



# Humuswirkung, Humusreproduktionskoeffizienten und Gärrückstände

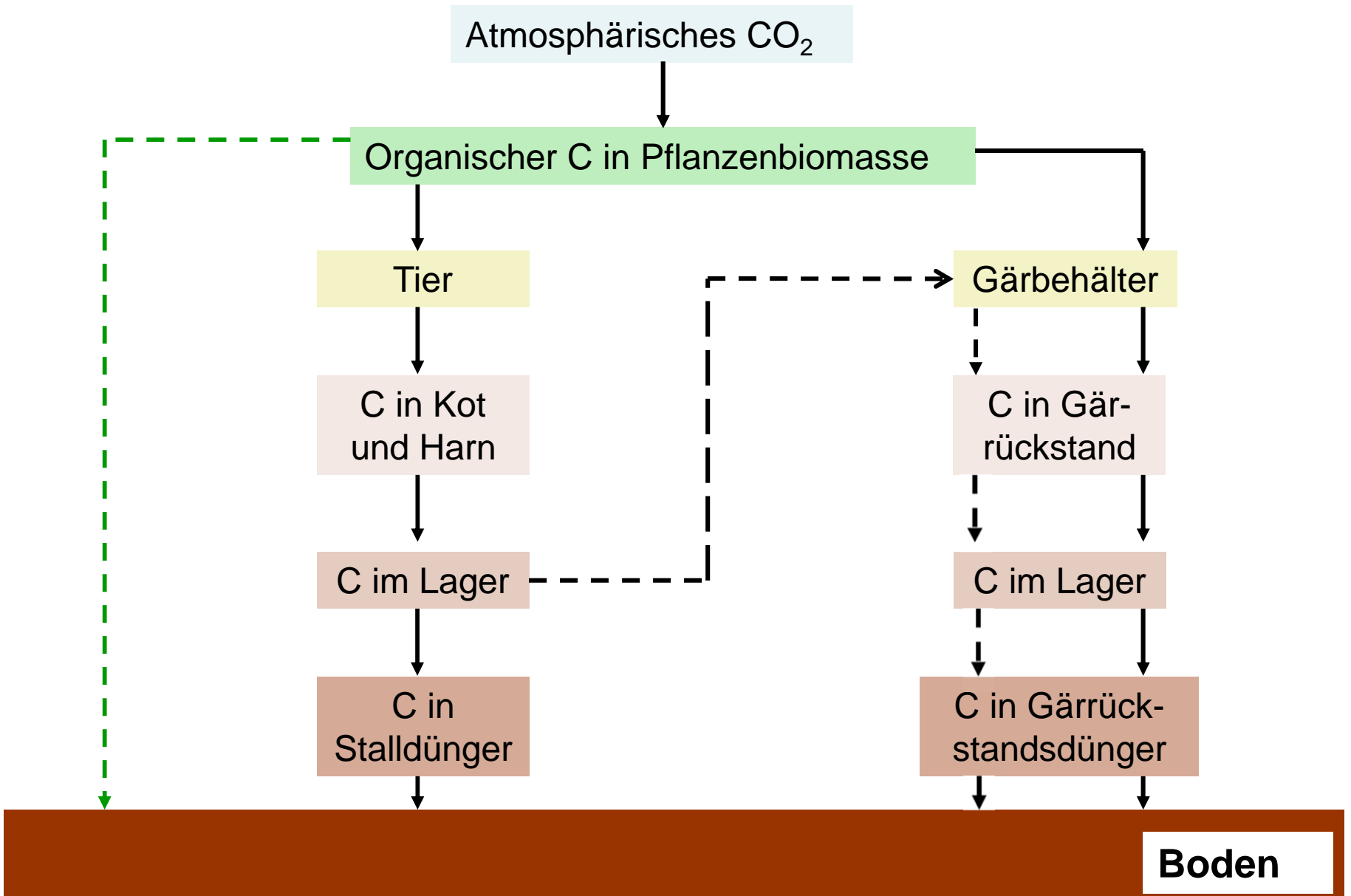
Christof Engels, Paul Mewes, Sven Höcker

Albrecht Daniel Thaer-Institut, Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

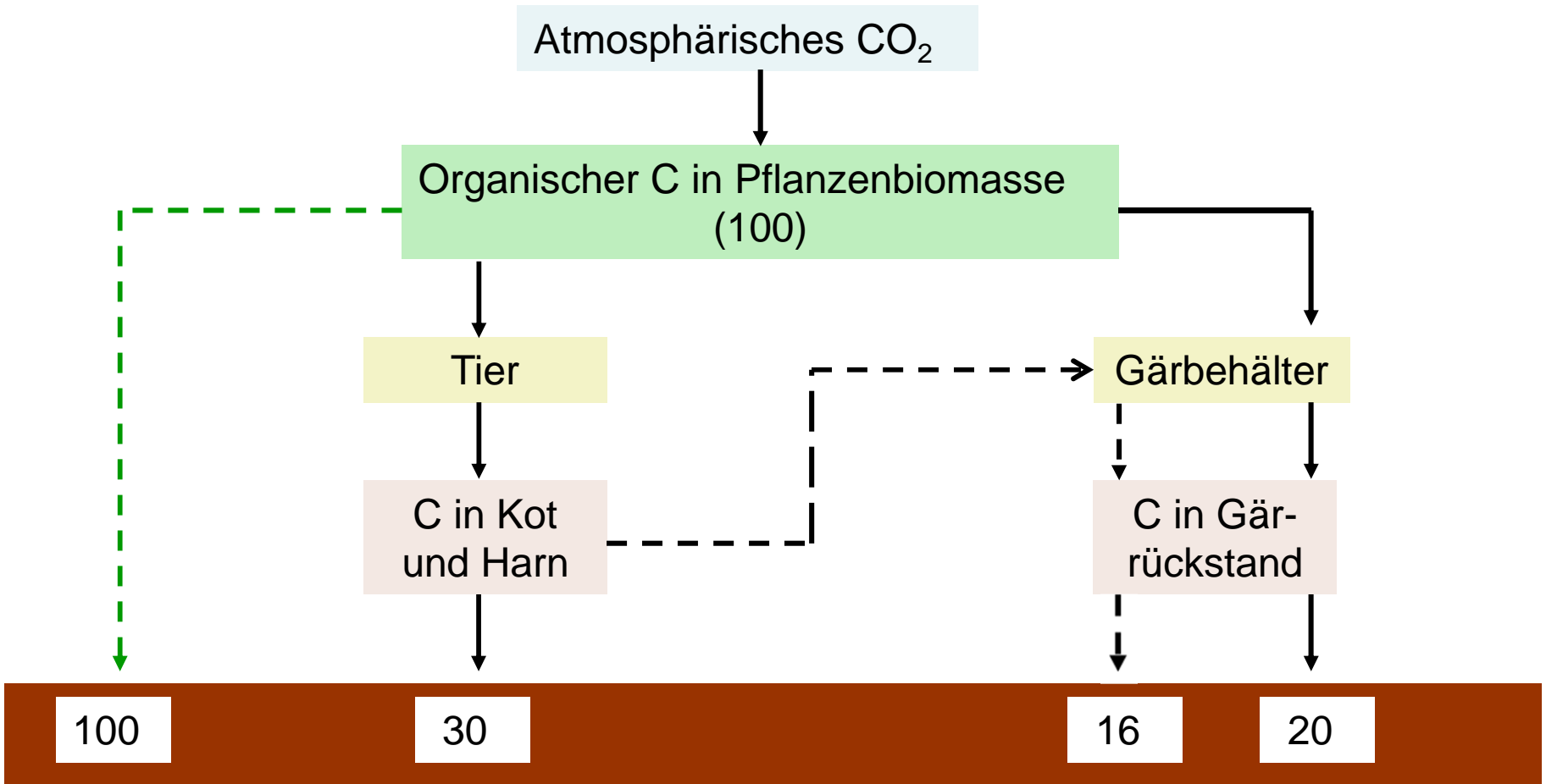
Humboldt-Universität zu Berlin

- Kohlenstoffverluste auf verschiedenen Eintragungspfaden von der Pflanze in den Boden (**Nährhumuswirkung**)
- Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von organischen Düngern (**Dauerhumuswirkung**)
  - Feldversuch
  - Inkubationsversuch
- Wissenslücken/Forschungsbedarf

# Pfade für den Transfer von organischer Substanz in den Boden

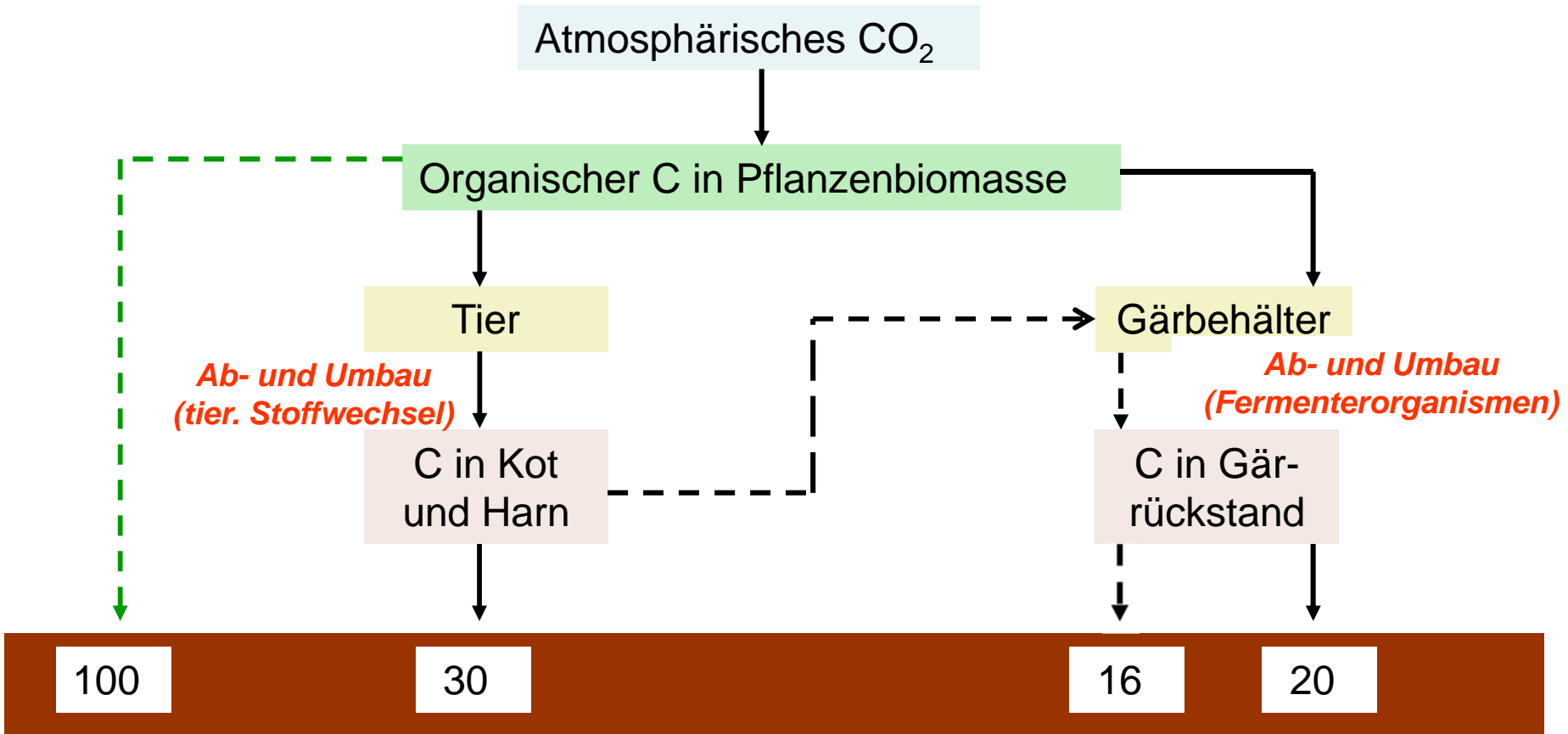


# Wie viel organischer C geht auf den verschiedenen Pfaden in den Boden verloren?



Basierend auf Thomsen IK et al 2013 Soil Biology & Biochemistry 58, 82-87.

Wie verändert sich die Zusammensetzung des organischen C auf den unterschiedlichen Pfaden in den Boden?



nach Thomsen IK et al 2013 Soil Biology & Biochemistry 58, 82-87.

## Veränderung der Zusammensetzung der organischen Substanz auf den unterschiedlichen Pfaden in den Boden

| Organisches Material | Tr.masse<br>mg g <sup>-1</sup> | Ges. C | Ges. N | NDF | ADF | Lignin |
|----------------------|--------------------------------|--------|--------|-----|-----|--------|
| Futter               | 479                            | 422    | 24     | 493 | 227 | 43     |
| Vergorenes Futter    | 82                             | 385    | 74     | 387 | 331 | 164    |
| Dung                 | 171                            | 424    | 29     | 624 | 402 | 132    |
| Vergorener Dung      | 90                             | 388    | 50     | 535 | 438 | 238    |

nach Thomsen IK et al 2013. Soil Biology & Biochemistry 58, 82-87.

**Die mit der Biogasgewinnung verbundenen C-Verluste sind höher als die N-Verluste.**

**→ Im Vergleich zur Düngung unvergorener Ausgangsprodukte ist die Düngung von Gärrückständen mit einer Abnahme des C-Eintrags in den Boden verbunden (N-Fracht-basierte C-Zufuhr nimmt ab).**

## Welche Wirkungen haben die Veränderungen der Menge und Zusammensetzung des in den Boden eingetragenen organischen Kohlenstoffes auf die biologische Aktivität im Boden (Nährhumuswirkung)?

Microcosmos-Experiment, Düngung  $140 \text{ kg NH}_4\text{-N ha}^{-1}$  in Form von Rindergülle oder vergorener Gülle (co-fermentiert mit Gras- und Maissilage), 6 Wochen Inkubation bei  $15^\circ\text{C}$

### → *N-Fracht-basierte Nährhumuswirkung*

| Behandlung | Mikrobieller<br>Biomasse-C<br>$\mu\text{g C g}^{-1}$ Boden | Mikrobieller<br>Biomasse-N<br>$\mu\text{g N g}^{-1}$ Boden |
|------------|--|--|
| Kontrolle  | 33   | 7,3  |
| Gülle      | 113  | 54   |
| Gärrest    | 46   | 18   |

nach Ernst G et al 2008 Soil Biology & Biochemistry 40, 1413-1429.

# Humuswirkung, Humusreproduktionskoeffizienten und Gärrückstände

Christof Engels, Sven Höcker, Paul Mewes

Albrecht Daniel Thaer-Institut, Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

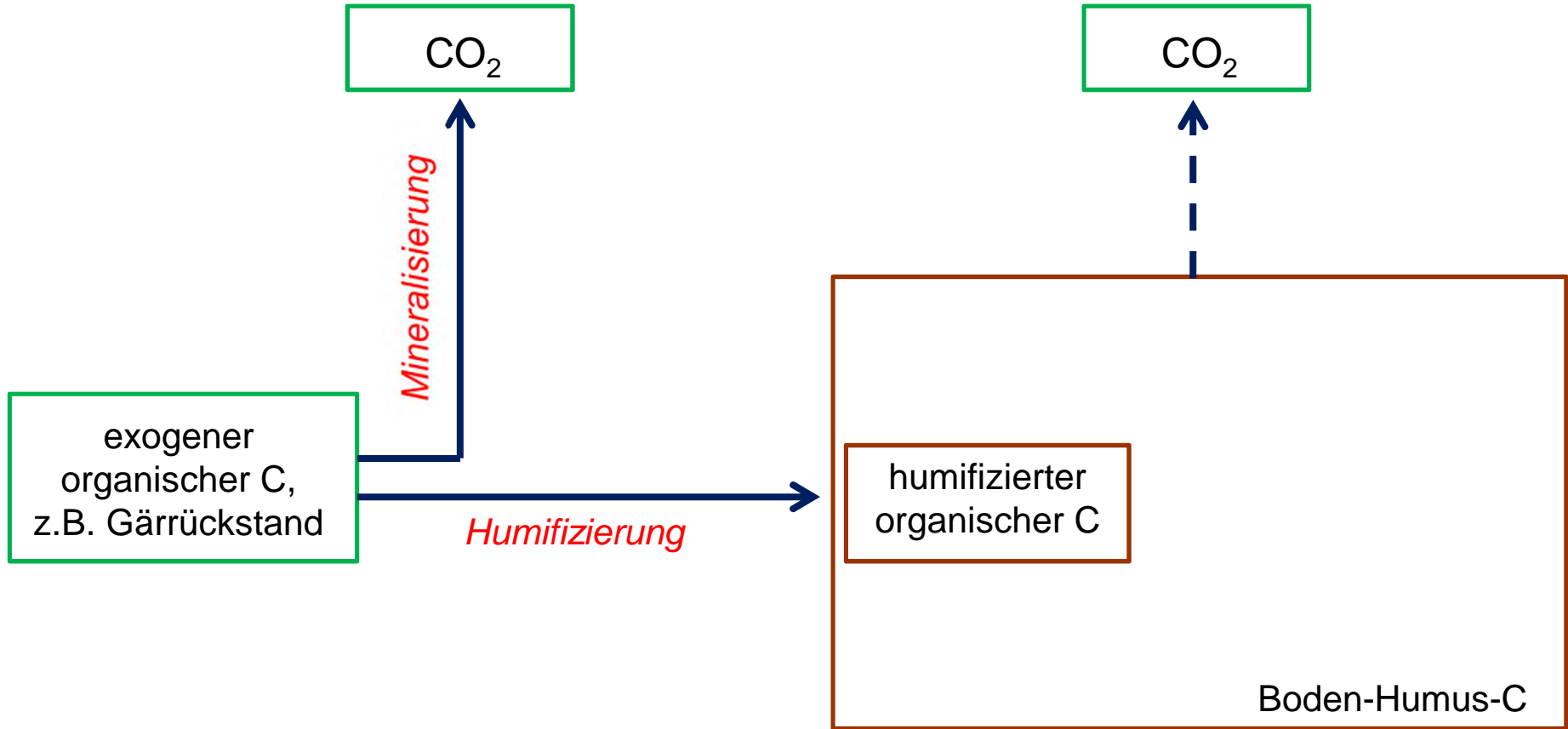
Humboldt-Universität zu Berlin

- Kohlenstoffverluste auf verschiedenen Eintragspfaden von der Pflanze in den Boden (Nährhumuswirkung)
- **Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von organischen Düngern (Dauerhumuswirkung)**
  - **Feldversuch**
  - Inkubationsversuch
- Wissenslücken/Forschungsbedarf

*„Our results further indicate that strong manure digestion puts pressure on future soil organic matter levels suggesting a trade-off with bio-energy production“*

(Verloop J et al 2015 Geoderma 237/238, 159-167).

Schematische Darstellung der Mineralisierung und Humifizierung von  
exogenem organischen Kohlenstoff



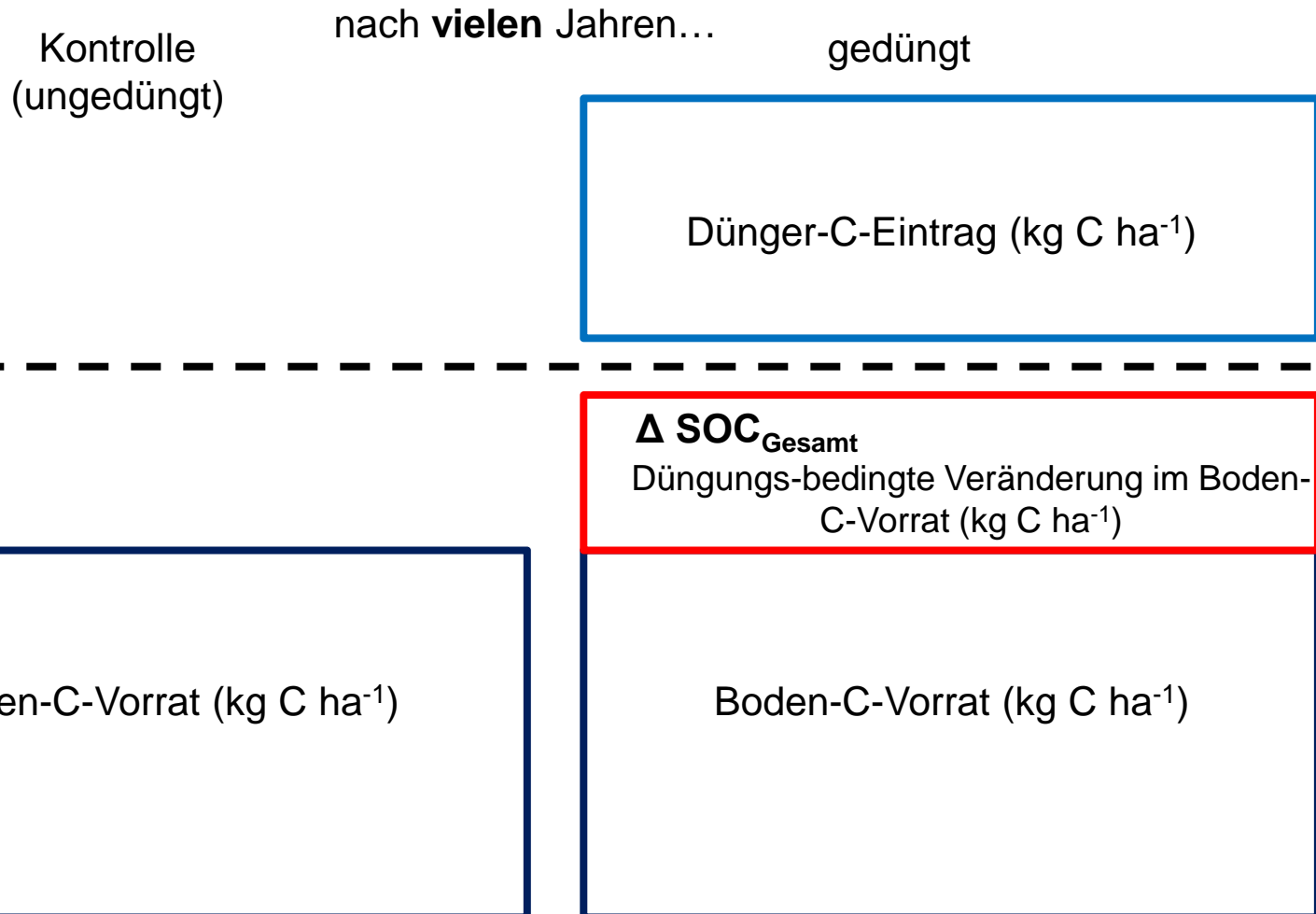
**Humifizierungskoeffizient (Humusreproduktionskoeffizient) =  
humifizierter organischer C / exogener organischer C**



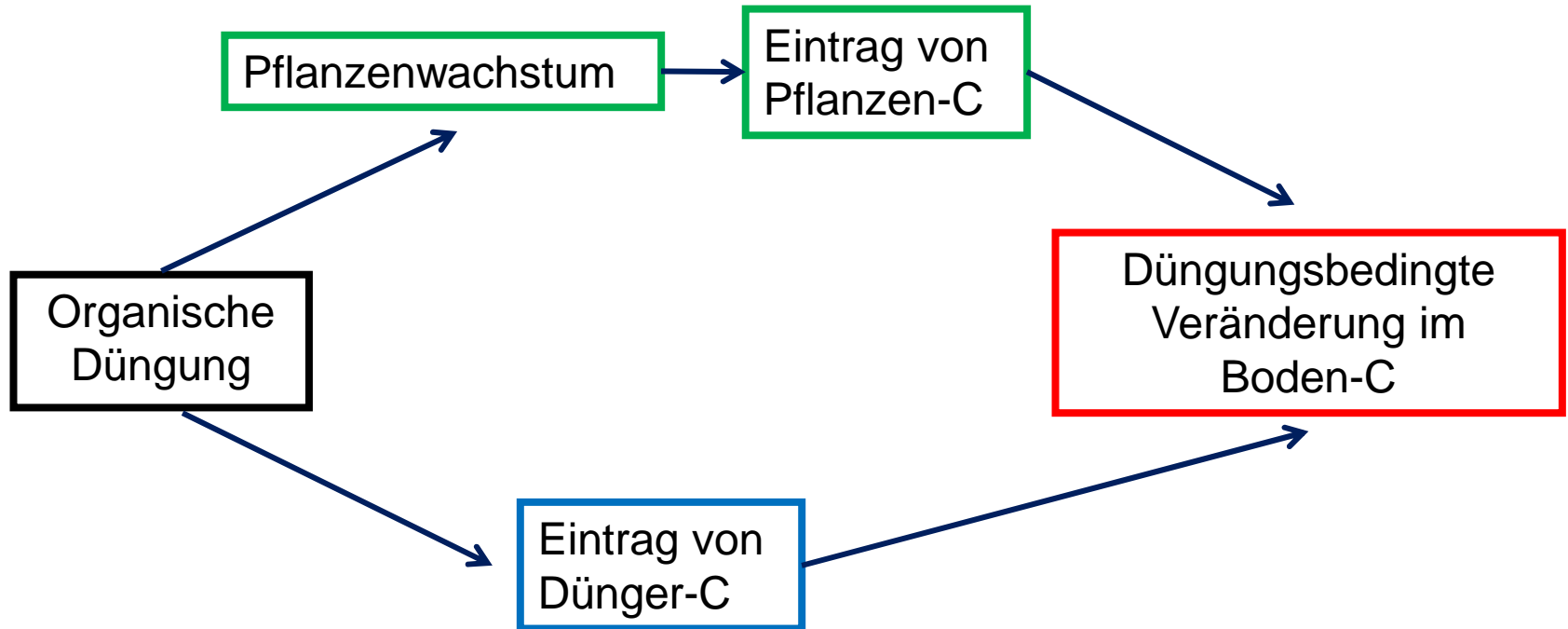
# Prinzip der Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von exogenem organischen Kohlenstoff (EOC) durch langjährige Dauerversuche

- 1) Ermittlung der Differenz im Boden-C-Vorrat zwischen einer gedüngten und einer ungedüngten Variante ( $\Delta \text{SOC}_{\text{Gesamt}}$ )

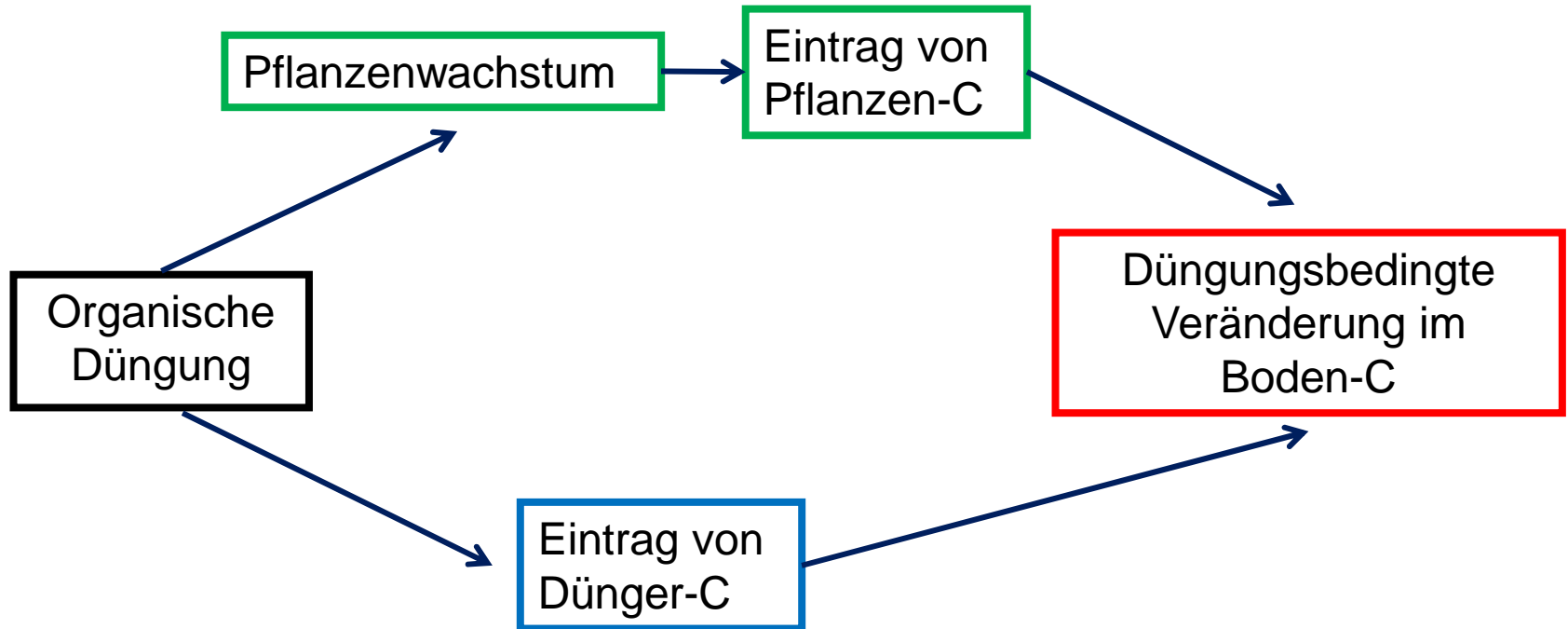
wiederholte Messungen über den gesamten Zeitraum; **beachte Bodendichte, Bodentiefe**



Wirkung von organischer Düngung auf den Bodenumhumusvorrat (schematisch)



## Wirkung von organischer Düngung auf den Bodenumhumusvorrat (schematisch)



Welche quantitative Bedeutung hat der Eintrag von Pflanzenbürtigem-C (im Vergleich zum Eintrag über organische Düngung (z.B. mit Gärrückständen)?

Fruchtartspezifischer C-Eintrag in den Boden durch oberirdische Bestandesabfälle,  
Stoppeln und Wurzeln (ohne Rhizodeposition)

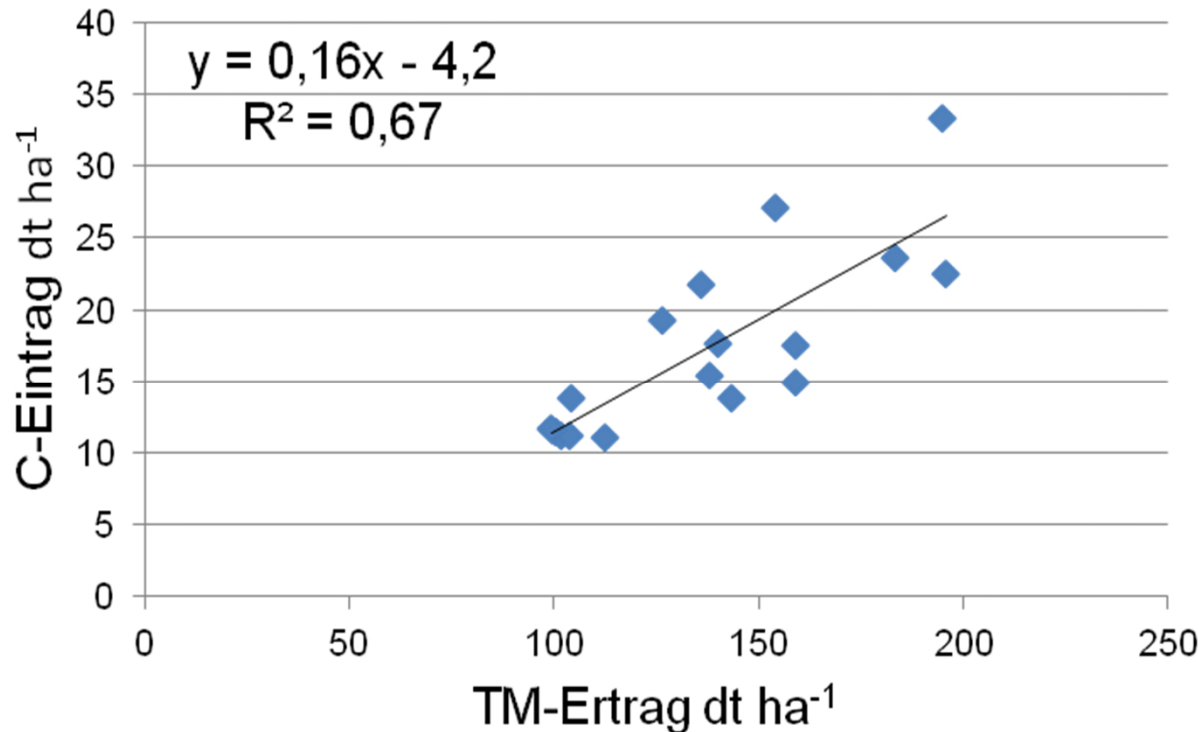
Mittelwerte über mehrere Standorte, Anbaujahre und Düngungsstufen; WG Wintergetreide,  
ZF Zweitfrucht

| Fruchtart                                 | C-Eintrag ( $10^3 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) |
|---|--|
| Erbse                                     | 0,3  |
| Wintergetreide (Vollreife)                | 0,9  |
| Mais                                      | 1,0  |
| <i>Sorghum bicolor</i>                    | 1,9  |
| Mais/ <i>S.bicolor</i>                    | 1,6  |
| Grünroggen – Zweitfrucht <i>S.bicolor</i> | 2,3  |

Höcker & Engels, unveröffentlicht

C-Eintrag mit 100 kg Gärrest-N (C/N-Verhältnis 8): **0,8  $10^3 \text{ kg C ha}^{-1}$**

## Beziehung zwischen dem Eintrag von Pflanzenbürtigem organischen C in den Boden und dem Trockenmasseertrag von Sudangras



Höcker & Engels, unveröffentlicht

C-Eintrag mit 100 kg Gärrest-N (C/N-Verhältnis 8):

**8 dt C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**

Erhöhung des Eintrages von Pflanzenbürtigem C durch eine  
Düngungsbedingte Steigerung des Ertrages um 20%:

**3,2 dt C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**

# Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von organischen Düngern im Feldversuch

nach **vielen** Jahren...

ungedüngt

gedüngt

Pflanzen-C-Eintrag (kg C ha<sup>-1</sup>)

Dünger-C-Eintrag (kg C ha<sup>-1</sup>)

Pflanzen-C-Eintrag (kg C ha<sup>-1</sup>)



Boden-C-Vorrat (kg C ha<sup>-1</sup>)

$$\Delta \text{SOC}_{\text{Gesamt}} = \Delta \text{SOC}_{\text{Dünger}} + \Delta \text{SOC}_{\text{Pflanze}}$$

Boden-C-Vorrat (kg C ha<sup>-1</sup>)

# Prinzip der Ermittlung der Humuswirkung von exogenem organischen Kohlenstoff (EOC) durch langjährige Dauerversuche

- 1) Ermittlung der Differenz im Boden-C-Vorrat zwischen einer gedüngten Variante und einer ungedüngten Variante ( $\Delta \text{SOC}_{\text{Gesamt}}$ )  
wiederholte Messungen über den gesamten Zeitraum; **beachte Bodendichte, Bodentiefe**
- 2) Ermittlung des direkten Beitrages des Dünger-C auf die Düngungsbedingte Veränderung im Boden-C-Vorrat.
  - a) Ermittlung der durch die Düngung bewirkten Erhöhung des Eintrages an Pflanzen-C
  - b) Ermittlung der Wirkung des Pflanzen-C auf den Boden-C-Vorrat ( $\Delta \text{SOC}_{\text{Pflanze}}$ )
  - c) Ermittlung der Wirkung des Dünger-C auf den Boden-C-Vorrat ( $\Delta \text{SOC}_{\text{Dünger}}$ )  
$$\Delta \text{SOC}_{\text{Dünger}} = \Delta \text{SOC}_{\text{Gesamt}} - \Delta \text{SOC}_{\text{Pflanze}}$$
  - d) Ermittlung des Humusreproduktionskoeffizienten (HK)  
$$\text{HK} = \Delta \text{SOC}_{\text{Dünger}} / \text{Dünger-C-Eintrag}$$

## Humuskoeffizienten von organischen Düngern (Dauerversuche im Feld)

| Dünger             | <b>g C kg<sup>-1</sup> EOC</b> | Quelle                                |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Grümdünger         | <b>130</b>                     | Gerzabek et al 1997                   |
| Grasschnitt        | <b>190</b>                     | Kätterer et al 2014                   |
| Dung               | <b>120</b>                     | Maillard & Angers 2014 (Meta-Analyse) |
| Dung               | <b>270</b>                     | Bergkvist et al 2003                  |
| Dung               | <b>250</b>                     | McGrath et al 2000; Hao et al 2003    |
| Dung               | <b>400</b>                     | Delas & Molot 1983                    |
| Stallmist          | <b>460-560</b>                 | Kätterer et al 2014                   |
| Klärschlamm        | <b>340-370</b>                 | Kätterer et al 2014                   |
| Klärschlammkompost | <b>500</b>                     | McGrath et al 2000                    |
| Torf               | <b>570</b>                     | Bergkvist et al 2003                  |
| Bioabfallkompost   | <b>720-790</b>                 | Kätterer et al 2014                   |

Für Gärrückstände liegen keine veröffentlichten Daten aus Dauerversuchen vor.



# Humuswirkung, Humusreproduktionskoeffizienten und Gärrückstände

Christof Engels, Paul Mewes, Sven Höcker

Albrecht Daniel Thaer-Institut, Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

Humboldt-Universität zu Berlin

- Kohlenstoffverluste auf verschiedenen Eintragspfaden von der Pflanze in den Boden (Nährhumuswirkung)
- **Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von organischen Düngern (Dauerhumuswirkung)**
  - Feldversuch
  - **Inkubationsversuch**
    - **Prinzip**
    - **Daten**
- Wissenslücken/Forschungsbedarf

# Inkubationsversuche DIN ISO 16072:2005-6

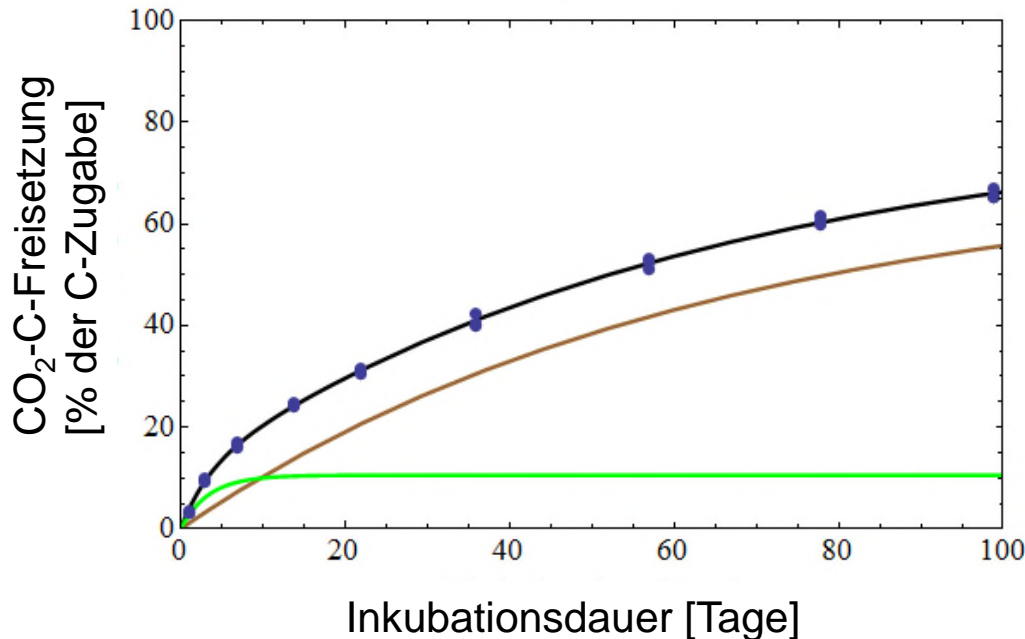


Inkubation von Boden mit und ohne Zusatz der zu prüfenden organischen Substanz

Messung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden

Zweikomponentenmodell  $C(t) = C_1(1 - e^{-k_1 t}) + C_2(1 - e^{-k_2 t})$

WW-Stroh



Strohdüngungsbedingte CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden  
22°C, ohne N, 400 mg C/100 g Boden

Düngungsbedingte CO<sub>2</sub>-C-Verluste während einer 77-tägigen Inkubation  
verschiedener organischer Materialien

22°C, 77 d; 60% WHK, 400 mg C/100 g Boden, mit N (100 mg / kg Boden) +P (20 mg / kg Boden)

| Material   | C-Verlust (g C / g C-Zugabe) |
|--|------------------------------|
| Stroh (Weizen, Roggen Raps)                            | 0,59 – 0,62                  |
| Stalldünger (verschiedene Stallmiste, Rindergülle)     | 0,16 – 0,60                  |
| Gärrückstände flüssig (Biotonne, Mais, Mais/Sch.gülle) | 0,18 – 0,34                  |
| Gärrückstände fest                                     | 0,03 – 0,22                  |
| Frischkompost (Biotonne, Garten/Park-Abfälle)          | 0,09 – 0,16                  |
| Fertigkompost (Biotonne, Grüngut, Gartenabfälle)       | 0,04 – 0,07                  |
| Biokohlen (HTC Weizenstroh, Pappelholz; Biokohle)      | 0 – 0,40                     |
| Feinwurzeln (verschiedene Kulturarten)                 | 0,20 – 0,35                  |

Mewes, Bürger, Engels, unveröffentlicht

Düngungs-bedingte CO<sub>2</sub>-Freisetzung (g C / g C-Zugabe) aus dem Boden nach  
Zugabe von Gärresten und anderen organischen Materialien (Literatur)

| <b>Material</b>                    | <b>Freisetzung</b>  | <b>Bedingungen</b> | <b>Autoren</b>            |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Gärrückstand (Mais)                | <b>0,21</b>         | 42 d, 13,5°C       | Sänger A et al 2011       |
| Gärrückstand Rinderdung            | <b>0,24</b>         | 245 d, 20°C        | Thomsen LK et al 2013     |
| Rinderdung                         | <b>0,52</b>         |                    |                           |
| Gärrückstand                       | <b>0,25</b>         | 100 d, 22°C        | Sensel et al. 2012        |
| Rindergülle                        | <b>0,75</b>         |                    |                           |
| Frischer Stallmist                 | <b>0,66</b>         |                    |                           |
| Gärrückstand (koferm. Rindergülle) | <b>0,30</b>         | 56 d, 26°C         | Albuquerque JA et al 2011 |
| Gärrückstand (Mais)                | <b>0,38</b>         | 42 d, 23,5°C       | Sänger A et al 2010       |
| Gärrückstand (Mais)                | <b>0,54</b>         | 140 d, 13,5°C      | Sänger A et al 2010       |
| Rindermist kompostiert             | <b>0,27</b>         |                    |                           |
| Gärrückstand Pflanzensilage        | <b>0,42</b>         | 245 d, 20°C        | Thomsen LK et al 2013     |
| Gründünger                         | <b>0,86</b>         |                    |                           |
| Verschiedene Gärrückstände         | <b>0,16 - &gt;1</b> | 56 d, 26°C         | Albuquerque JA et al 2012 |
| Verschiedene Gärrückstände         | <b>0,03 – 0,34</b>  | 77 d, 22°C         | Mewes & Engels, unveröff. |

# Humuswirkung, Humusreproduktionskoeffizienten und Gärrückstände

Christof Engels, Paul Mewes, Sven Höcker

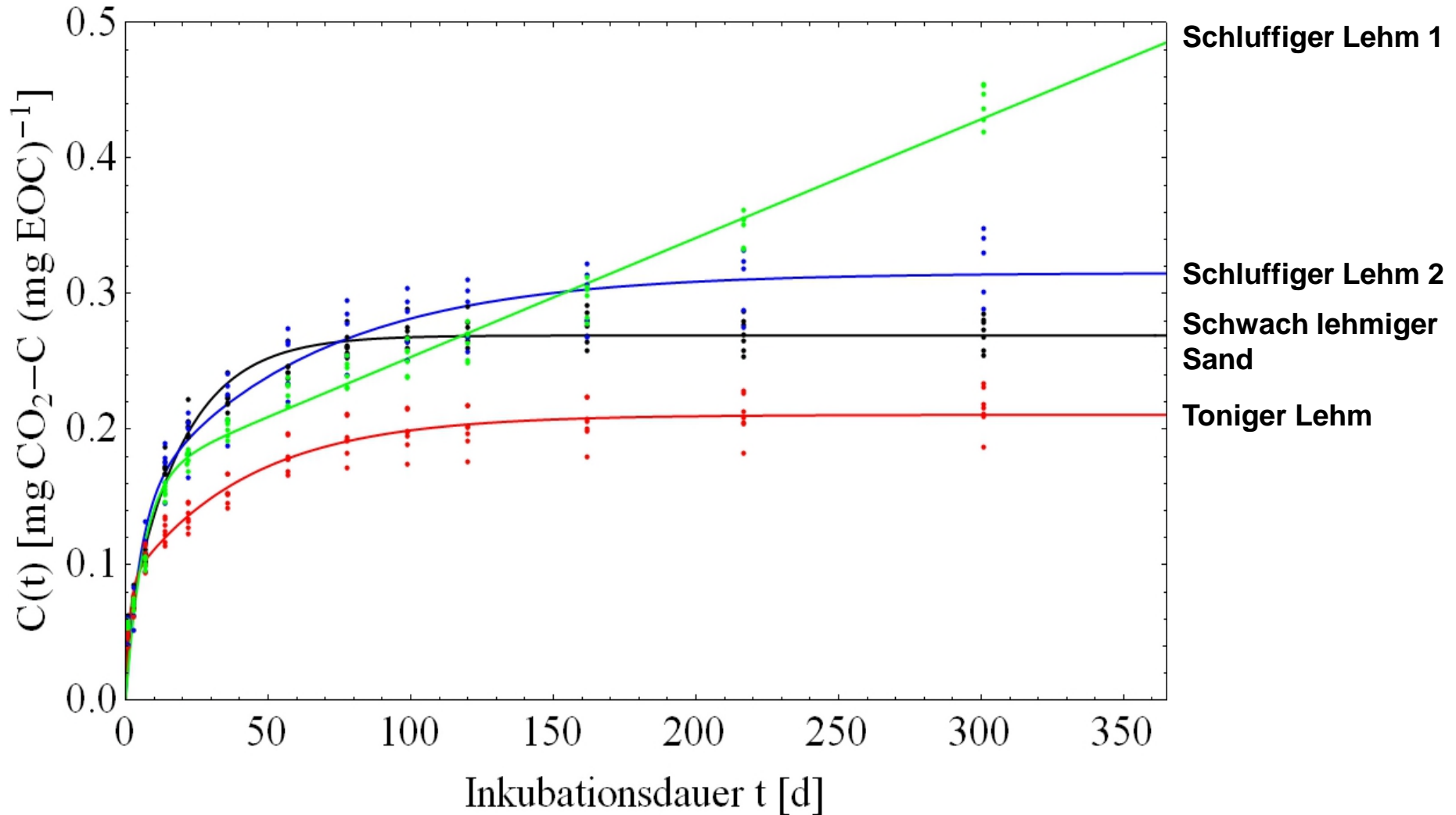
Albrecht Daniel Thaer-Institut, Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung

Humboldt-Universität zu Berlin

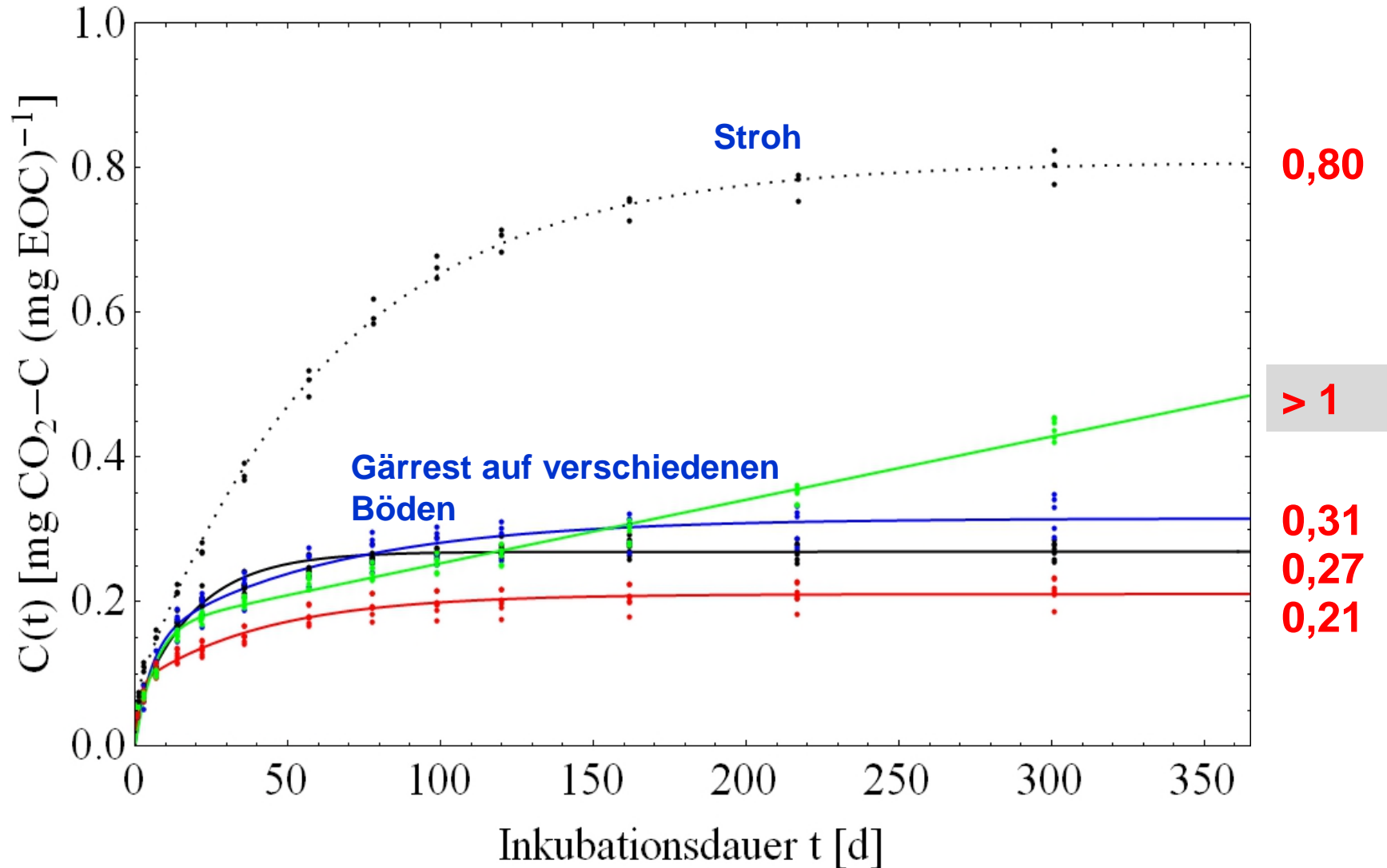
- Kohlenstoffverluste auf verschiedenen Eintragspfaden von der Pflanze in den Boden (Nährhumuswirkung)
- Ermittlung der Humusreproduktionswirkung von organischen Düngern (Dauerhumuswirkung)
  - Feldversuch
  - Inkubationsversuch
- **Wissenslücken/Forschungsbedarf**
  - **Wirkung der Inkubationsbedingungen**
  - **Datenauswertung (Modell für Inkubationsversuch)**
  - **Zusammenhang zwischen biochemischen Kennwerten und Humusreproduktionsleistung**

# Kumulative C-Verluste während der Inkubation eines Gärrestes (Maismonovergärung) auf **verschiedenen Böden**

22°C, 400 mg C/100 g Boden, ohne N/P



Kumulative C-Verluste während der Inkubation eines Gärrestes (und von Stroh)  
(Maismonovergärung) auf verschiedenen Böden und aus dem Kurvenverlauf  
modellierten Gesamtverlusten ( $\lim C(t), t \rightarrow \infty$ )



## Kann man die aufwendigen Inkubationsversuche zur Ermittlung der Abbaustabilität von Gärrückständen vermeiden? Kann man Gärrückstände aufgrund von biochemischen Eigenschaften klassifizieren?

Korrelationskoeffizienten zwischen dem während einer 56-tägigen Inkubation bei 28°C mineralisiertem C ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  Boden) und

- der nach 7 d mineralisierten C-Menge  $r = 0,948^{**}$
- dem Gehalt an löslichem organischen C im Gärrest  $r = 0,943^{**}$
- dem 24 h Biologischen  $\text{O}_2$ -Bedarf ( $\text{BSB}_{24\text{h}}$ )  $r = 0,950^{**}$

Alburquerque JA et al 2012 Agriculture, Ecosystems and Environment 160, 15-22.

Nach der Inkubation im Boden verbleibender Anteil des anfangs mit den EOM zugeführten organischen C ( $I_{\text{ROC}}$ ) in  $\text{g kg}^{-1}$  zugeführtem C:

$$I_{\text{ROC}} = 445 + 0,5 \text{ SOL} - 0,2 \text{ CEL} + 0,7 \text{ LIC} - 2,3 \text{ C}_{3\text{d}}$$

SOL = Lösliche Fraktion\* ( $\text{g Organische Masse kg}^{-1}$  Gesamt-Organische Masse)

CEL = Cellulose ( $\text{g Organische Masse kg}^{-1}$  Gesamt-Organische Masse)

LIC = Lignin-ähnliche Fraktion ( $\text{g Organische Masse kg}^{-1}$  Gesamt-Organische Masse)

$\text{C}_{3\text{d}}$  = nach 3 d im Inkubationsversuch mineralisierter C

\*Lösliche Fraktion: in kochendem Wasser extrahierbare org. Substanz + NDF Fraktion bei der Van Soest-Extraktion



## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Vergleich zur Düngung unvergorener Ausgangsprodukte ist die Düngung von Gärrückständen mit einer Abnahme des C-Eintrags in den Boden (N-Fracht-basierte C-Zufuhr nimmt ab) und der Nährhumuswirkung verbunden.

Zur Dauerhumuswirkung (Humusreproduktionswirkung) von Gärrückständen liegen keine Daten aus langjährigen Feldversuchen vor.

Die in Inkubationsversuchen ermittelte Humusreproduktionswirkung von Gärrückständen variiert zwischen kleiner 0 (positiver priming-Effekt) und „besser als kompostierter Rindermist“ (**Humusreproduktionskoeffizienten < 0 bis 0,85**).

Für die Abschätzung der Humusreproduktionswirkung von Gärrückständen in Inkubationsversuchen ist ein besseres Prozessverständnis über die Wirkung der stofflichen Zusammensetzung der Gärrückstände und der Inkubationsbedingungen auf die C-Retention erforderlich, um eine Standardisierung der Inkubationsbedingungen zu ermöglichen.

Die Arbeitsgruppe wird finanziell durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe unterstützt (FKZ 22401112 „Ermittlung von Humusbedarfskoeffizienten für Energiepflanzenarten und Energiepflanzenproduktionssysteme“).



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages