

Zustand und Entwicklung des Humusvorrates in den Ackerböden Niedersachsens – das Boden-Dauerbeobachtungsprogramm

Dr. Heinrich Höper
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Hannover



Gliederung

1. Das Boden-Dauerbeobachtungsprogramm in Niedersachsen
2. Trends der C_{org} -Vorräte in Ackerböden
3. Bodenzustandserhebung Landwirtschaft und Trends der C_{org} -Vorräte
4. Maßnahmen zur Humusanreicherung in Böden
5. Schlussfolgerungen zum Carbon Farming



Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Ziele der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen

- Feststellung des (aktuellen) **Status quo** von Eigenschaften und Belastungen der Böden Niedersachsens
- Gewinnung von Informationen über **langfristige Veränderungen der Böden**
- frühzeitige **Risikobeurteilung und -vorhersage**
- Flächen als **Eichstellen** bei schwierigen Belastungssituationen oder Katastrophenlagen (siehe Tschernobyl)

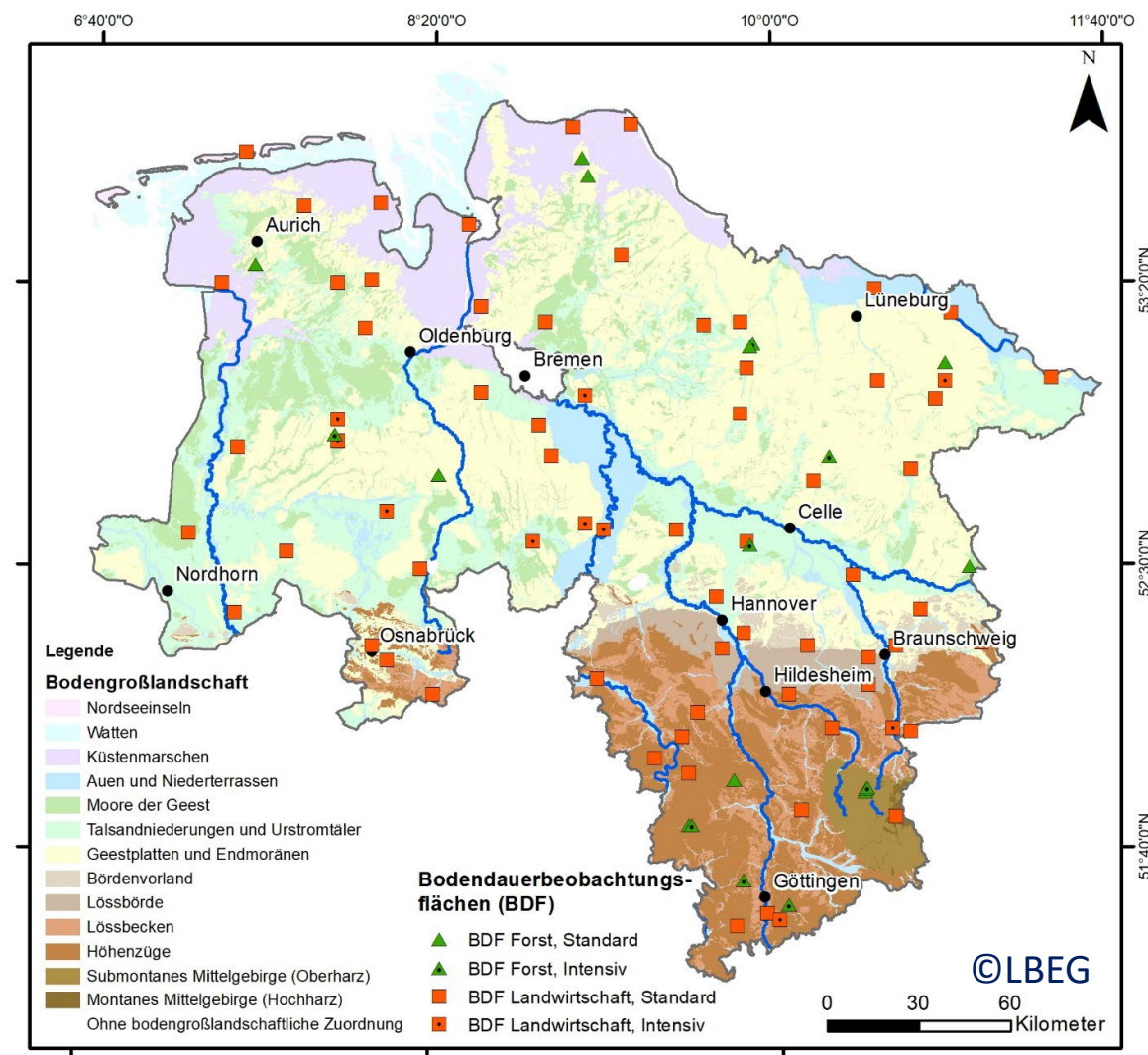
Kabinettsvorlage 05.01.1990



Standorte und Nutzung

Landwirtschaft/Offenland (BDF-L)	70
Ackerland	48
- konventionelle Landwirtschaft	(41)
- ökologische Landwirtschaft	(7)
Grünland	16
- intensiv genutztes Wirtschaftsgrünland (3-4 Schnitte, Mähweide)	(8)
- extensiv genutztes Wirtschaftsgrünland (1-2 Schnitte, Weide)	(8)
naturnahe Flächen	5
- Biotopgrünland	(3)
- Brache (Baltrum, Stapeler Moor)	(2)
Siedlung (Stadtpark)	1
Wald (BDF-F)	20

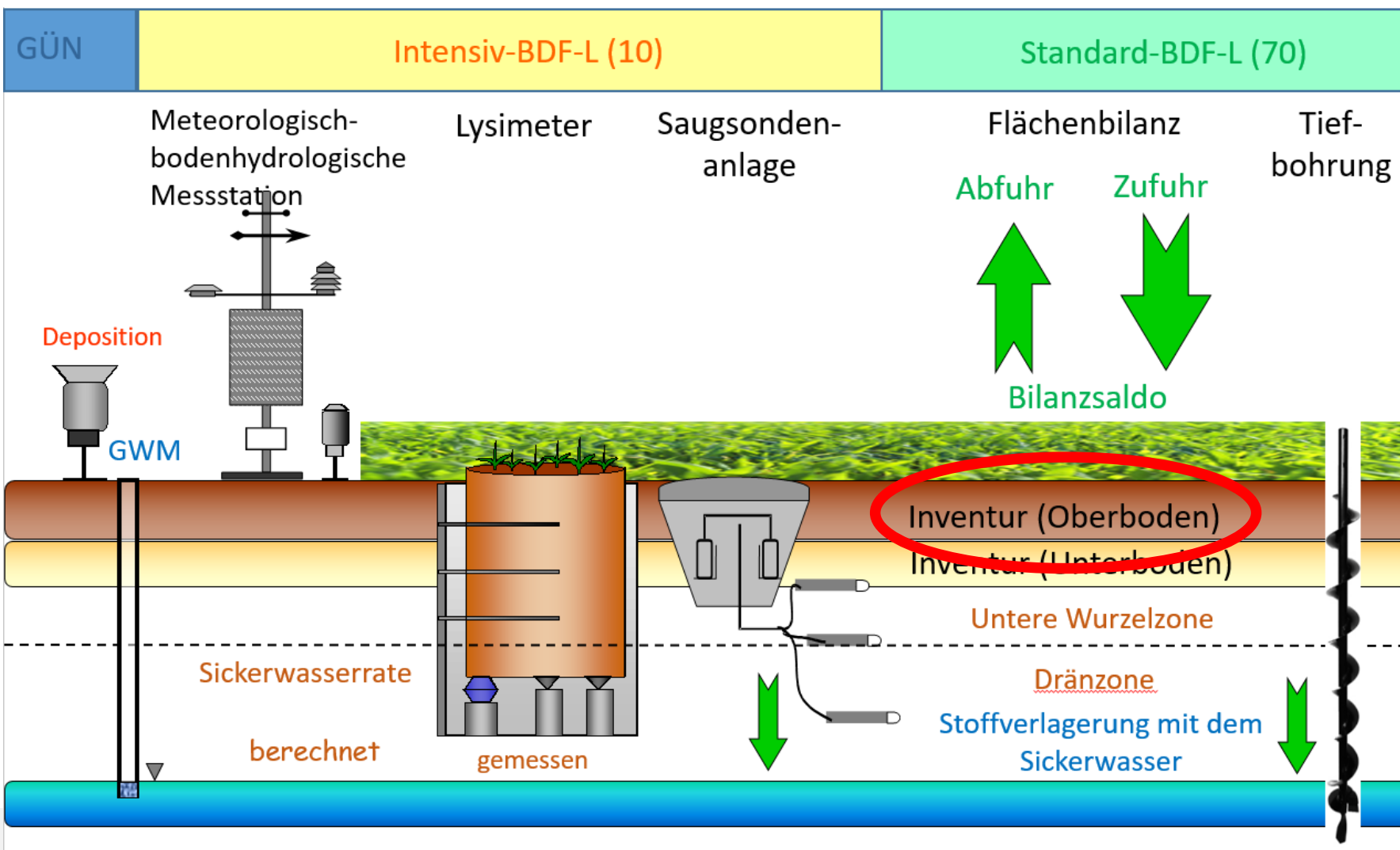
Stand: 11.2021



Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Standard- und Intensiv-Dauerbeobachtungsflächen: Instrumente



Begriffe

- **Organische Substanz = Humus:** Gesamtheit aller toten organischen Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs und deren organischen Umwandlungsprodukte.
- **Organischer Kohlenstoff (C_{org}):** mengenmäßig bedeutendstes Element (ca. 58 %) der organischen Substanz, analytisch bestimmbarer Anteil,

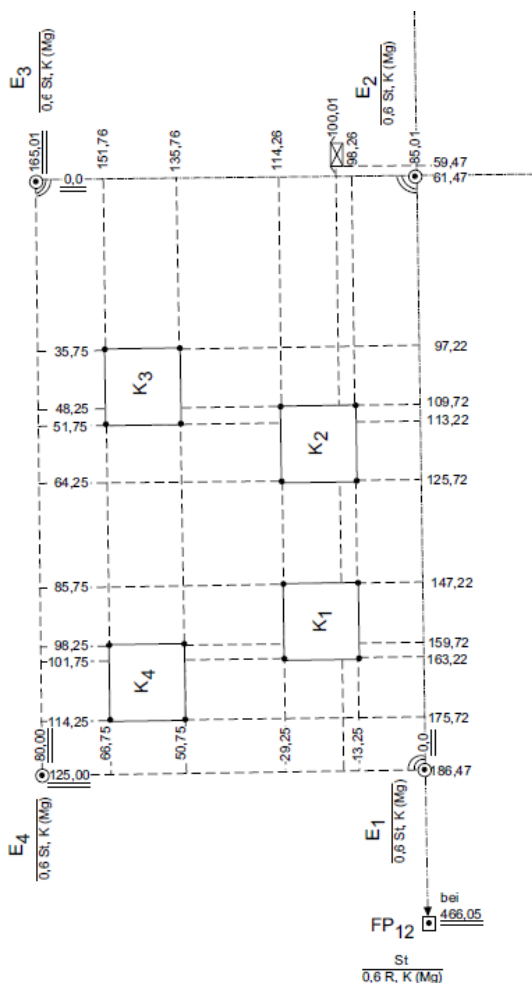
Bedeutung der organischen Substanz, des organischen Kohlenstoffs

- Kohlenstoffspeicher (Klimaschutz)
- Porenraum, Wasser- und Luftspeicherung
- Lebensraum und Lebensgrundlage von Pflanzen und Bodenorganismen
- Stabilisierung der Bodenstruktur (Aggregation), Verbesserung der Wasserinfiltration und Verminderung der Erodierbarkeit des Bodens

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Methodik: Probenahme und Vorratsbestimmung



Probenahme für C_{org} -Bestimmung

- 4 fest eingemessene Kernflächen 16 x 16 m
- Mischproben aus 16 Einstichen (N_{min} -Bohrer)
- Probenahmetiefe: 0-20 bzw. 0-10 und 10-20 cm
- Beprobung Februar bis Anfang April
- Wiederholung alle 3 Jahre

Weitere Parameter (für Vorratsberechnung)

- Mächtigkeit der Ackerkrume
- Skelettgehalt (> 2 mm)
- Lagerungsdichte

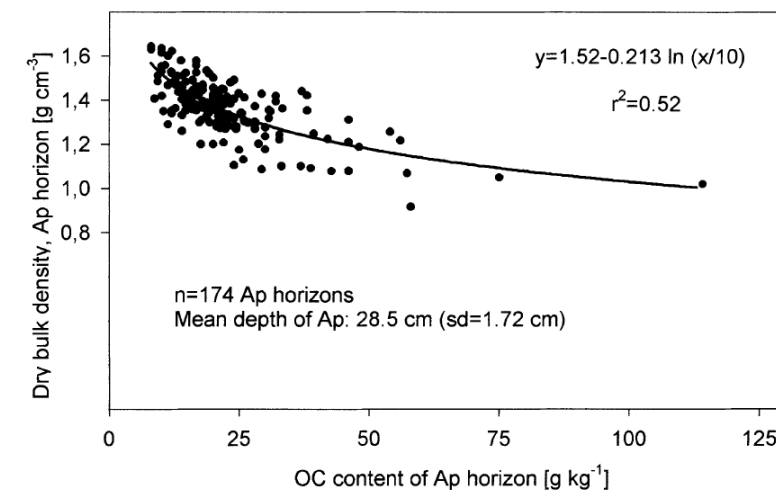
C_{org} -Vorratsberechnung

$$C_{org}\text{-Vorrat}_i = C_{orgi} \times LD_i \times Mäch_i \times (100 - Skel_i)$$

darin

- $C\text{-Vorrat}_i$ = C-Vorrat der Schicht i [t C/ha]
- C_{orgi} = C-Gehalt der Schicht i [Gewichts-%]
- LD_i = Lagerungsdichte der Schicht i [$kg/dm^3 = t/m^3$]
- $Skel_i$ = Skelett- (Grobboden-) Anteil der Schicht i [Masse-%]
- $Mäch_i$ = Schichtmächtigkeit der Schicht i [m]

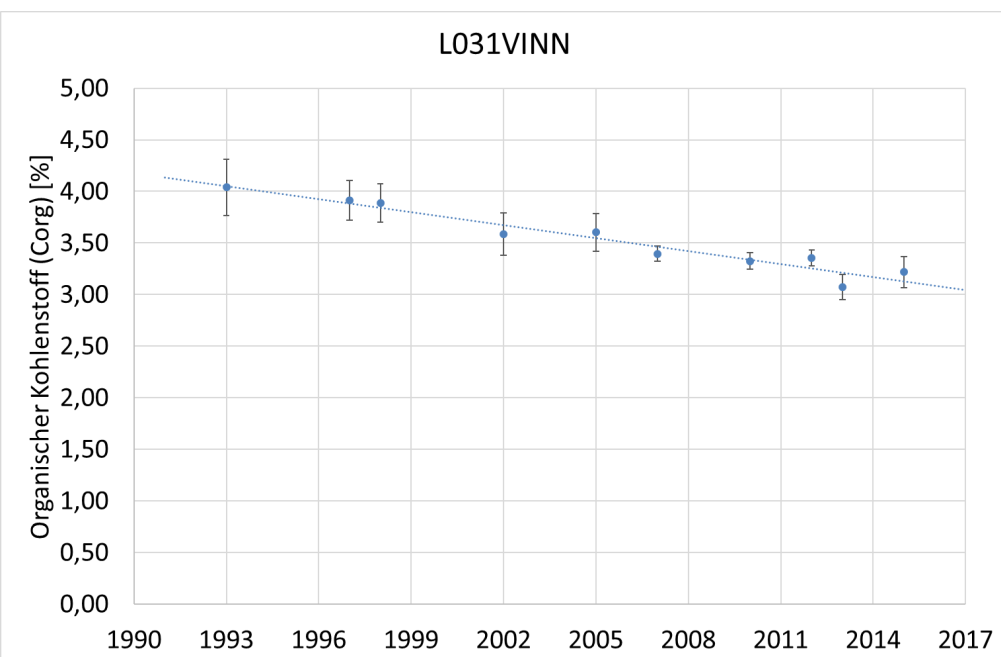
Lagerungsdichte abgesetzter sandiger Ap-Horizonte in Abhängigkeit des C_{org} -Gehaltes



Springob et al. (2001)

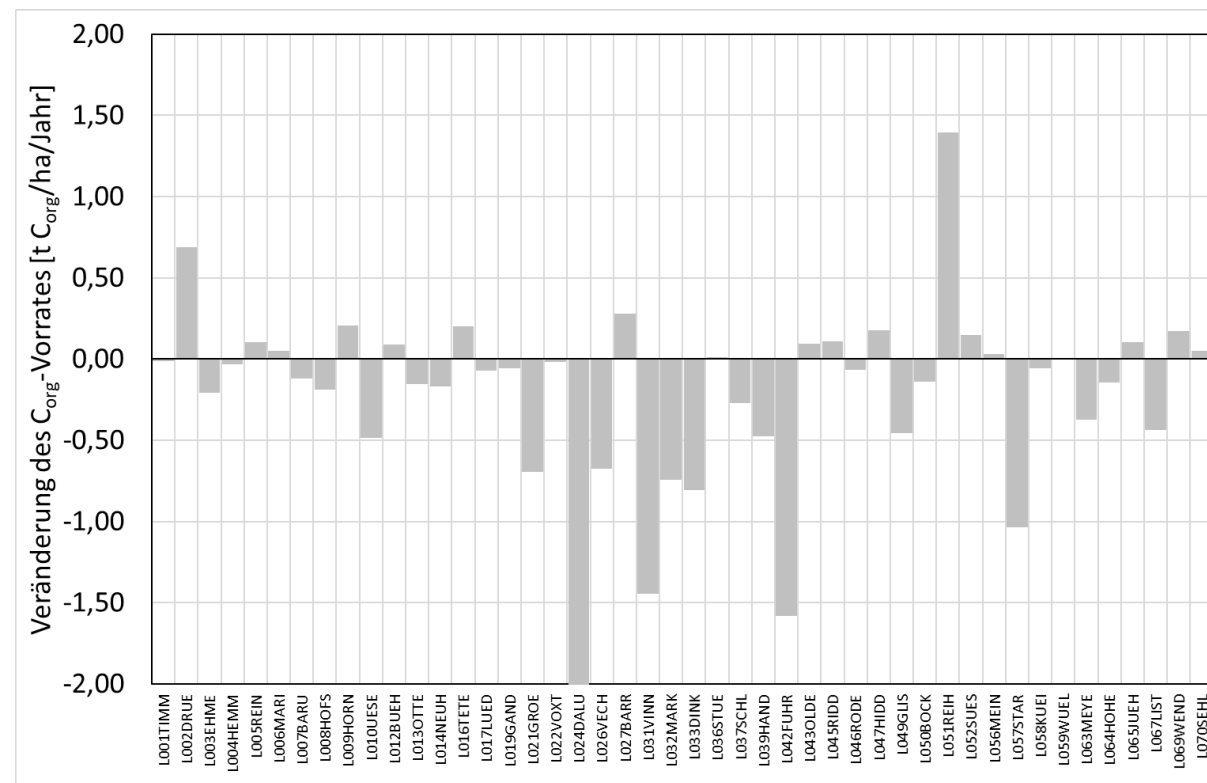


Zeitliche Entwicklung der Gehalte an einem Standort



Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden am Standort Vinnhorst (L031VINN). Mittelwert und Standardabweichung für 4 Kernflächen

Veränderung über alle Acker-Standorte

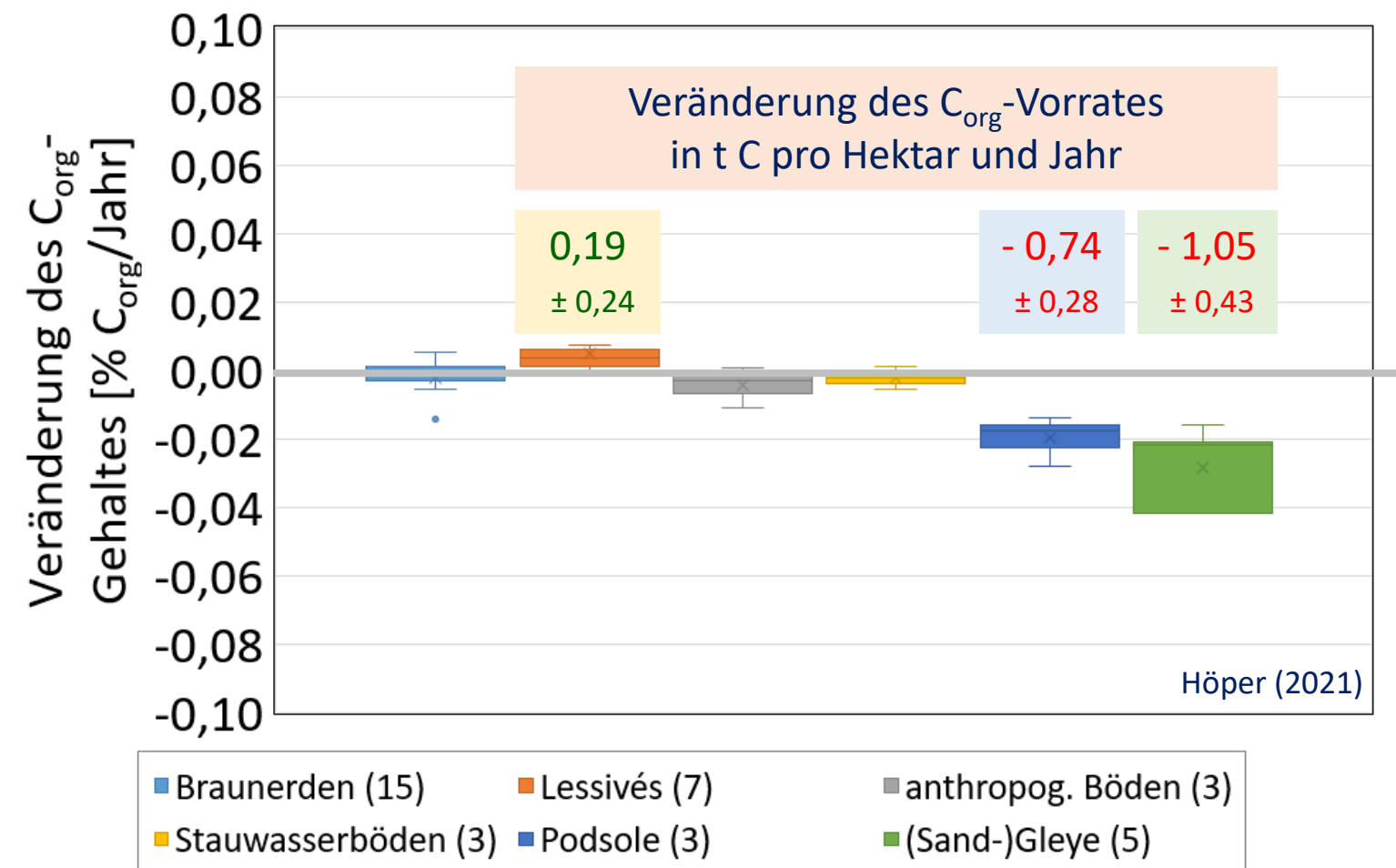


Mittlere jährliche Veränderung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff im Oberboden der ackerbaulich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen zwischen dem Jahr der Flächeneinrichtung und 2012-2015 (Höper 2021).



Organischer Kohlenstoff im Oberboden

Veränderungen des C_{org}-Gehaltes in der Krume von Ackerböden nach **Bodenklasse**



Kastendiagramm:
 Kasten: Median und Quartile
 Kreuz: Mittelwert)
 Antennen: Maxima und Minima ohne Ausreißer
 Einzelpunkte: Ausreißer

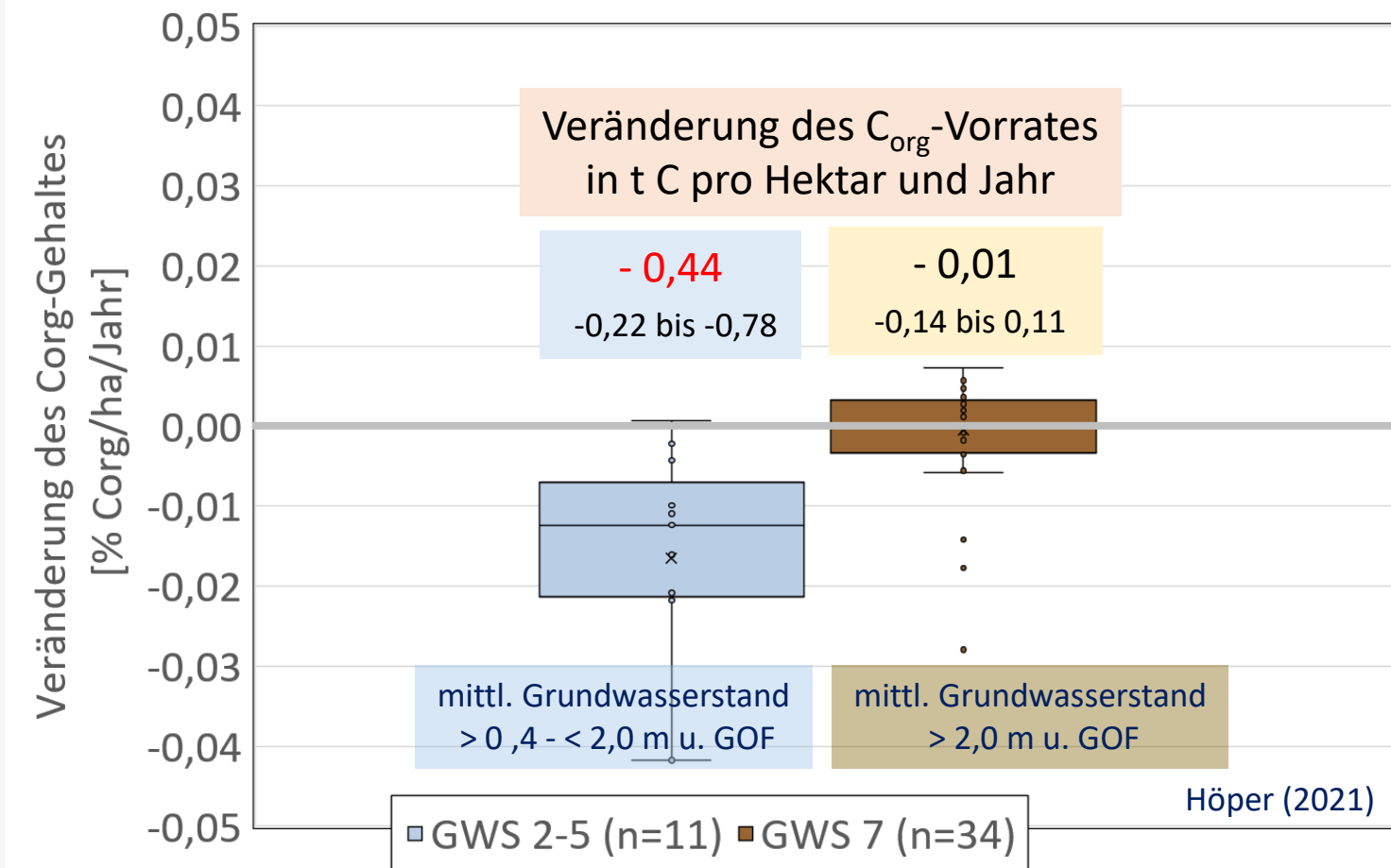
Bodenklassen mit mindestens 3 Standorten

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Organischer Kohlenstoff im Oberboden

Veränderungen des C_{org}-Gehaltes in der Krume von Ackerböden nach Grundwasserstufe



Vorherrschende Höhe des Grundwasserstandes [dm u. GOF]			Grundwasserstufe	
mittlerer Grundwasserhochstand (MHGW)	mittlerer Grundwasserstand (MGW)	mittlerer Grundwassertiefstand (MNGW)	Bezeichnung	Kurzzeichen
über Geländeoberfläche	≤ 2	≤ 4	sehr flach	GWS 1
< 2, oft über Geländeoberfläche	> 2– 4	> 4– 8	flach	GWS 2
< 4, gelegentlich über Geländeoberfläche	> 4– 8	> 8– 13	mittel	GWS 3
> 4– 8	> 8–13	> 13– 16	tief	GWS 4
> 8–16	> 13–20	> 16–> 20	sehr tief	GWS 5
>16–20	> 20	> 20	äußerst tief	GWS 6
> 20	> 20	> 20	–	GWS 7

Bug et al. (2011)

Kastendiagramm:

Kasten: Median und Quartile

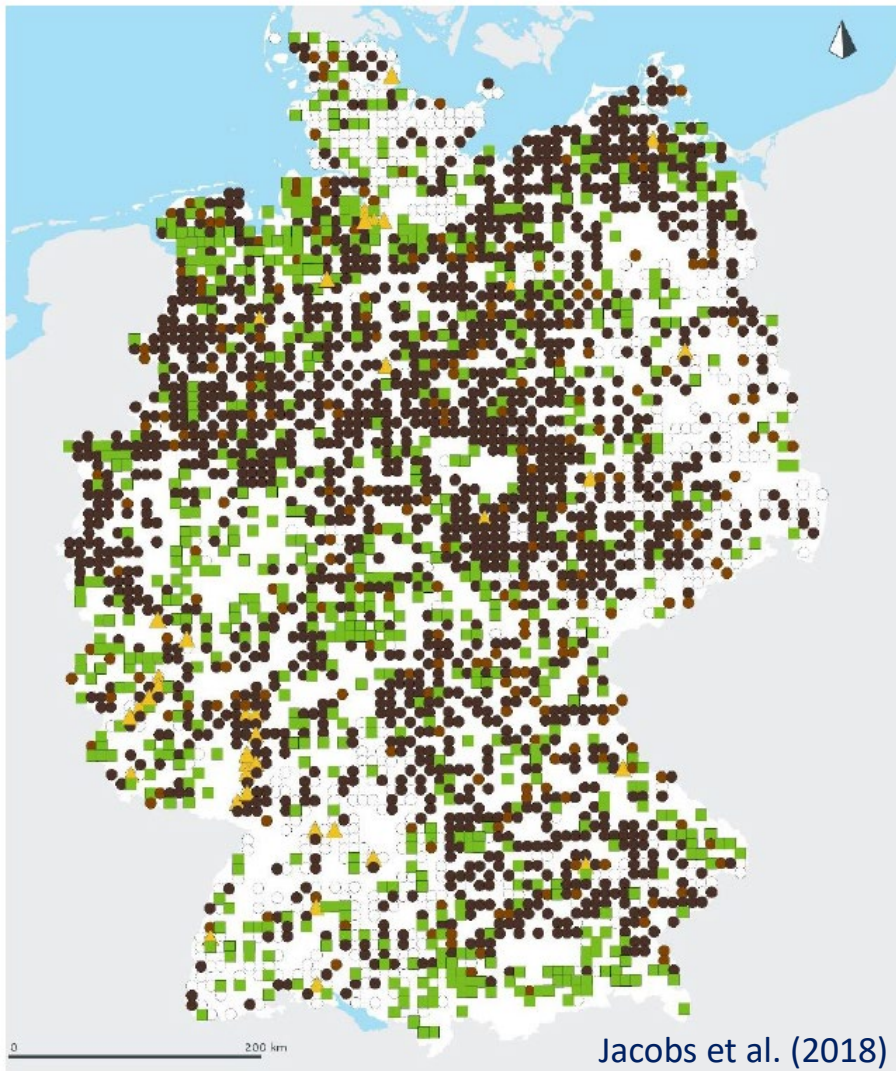
Kreuz: Mittelwert)

Antennen: Maxima und Minima ohne Ausreißer

Einzelpunkte: Ausreißer



Bodenzustandserhebung Landwirtschaft – Methodik und Beprobungspunkte



Rasterbeprobung:
Beprobungspunkte im 8 x 8 km Raster
(n = 3104)
Dav. Acker

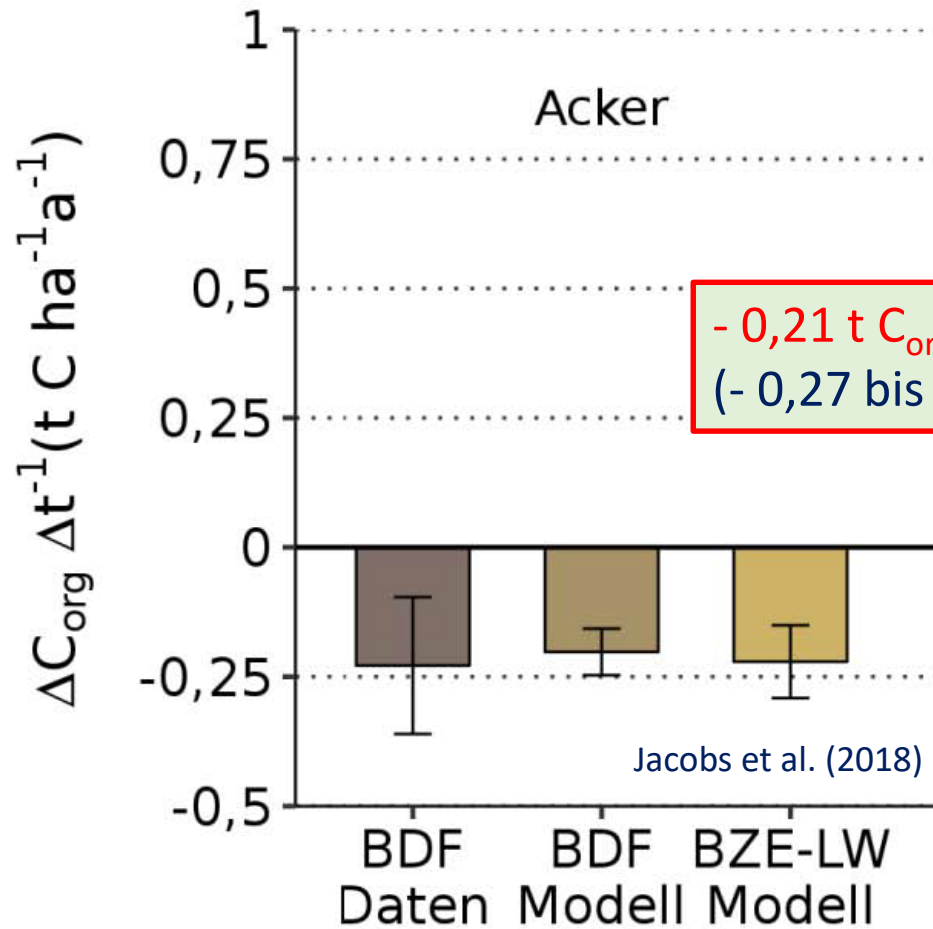
Landnutzung

- Acker
- Grünlandwechselwirtschaft
- Dauergrünland
- ▲ Sonderkultur
- beprobt, Nutzungsart noch nicht bekannt

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Mittlere jährliche Änderung des Corg-Vorrates in der Krume von Ackerstandorten Mess- und Modellwerte aus den Bodendauerbeobachtungsprogrammen der Länder Modellwerte für die BZE-Landwirtschaft



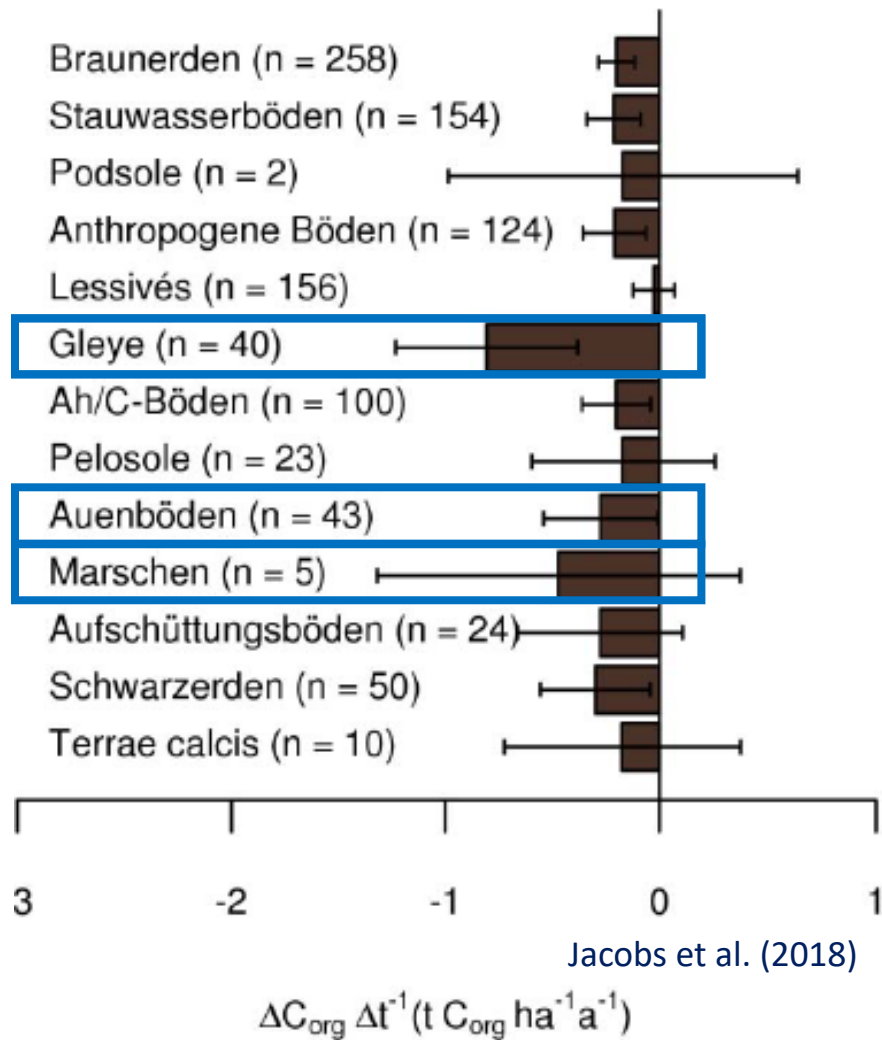
- 0,21 t C_{org} $ha^{-1} a^{-1}$ über 10 Jahre (BZE-LW)
(- 0,27 bis - 0,18 t C_{org} $ha^{-1} a^{-1}$) 95 % Konfidenzintervall

Mittlere jährliche Änderung des Vorrates an organischem Kohlenstoff (Corg) im Oberboden von Ackerstandorten als Messwert und Modellergebnis für Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) und Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) der Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein Westfalen, Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg, normiert auf eine Tiefe von 0-25 cm (Acker); die jährliche Änderung bezieht sich auf 15 (BDF) bzw. 10 (BZE-LW) Jahre; Fehlerbalken kennzeichnen das 95 % Konfidenzintervall

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Mittlere jährliche Änderung des C_{org}-Vorrates in der Krume von Ackerstandorten nach Bodenklasse



Stärkere Abnahmen bei grundwassergeprägten Böden, v.a. Gleye und Marschen

Modellierte Raten der Änderung des Vorrates an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Oberboden (0-30 cm) von Ackerstandorten stratifiziert nach Bodenklassen der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5; Ad-hoc-AG Boden 2005) für Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft für einen Modellierungszeitraum von 10 Jahren; Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall



Zwischenfazit

- Ackerböden verlieren derzeit in der Ackerkrume jährlich im Mittel etwa 0,2 t/ha organischen Kohlenstoff
- Besonders betroffen sind (ehemals) hydromorphe Standorte (Gleye, Marschen) mit jährlichen Verlusten zwischen 0,4 und 1,0 t C_{org} /ha im Mittel der Bodenklassen. Dies könnte auf Grundwasserabsenkungen und/oder zunehmende Sommertrockenheit als Folge des Klimawandels zurückzuführen sein.
- **Möglichkeiten und Grenzen des Carbon Farmings in Deutschland müssen vor dem Hintergrund dieser großräumigen Entwicklungen gesehen werden.**

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Maßnahmen zur Humusanreicherung in Böden - Übersicht

- Organische Düngung
- Zwischenfruchtanbau
- Konservierende Bodenbearbeitung
- Krumenvertiefung, Tiefpflügen

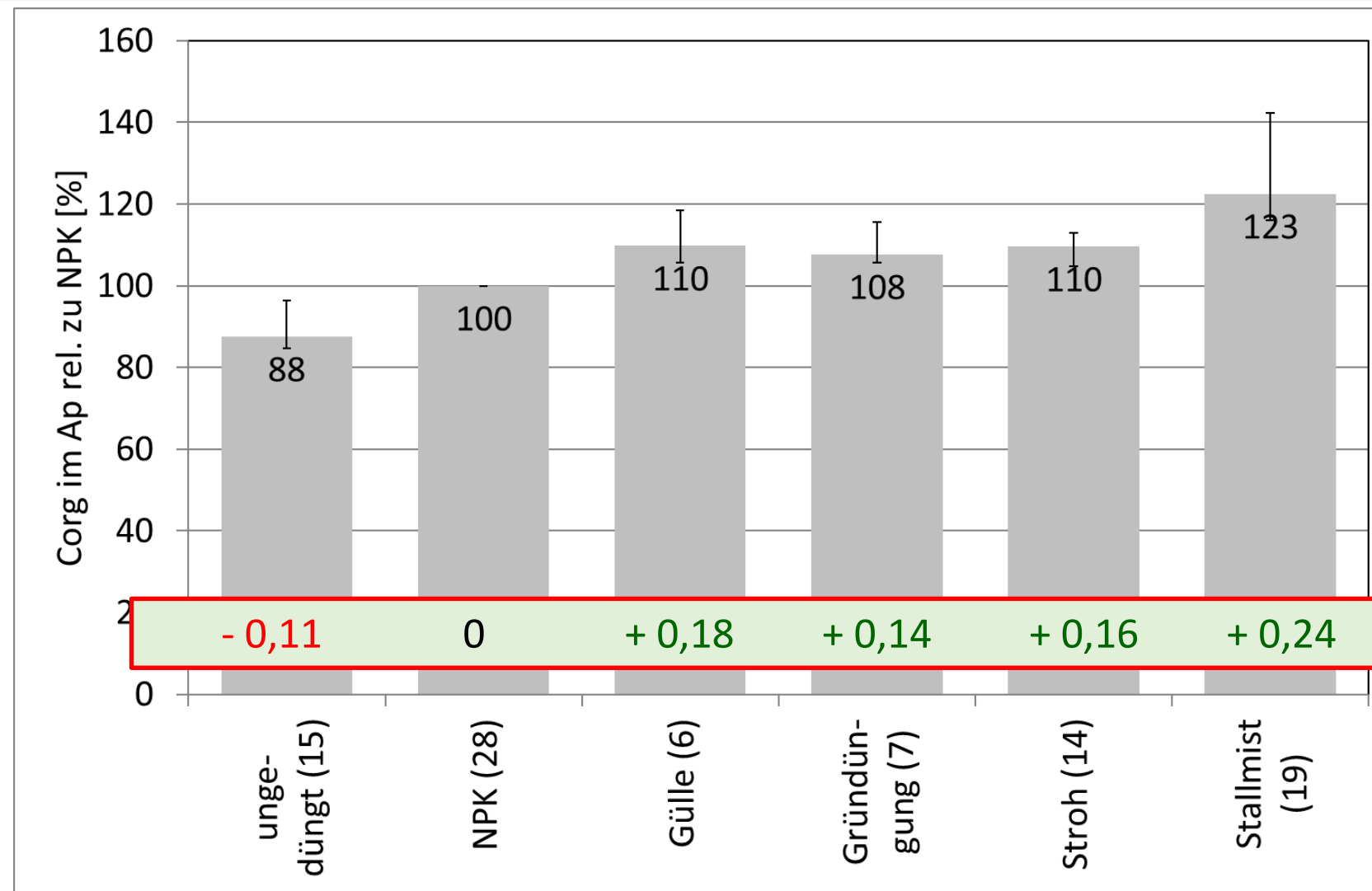
nicht betrachtet:

- Dauerkulturen / mehrjährige Kulturen / Agroforst
- Umwandlung von Ackerland in Grünland (oder Forst?)
- Zufuhr von Biokohle

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Organische Düngung (Dauerfeldversuche) (Literaturlauswertung)



Dauer (min. 10 Jahre):

Gülle: 13 – 44 Jahre

Gründüngung: 17 - 72 Jahre

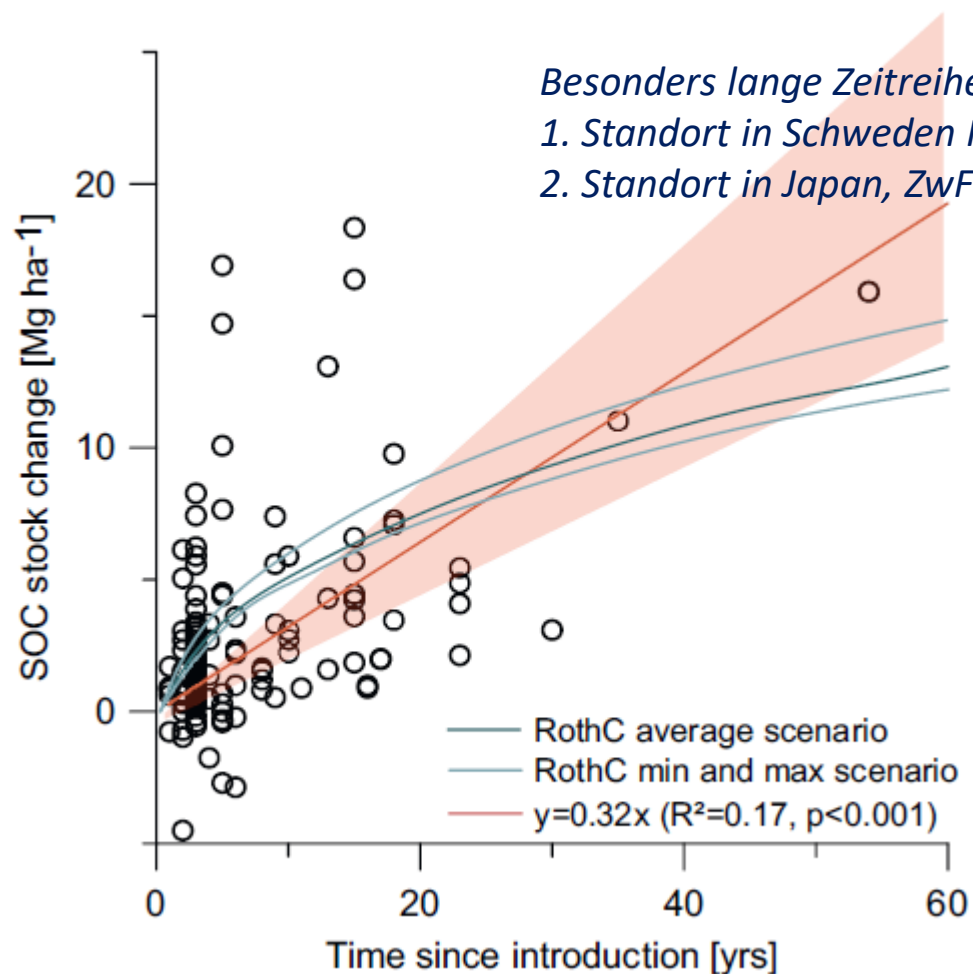
Stallmist: 18 – 92 Jahre

Höper & Schäfer (2012), modifiziert

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Anbau von Zwischenfrüchten (Literaturlauswertung aus 37 Feldstudien)



Poeplau & Don (2015)

Prognostizierte

mittlere maximale Erhöhung:

16,7 t C_{org}/ha

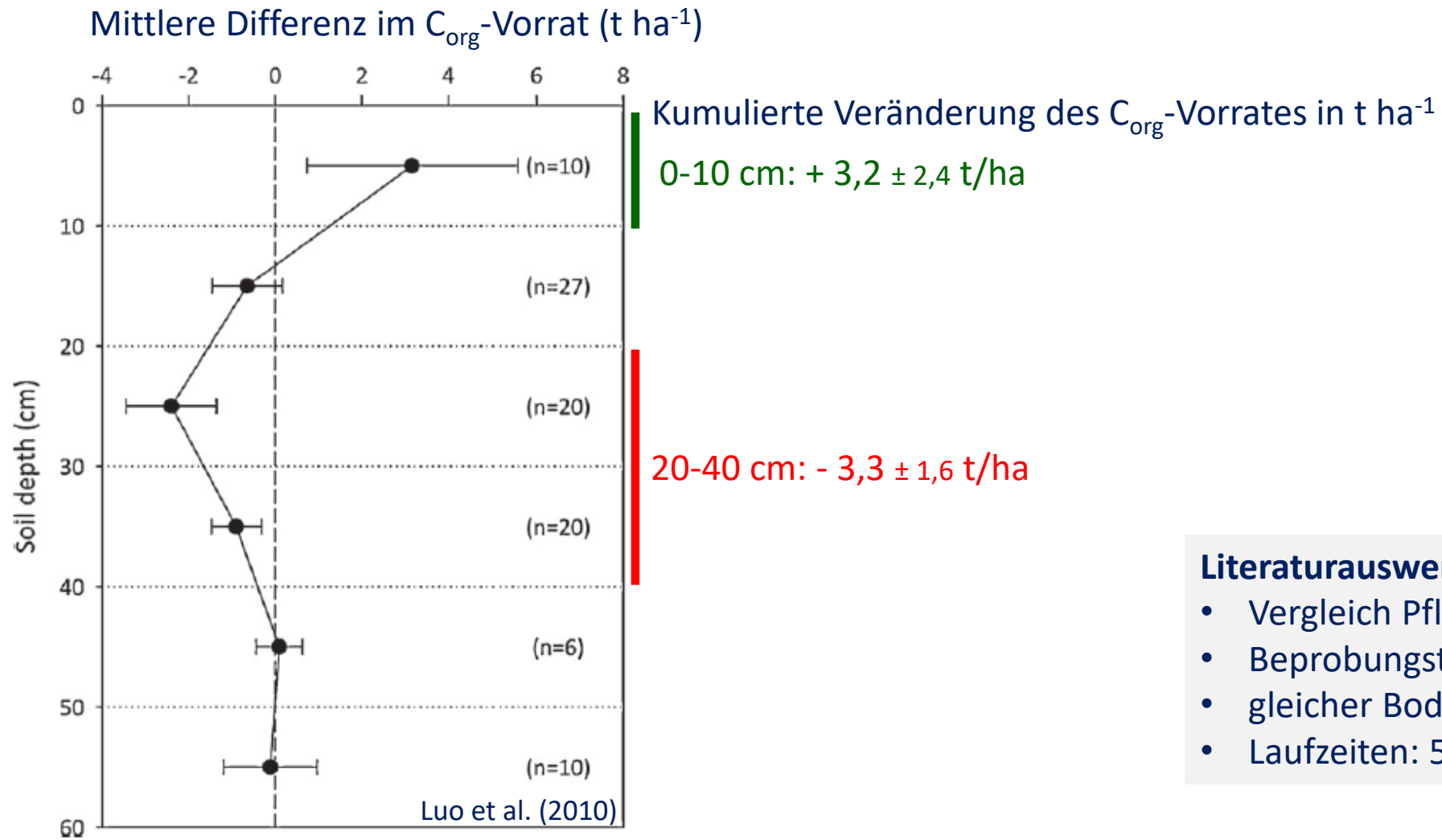
jedoch hohe Variation!

Jährlich (linear): + 0,32 t C_{org}/ha/Jahr

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Konservierende Bodenbearbeitung - Direktsaat (Literaturlauswertung 69 Paarversuche, weltweit)



Literaturlauswertung

- Vergleich Pflug vs. Direktsaat
- Beprobungstiefe min. 40 cm
- gleicher Bodentyp
- Laufzeiten: 5-41 Jahre

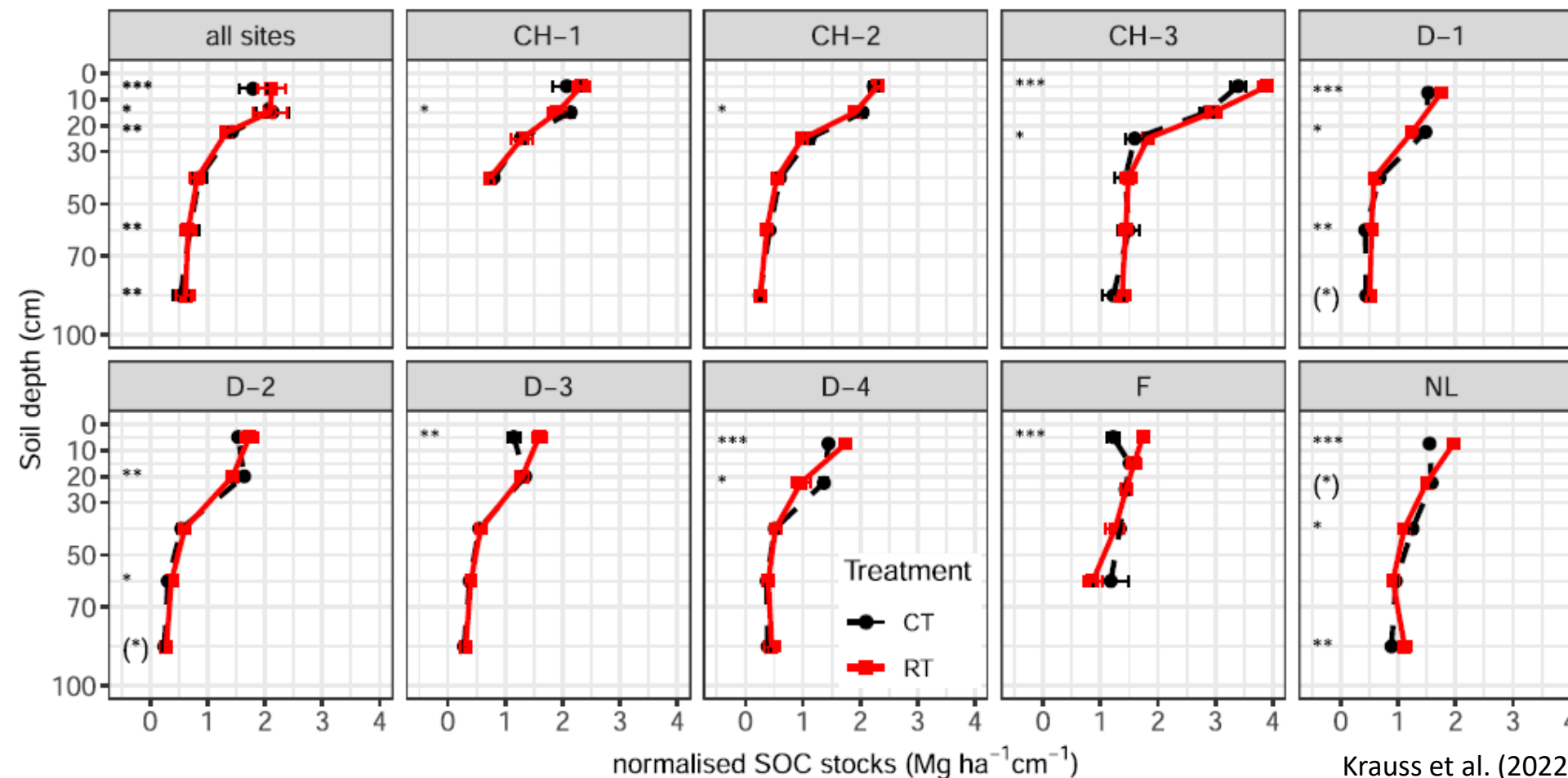
Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau:

Ökolandbau mit/ohne wendende Bodenbearbeitung, Feldversuche Mitteleuropa

Literaturlauswertung (8-21 Jahre)



Tiefe (cm)	Vorrat (t C/ha)
0 - 30	+2,0 bis +2,4
30 - 70	-1,0 bis -1,2
70 - 100	+1,8 bis +2,5
Σ 0 - 70	+1,3 bis +1,8

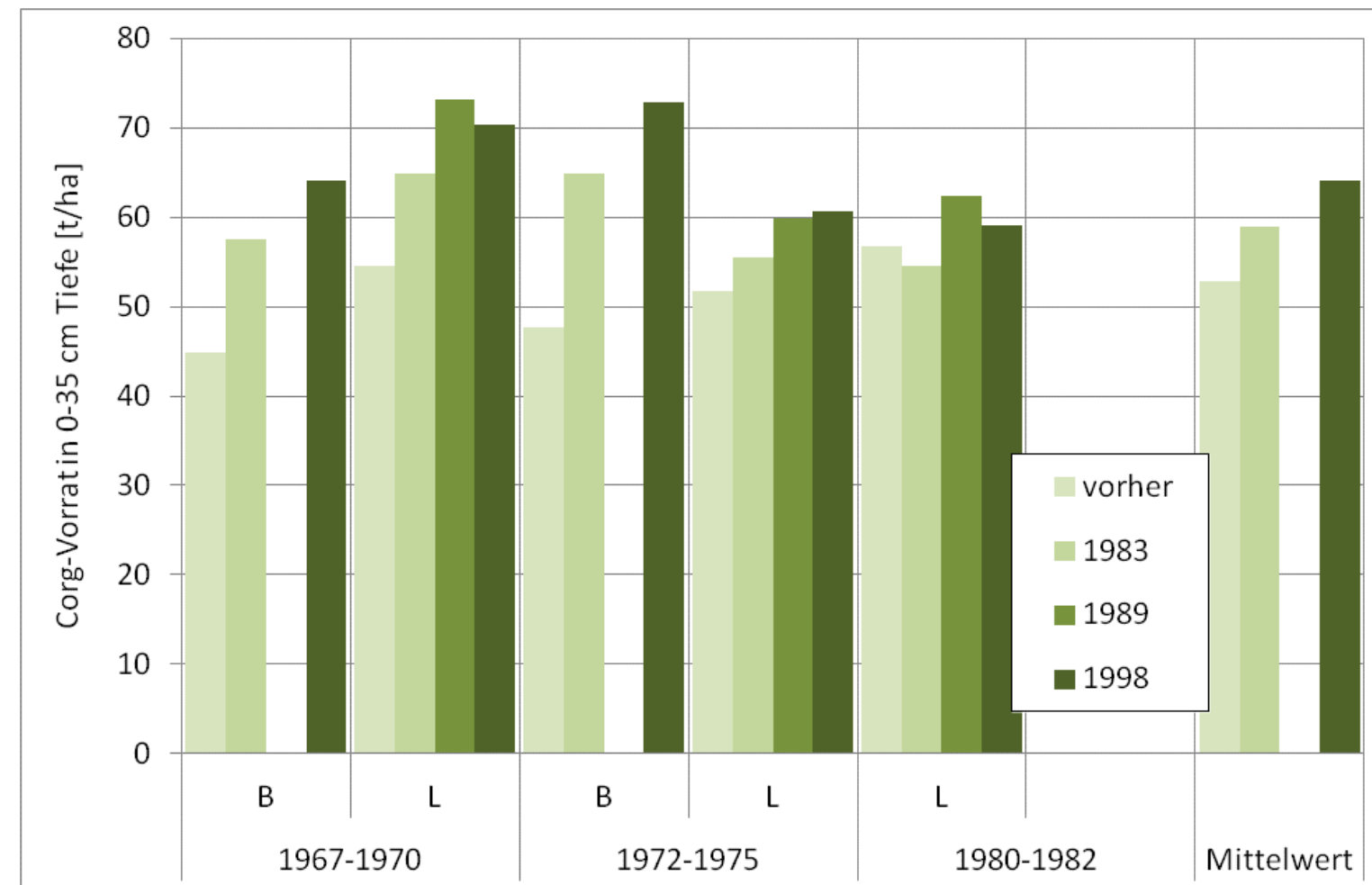
Jährlich:
 0 – 30 cm:
 0,16 bis 0,18 t C/ha/Jahr
 0 – 70 cm:
 0,05 bis 0,09 t C/ha/Jahr

Krauss et al. (2022)

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Krumenvertiefung von ca. 27 auf 35 cm Tiefe (Feldstudie mit 120 Standorten)



Braunerden (15)
 +19 bis +25 t C/ha
jährlich:
 +0,6 bis +1,0 t C/ha/Jahr

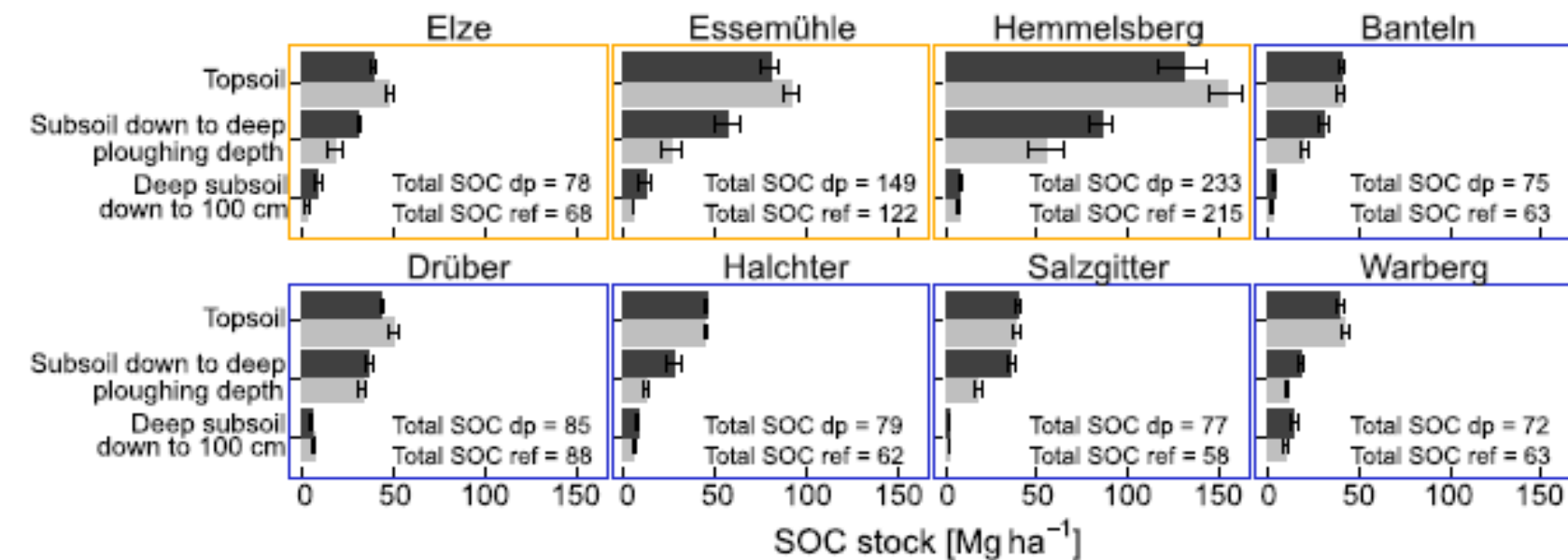
Parabraunerden (105)
 +2,4 bis +16 t C/ha
jährlich
 +0,1 bis +0,5 t C/ha/Jahr

3 Phasen der Krumenvertiefung, Bodentypen **Braunerden (B)** und **Parabraunerden (L)**

Nieder & Richter (2000)
 n=120, Südostniedersachsen



Tiefpflügen 55 - 90 cm tief, (8 Langzeitversuche mit Referenzparzellen)



Sandige Braunerden (3)

(pH 4,8-5,3)

+18,3 ± 8,5 t C/ha

+ 0,4 t C/ha/Jahr (± 0,2)

Parabraunerden (5)

(pH 6,0-6,9)

+10,8 ± 8,7 t C/ha

+ 0,2 t C/ha/Jahr (± 0,2)

Figure 2. SOC stocks at different soil depth increments in deep-ploughed and reference plots. Bars represent average SOC stocks in soil cores (n = 5), whiskers show standard error. Subsoil and buried topsoil stripes were not sampled separately. Total SOC stock sums for forest sites include forest floor.

Alcantara et al. (2017)

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Maßnahmen	Anzahl Standorte (Region)	Zeitraum (Jahre)	Jährliche C _{org} -Vorratsänderung* (t C _{org} je Hektar und Jahr)
Organische Düngung, - Stallmist - (Gülle)	(Deutschl., Nordeuropa) 19	18 – 92	+ 0,2
	6	6 - 44	+ 0,2
Zwischenfrüchte	37 (weltweit)	1 – 54	+ 0,3
Konservierende Bodenbe- arbeitung im Ökolandbau	10 (Mitteleuropa)	8 – 21	+ 0,2 (0 – 30 cm)
			+ 0,1 (0 – 70 cm)
Konservierende Bodenbearbeitung	69 (weltweit)	5 - 41	0,0
Eingriffe in das Bodenprofil (Zulässigkeit nach BBodSchV?)			
Krumenvertiefung (27 auf 35 cm)	120 (Niedersachsen)	17 – 30	+ 0,1 bis + 0,5 (Parabraunerden)
		25 – 30	+ 0,6 bis + 1,0 (Braunerden)
Tiefpflügen (55 – 90 cm tief)	8 (Mitteleuropa)	36 – 48	+ 0,2 (Parabraunerden)
			+ 0,4 (Braunerden)

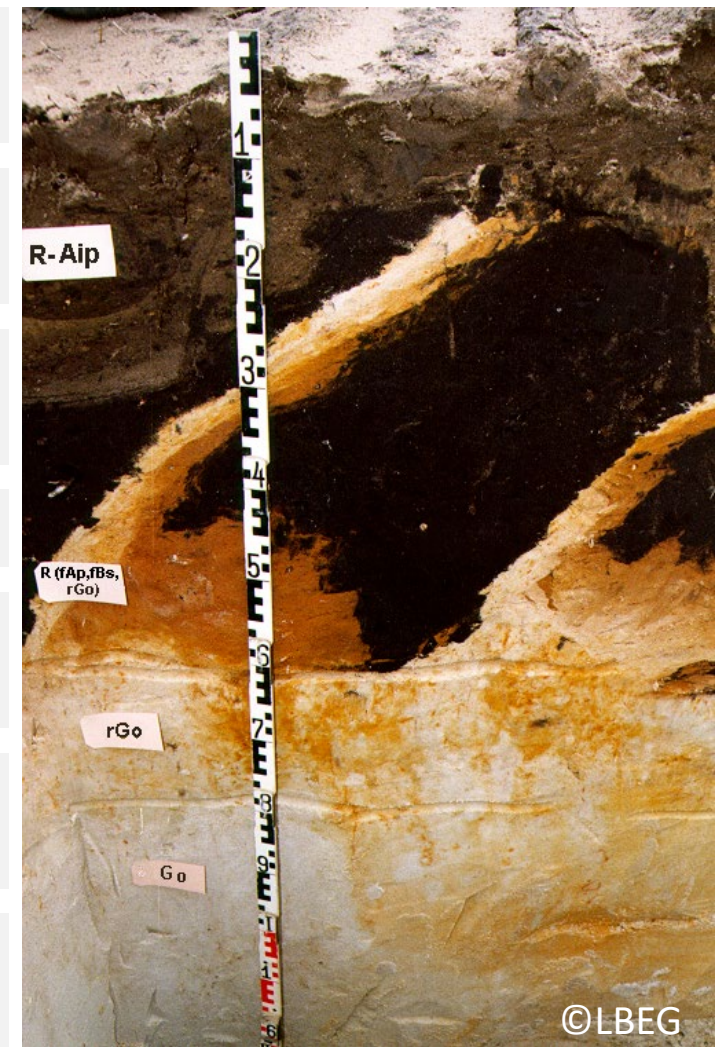
*gerundet auf eine Nachkommastelle

Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Schlussfolgerungen

- Der Kohlenstoffvorrat kann v.a. durch organische Düngung (v.a. Mist, Kompost), Zwischenfruchtanbau oder Krumenvertiefung erhöht werden. Offen ist, wie lange das möglich ist.
- Die Wirtschaftsweise muss langfristig beibehalten werden, um den höheren Kohlenstoffvorrat mindestens zu erhalten, v.a. bei organischer Düngung und Zwischenfrüchten.
- Die bewirtschaftungsbedingte Erhöhung des C-Vorrates findet vor einer allgemeinen Tendenz zur Abnahme der C-Vorräte statt.
- Maßnahmen des Humusmanagements können diesen negativen Trend ausgleichen.
- Bei CO₂-Zertifikaten für Carbon Farming muss (möglicherweise) die Wirksamkeit durch Bodenanalysen bestätigt werden.
- Infolge geringer Raten ist ein systematisches und langfristiges Monitoring (> 10 Jahre) erforderlich, um Vorratsänderungen belegen zu können.
- Es ist nicht auszuschließen, dass die Wirksamkeit des Carbon Farmings infolge übergeordneter Effekte nicht nachzuweisen ist.



Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!!

Literatur:

Alcantara et al. (2017) doi: [10.1038/s41598-017-05501-y](https://doi.org/10.1038/s41598-017-05501-y)

Bug et al. (2011) doi: [10.48476/geober_19_2020](https://doi.org/10.48476/geober_19_2020)

Höper (2021) doi: [10.48476/geober_39_2021](https://doi.org/10.48476/geober_39_2021)

Höper & Schäfer (2012) doi: [10.37307/j.1868-7741.2012.03.03](https://doi.org/10.37307/j.1868-7741.2012.03.03)

Jacobs et al. (2018) doi: [10.3220/REP1542818391000](https://doi.org/10.3220/REP1542818391000)

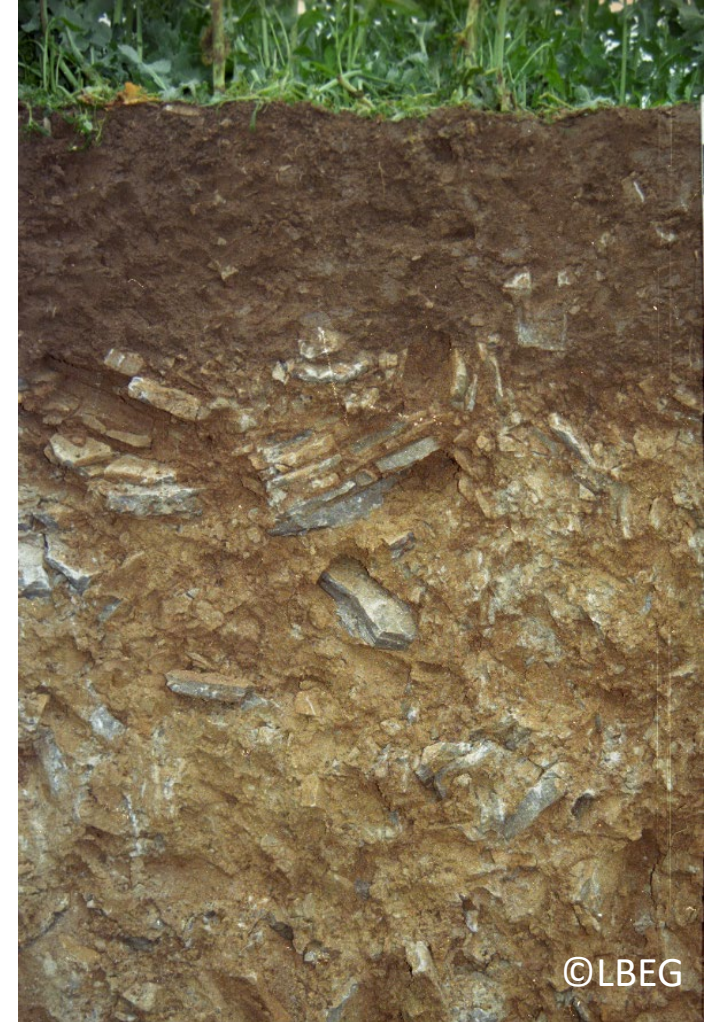
Krauss et al. (2022) doi: [10.1016/j.still.2021.105262](https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105262)

Luo et al. (2010) doi: [10.1016/j.agee.2010.08.006](https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006)

Nieder & Richter (2000), doi: [10.1002/\(SICI\)1522-2624\(200002\)163:1<65::AID-JPLN65>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2624(200002)163:1<65::AID-JPLN65>3.0.CO;2-I)

Poeplau & Don (2015) doi: [10.1016/j.agee.2014.10.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024)

Springob et al. (2001) doi: [10.1002/1522-2624\(200112\)164:6<681::AID-JPLN681>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200112)164:6<681::AID-JPLN681>3.0.CO;2-V)



Carbon Farming - Hype oder Hope? 27. Oktober 2023, Burg Warberg

©LBEG

