem Ertragsniveau)		
<b>Legende</b>			
1) – siehe Zusatztable			
2) – Koppelprodukte sind nicht enthalten (Koppelprodukte siehe Tabelle 1)			
3) – Koppelprodukte sind mit enthalten			

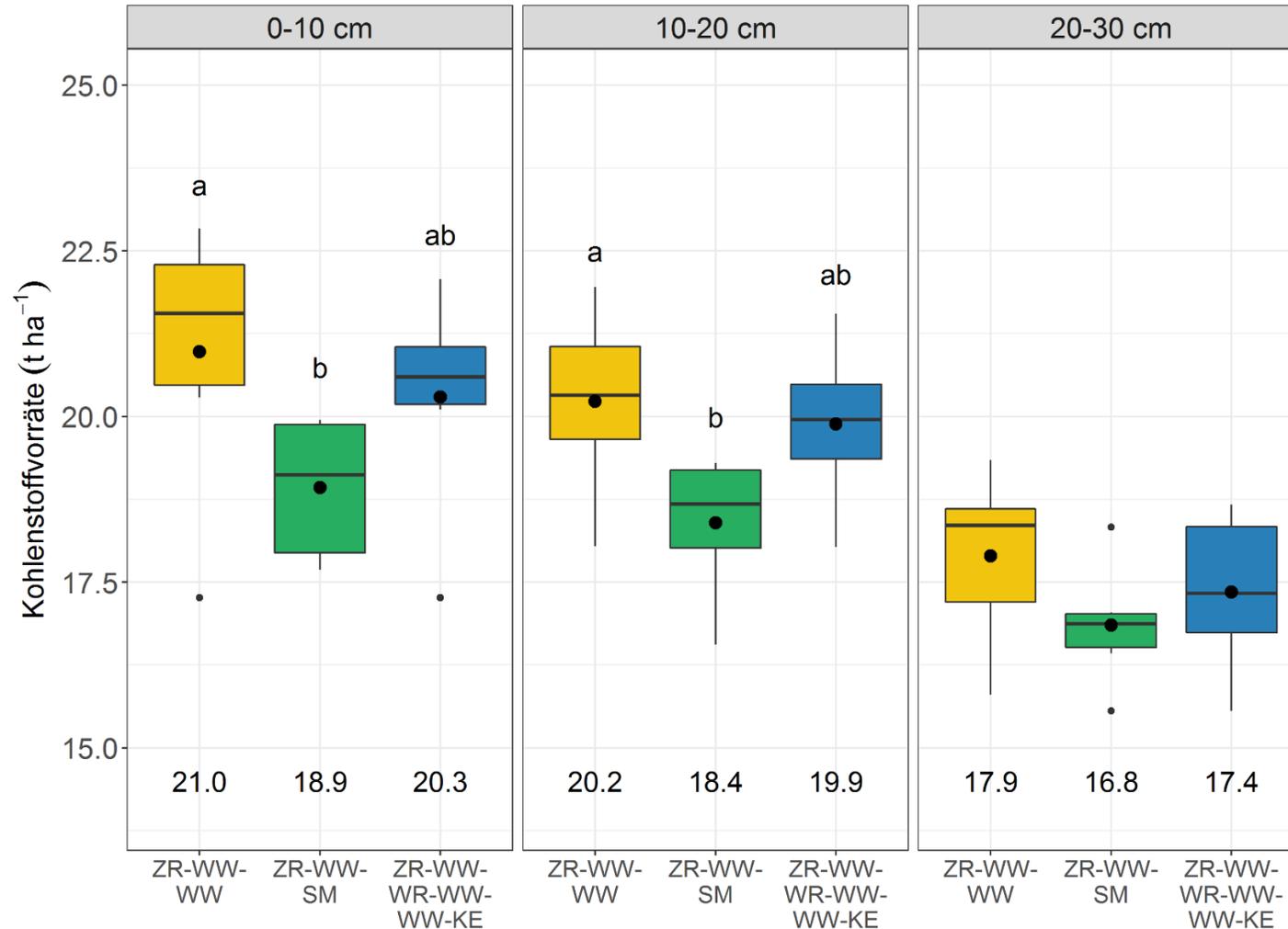
*Annahme der mittleren Werte des VDLUFA-Humusstandpunktes als C-Verlust des Bodens beim Zuckerrübenanbau im **TEKLa-Rechner (LWK Niedersachsen)** führt zu sehr hohen Gesamt-THG-Emissionen*

Für diese Zahlen gibt es keine transparente und öffentliche Grundlage – Versuchsführung der zugrundeliegenden Versuche heute vermutlich nicht mehr repräsentativ

Es gibt für den Zuckerrübenanbau keine aktuelle und verlässliche Datenquelle für die Abschätzung von (möglichen) Kohlenstoffverlusten

Die mittleren Werte zielen auf eine Erhöhung der C-Vorräte, zeigen also explizit nicht den Verlust

# Kohlenstoffvorräte in Zuckerrübenfruchtfolgen



Kohlenstoffvorräte in drei Tiefen in verschiedenen Fruchtfolgen, Probenahme im Fruchtfolgeglied Zuckerrübe, Frühling 2018 + 2019. Der Strich in der Box stellt den Median, der Punkt den Mittelwert dar, der auch unten nochmal als Zahl aufgeführt ist ( $n = 6$ ). Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) in einer Bodentiefe dar

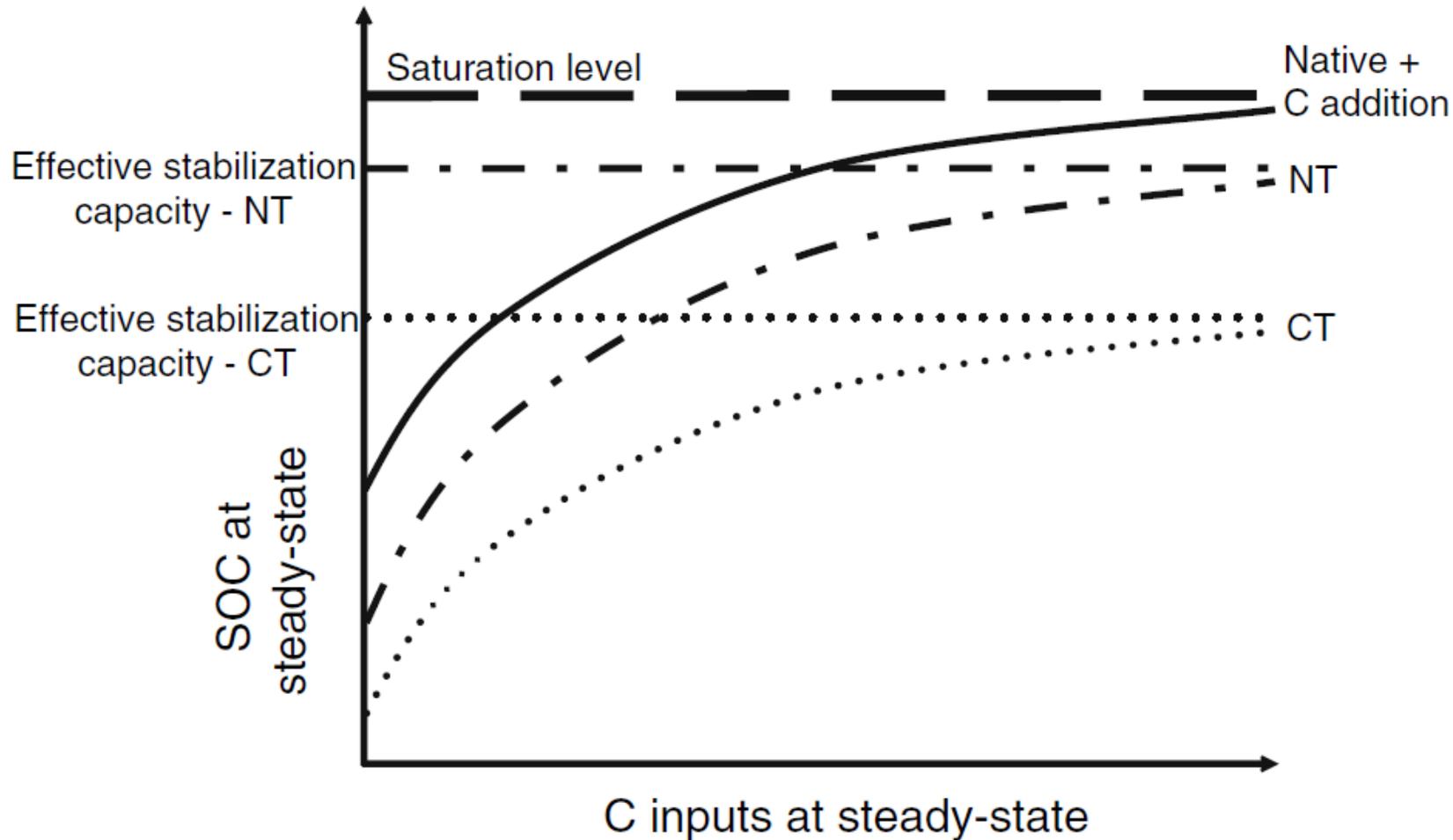
Kein Unterschied zwischen Zuckerrübe alle drei oder alle sechs Jahre → erhöhte Zuckerrübenanbauhäufigkeit hat keinen negativen Effekt nach zwei bzw. vier Durchläufen → Auch ähnlicher oberirdischer C-Eintrag (41-42 t C ha<sup>-1</sup>)

Silomais in einer Fruchtfolge senkt die C-Vorräte im Vergleich zu nur Zuckerrübe → nur 31 t C ha<sup>-1</sup> Eintrag

Möglicher (negativer) Effekt der Zuckerrübe zu klein, um nach 12-13 Jahren sichtbar zu sein, Maisseffekt schon deutlich

(Hintergrund: Silomais nur mineralisch gedüngt / erster Durchlauf ZR-WW-SM mit Körnermais / jedes dritte Jahr Zwischenfrüchte in allen Fruchtfolgen)

# Alte Zuckerrübenflächen im Fließgleichgewicht?



Der Effekt positiver wie negativer Anbaumaßnahmen wird über die Jahre immer kleiner, bis ein neues Fließgleichgewicht erreicht ist

Selbst bei einem tatsächlich negativen Effekt des Zuckerrübenanbaus wäre also auf Flächen, auf denen schon lange (mehrere Jahrzehnte) Zuckerrüben angebaut werden, kein aktueller Effekt mehr zu erwarten

→ Ein möglicher negativer Effekt hätte schon stattgefunden, ein zusätzlicher Kohlenstoffverlust findet nicht statt

Da dies vermutlich auf einen Großteil der Zuckerrübenflächen zutrifft, ist hier kein aktueller Verlust anzunehmen

→ Eher Aufbau durch den gestiegenen Anbau von Zwischenfrüchten!

# Zusammenfassung

Einzelne Kulturen unterscheiden sich teilweise stark in ihrem Kohlenstoffeintrag in den Boden

→ Insbesondere hinsichtlich der unterirdischen Biomasse gibt es hier aber große Unsicherheiten

→ Mehr Messdaten anstelle von berechneten Daten wären hilfreich für das Verständnis

Die Fruchtfolge insgesamt kann über die Diversität zusätzlich zu der Summe der Einträge über die Einzelkulturen einen Effekt auf die Kohlenstoffspeicherung haben

Andere Faktoren, wie der Ausgangskohlenstoffgehalt, Klima- und Bodeneigenschaften sowie zeitliche Aspekte können Fruchtfolgeeffekte deutlich überlagern

Aufgrund dieser großen Unsicherheiten sind fixe Werte in THG-Rechnern sehr kritisch zu sehen, die Ergebnisse sollten entsprechend mit großer Vorsicht behandelt werden und nicht als realistische Abbildung der Wirklichkeit auf dem Feld

# Ausblick auf eigene Arbeiten

Status quo des Bodenkohlenstoffs in unserem Langzeitversuch über verschiedene Fruchtfolgen von langjähriger Monokultur bis zu sechsjähriger Fruchtfolge

- Detailliertere Analyse der C-Speicherung mittels Fraktionierung
- Mehrjährige Probenahmen zu verschiedenen Zeitpunkten

Systematische Erfassung der unterirdischen Ernterückstände für alle sieben Kulturen unseres Langzeitversuchs

- Vergleich insbesondere der Zuckerrübe mit anderen Kulturen
- Abgleich mit gängigen Berechnungen der Wurzelbiomasse
- Einfluss der Fruchtfolge auf Wurzeleintrag in den Boden?

Insbesondere hinsichtlich der Wurzelbiomasse gibt es noch großen Forschungsbedarf und große Unsicherheit

An aerial photograph of a large agricultural field. The field is divided into a grid of smaller plots. Some plots are filled with green crops, while others are empty or have different shades of green. A road runs along the bottom edge of the field. In the background, there are more fields, a line of trees, and a utility pole. The text "Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!" is overlaid in the center of the image.

**Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!**