

Klimaneutrale Landwirtschaft – ist das möglich?

Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf

16. Januar 2020

Universität Hohenheim (Euroforum)

AK Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat



- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**

Was bedeutet „klimaneutral“?



Klimaneutralität ist dann erreicht, wenn sich der Gehalt an Treibhausgasen (THG) in der Atmosphäre nicht weiter erhöht und damit die Temperaturen nicht weiter ansteigen.

Paris-Übereinkommen (2015): Temperaturanstieg max 1,5-2°C

Dazu erforderliche Reduktionen (IPCC 2018 SR 1.5):

- Kohlendioxid (CO₂): Verbleibendes Budget etwa 600 Gt ab 2018
- Methan: (CH₄): - 50 % bis 2050 und - 60 % bis 2100
- Lachgas (N₂O): - 25 % bis 2050 und – 35 % bis 2100



- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**

Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft



	Mio t CO ₂ e* 2017	%
Gesamt (alle Sektoren)	906,6	100%
CRF** Sektor Landwirtschaft	66,3	7,3%
darunter Methan	31,8	3,5 %
Lachgas	29,5	3,2 %
CRF Sektor LULUCF***, Anteil Landwirtschaft	37,7	4,2 %
Betriebsmittel (nach Osterburg et al. 2013)	27,5	3 %
SUMME Landwirtschaft	132	14,5 %

*CO₂e = CO₂-Äquivalente

1 kg CH₄ = 25 kg CO₂e

1 kg N₂O = 298 kg CO₂e

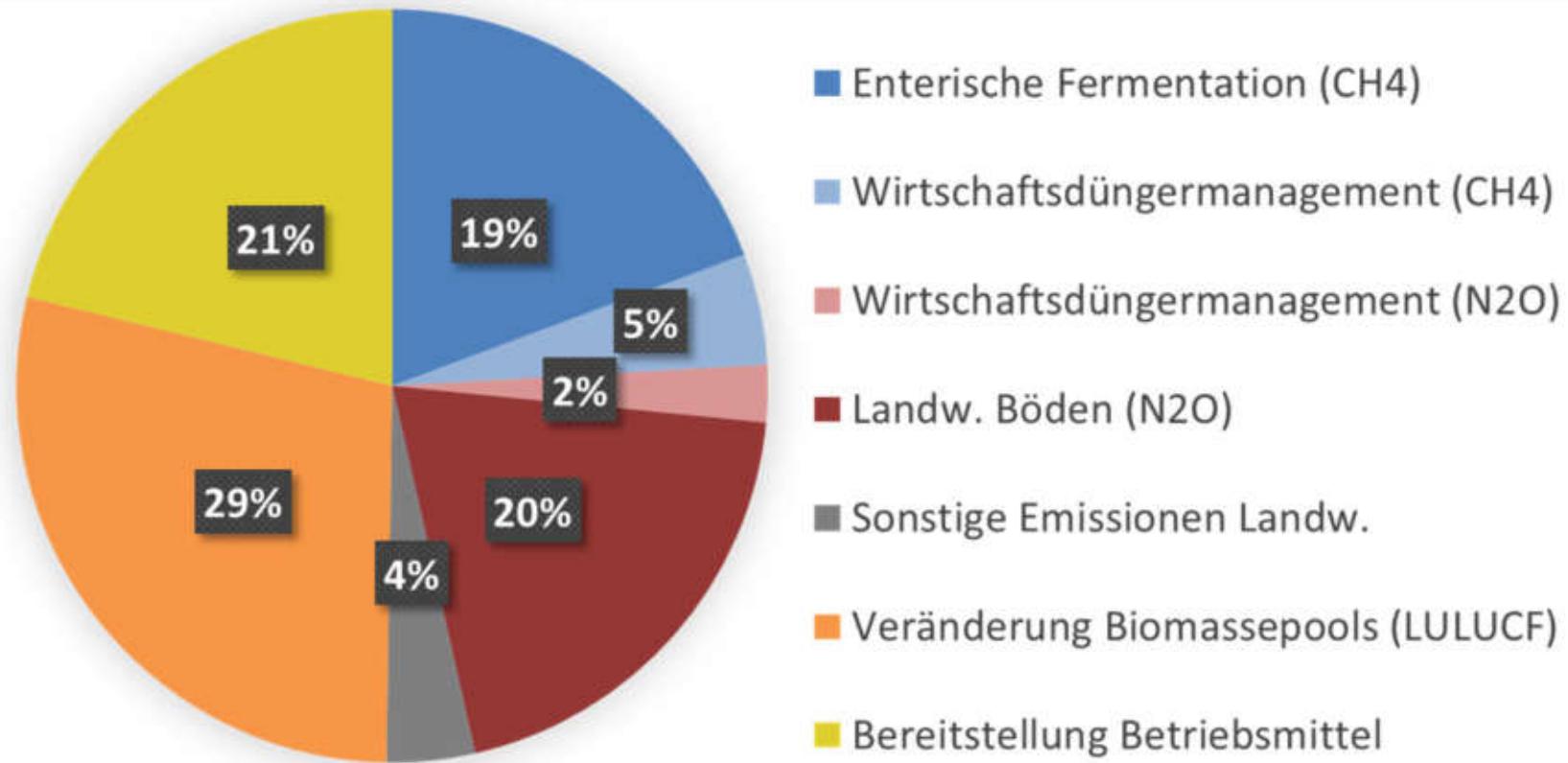
** CRF: *Common reporting format*: Standardisiertes Berichtsformat für nationale Emissionsberichte

*** LULUCF = Land use, land use change and forestry

Eigene Darstellung basierend auf Umweltbundesamt 2019: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. Climate Change 23/2019.

Betriebsmittel: Osterburg, B. et al. (2013): Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 13. Tab. 3.5.

Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft



Eigene Darstellung basierend auf: Eigene Darstellung basierend auf Umweltbundesamt 2019: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. Climate Change 23/2019. S. 68

Veränderung der organischen Bodensubstanz



LULUCF, Anteil landwirtschaftlich genutzte Böden

		Ackerland	Grünland	Gesamt
Flächenanteile				
Mineralboden	%	96,9%	81,7%	93%
organischer Böden	%	3,1%	18,3%	7%
Emissionen je ha				
Mineralboden	t CO ₂ e/ha	0,272	-0,43	
Organischer Boden	t CO ₂ e/ha	30,3	25,6	
Gesamtemissionen				
Mineralboden	kt CO ₂ e	3.263	-1.755	1.508
Organischer Boden	kt CO ₂ e	11.635	23.600	35.234
Gesamtemissionen				
Mineralböden	Anteil	22%	-8%	4%
Organische Böden	Anteil	77%	105%	96%

Eigene Darstellung basierend auf Umweltbundesamt 2019: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. Climate Change 23/2019. Tabellen 386, 359, 415, 424.



CO₂-Fußabdruck: Beispiel

Betriebsmittel	Einheit	Wert**	kg CO ₂ e/Einheit*	kg CO ₂ e/ha	1 ha
Diesel	kg/ha	61,5	3,02	186	
N	kg/ha	156	9,46	1.473	Brotweizen
P ₂ O ₅	kg/ha	60	1,72	103	konventionell,
K ₂ O	kg/ha	45	0,458	21	pfluglos
Kalk (kohlensau&kg/ha		400	0,146	58	
Pflanzenschutz	kg Wirkstoff/ha	0,8247	11,09	9	
Summe				1.850	
N ₂ O-Emissionen		Emissionsfaktor	Bezugsgröße	kg CO ₂ e/ha***	
		kg N ₂ O/kg N	kg N/ha		
N ₂ O direkt		0,017	156	796	
N ₂ O indirekt (NH ₃ -Ausgasung)		0,000120	156	6	
N ₂ O aus Ernterückständen		0,017	23,5	120	
N ₂ O aus Deposition		0,017	20,0	102	
N ₂ O indirekt (NO ₃ -Auswaschung)		0,003744	199,5	223	
Summe				1.247	
Veränderung Boden-C****		kg CO ₂ e/kg C	kg C	kg CO ₂ e/ha	
Weizenanbau		3,67	-400,0	-1.468	
Strohverbleib		3,67	420,0	1.541	
Summe C _{org} -Veränderung				73	
GESAMT				3.171	

*KTBL 2016: Berechnungsstandards für einzelbetriebliche Klimabilanzen in der Landwirtschaft (BEK). Online-Anwendung, www.ktbl.de

** LEL Kalkulationsdaten Marktfrüchte; Dieselbedarf der Arbeitsgänge: Ktbl Daten für die Betriebsplanung 2010

*** 298 kg CO₂e/kg N₂O; ****: Schätzwerte nach VDLUFA



- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**

Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

Maßnahme	t C _{org} /ha*a	Quelle
SUMME		

Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

Maßnahme	t C _{org} /ha*a	Quelle
Zwischenfruchtanbau	0,320	Jacobs et al. 2018, S. 195 Poeplau & Don 2015
SUMME		

C-Sequestrierung durch Zwischenfruchtanbau

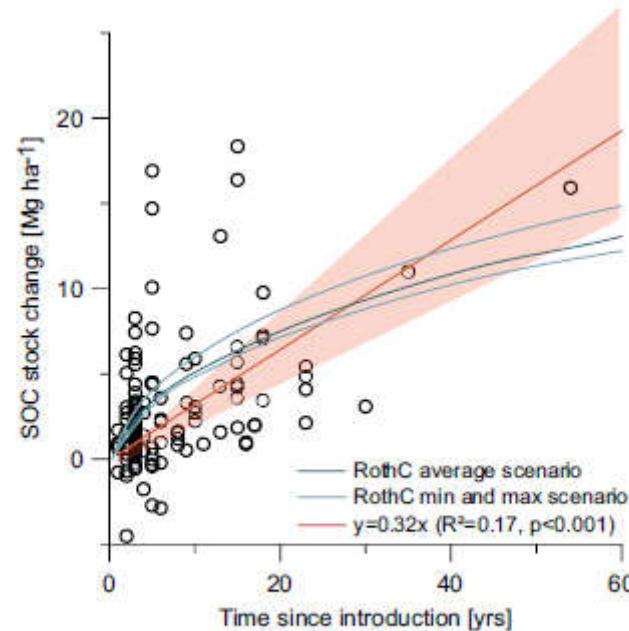
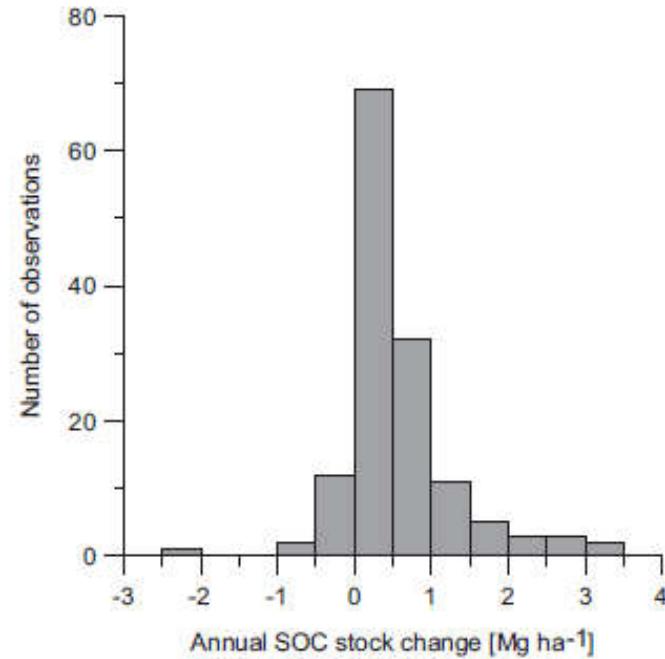


Fig. 2. SOC stock change after cover crop introduction as a function of time with linear regression (with 95% confidence interval) and the RothC simulated average cropland (with min and max scenario).

Mittelwert $0,320 \pm 0,08 \text{ Mg a}^{-1}$; $R^2=17$;

Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

Maßnahme	t C _{org} /ha*a	Quelle
Zwischenfruchtanbau	0,320	Jacobs et al. 2018, S. 195 Poeplau & Don 2015
Organische Düngung (hier: Stallmist)	0,160	Jacobs et al. 2018; Carlgren & Mattsson 2001, Körschens et al. 2013
SUMME		

Maximale organische Düngung vs. Potentiale



	Mittel	Hoch
Aufbau stabiler C-Pool [t C _{org} * Jahr]	0,16	1
Fertigkompost-Zufuhr ¹ [t/ha*Jahr]	3	17
Mio t Bedarf ²	34	213

Bioabfallanlieferung 2017: 15,6 Mio t³⁾

Daraus hergestellt⁴⁾:

- 4,4 Mio t Kompost
- 3,6 Mio t Gärreste

1) Faustzahl, basierend 58 kg HÄ/t (VDLUFA);
gerundet; vgl. auch Regressionsgleichung Jacobs
et al. 2018, S 186.,
Abb. 3-45 c

2) Bezogen auf 12,38 Mio ha Ackerfläche in
Deutschland

3) Statistische Bundesamt 2018;

4) UBA 2019c

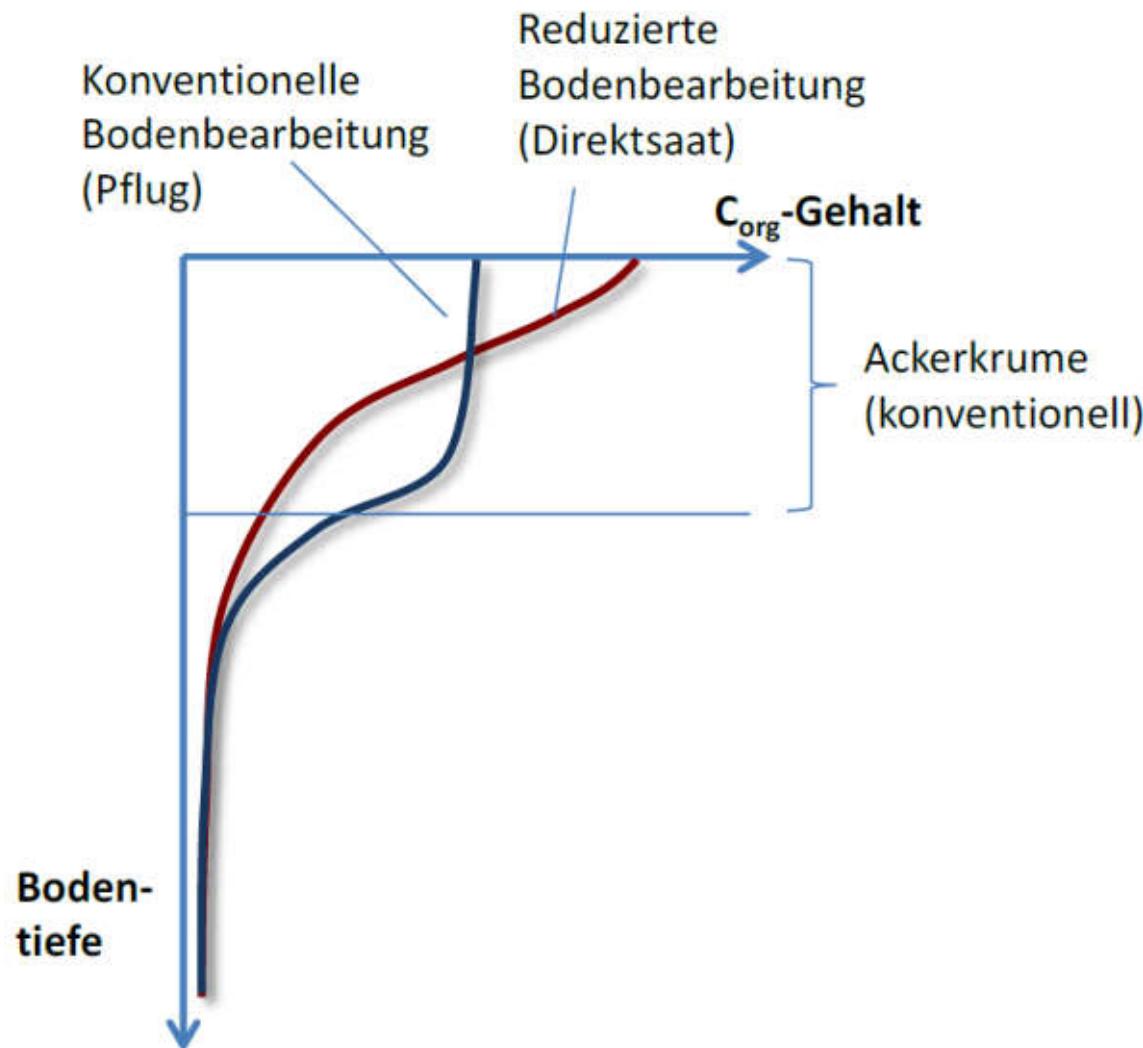
Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

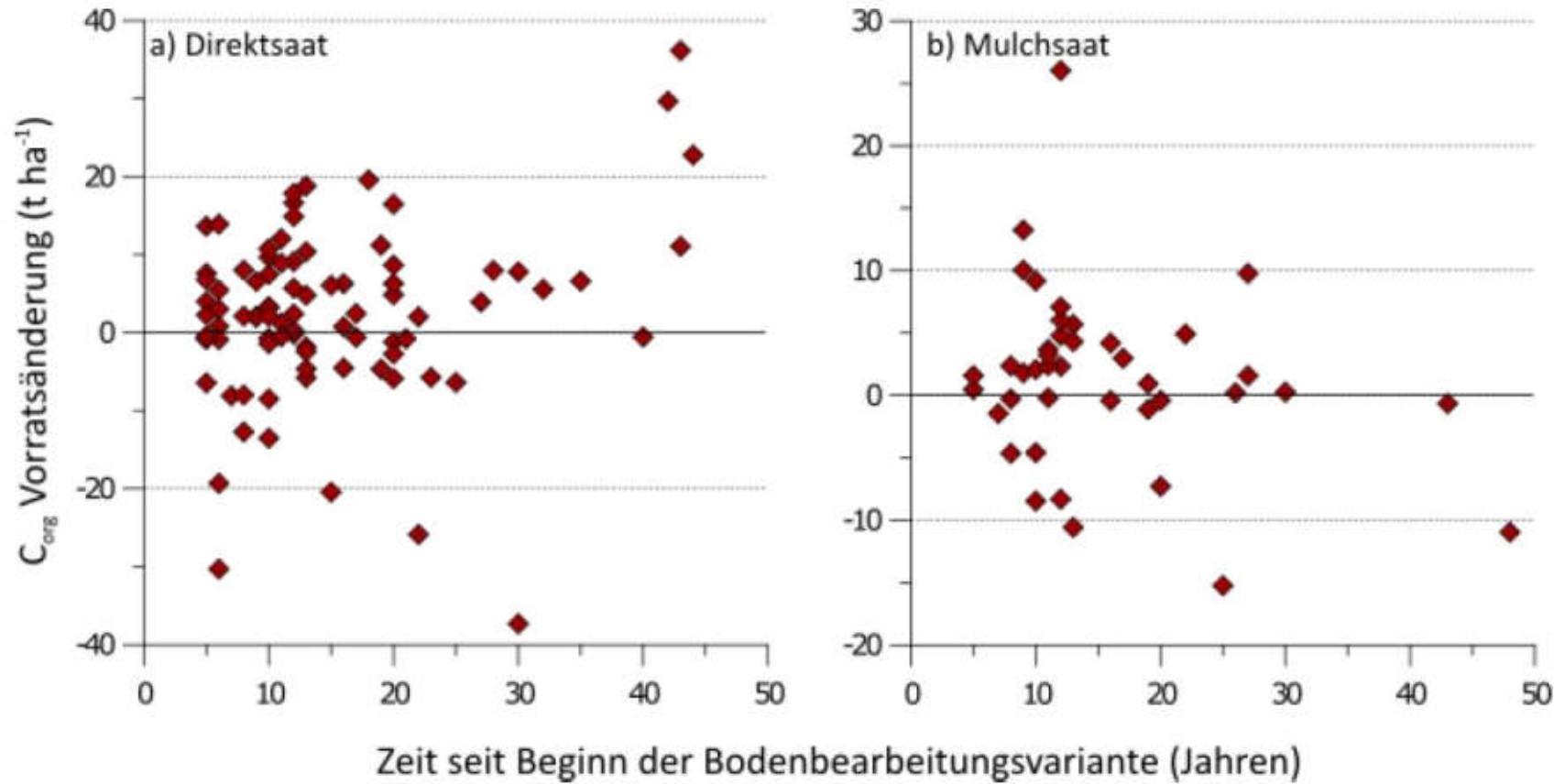
Maßnahme	t C _{org} /ha*a	Quelle
Zwischenfruchtanbau	0,320	Jacobs et al. 2018, S. 195 Poeplau & Don 2015
Organische Düngung	0,160	Jacobs et al. 2018; Carlgren & Mattsson 2001, Körschens et al. 2013
Reduzierte Bodenbearb.	??	
SUMME		

Reduzierte vs. konventionelle Bodenbearbeitung



Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64. S. 195

Reduzierte vs. wendende Bodenbearbeitung



Änderung des Vorrates an organischem Kohlenstoff (Corg) im Oberboden (Mittel: 0-29,7 cm) nach Einführung von Direktsaat (links, 86 Feldstudien, 0-46 \pm 22 cm Tiefe) oder Mulchsaat (rechts, 36 Feldstudien, 0-37 \pm 13 cm Tiefe) im Vergleich zu einer Referenzbehandlungsvariante mit konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug)

Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Lagner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64. S. 195

Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

Maßnahme	t C _{org} / ha*a	Quelle
Zwischenfruchtanbau	0,320	Jacobs et al. 2018, S. 195 Poeplau & Don 2015
Organische Düngung	0,160	Jacobs et al. 2018; Carlgren & Mattsson 2001, Körschens et al. 2013, Jakobs et al. 2018
Reduzierte Bodenbearbeitung	0,16 (n.s.)	Jacobs et al. 2018
SUMME		

Möglichkeiten zur C-Sequestrierung



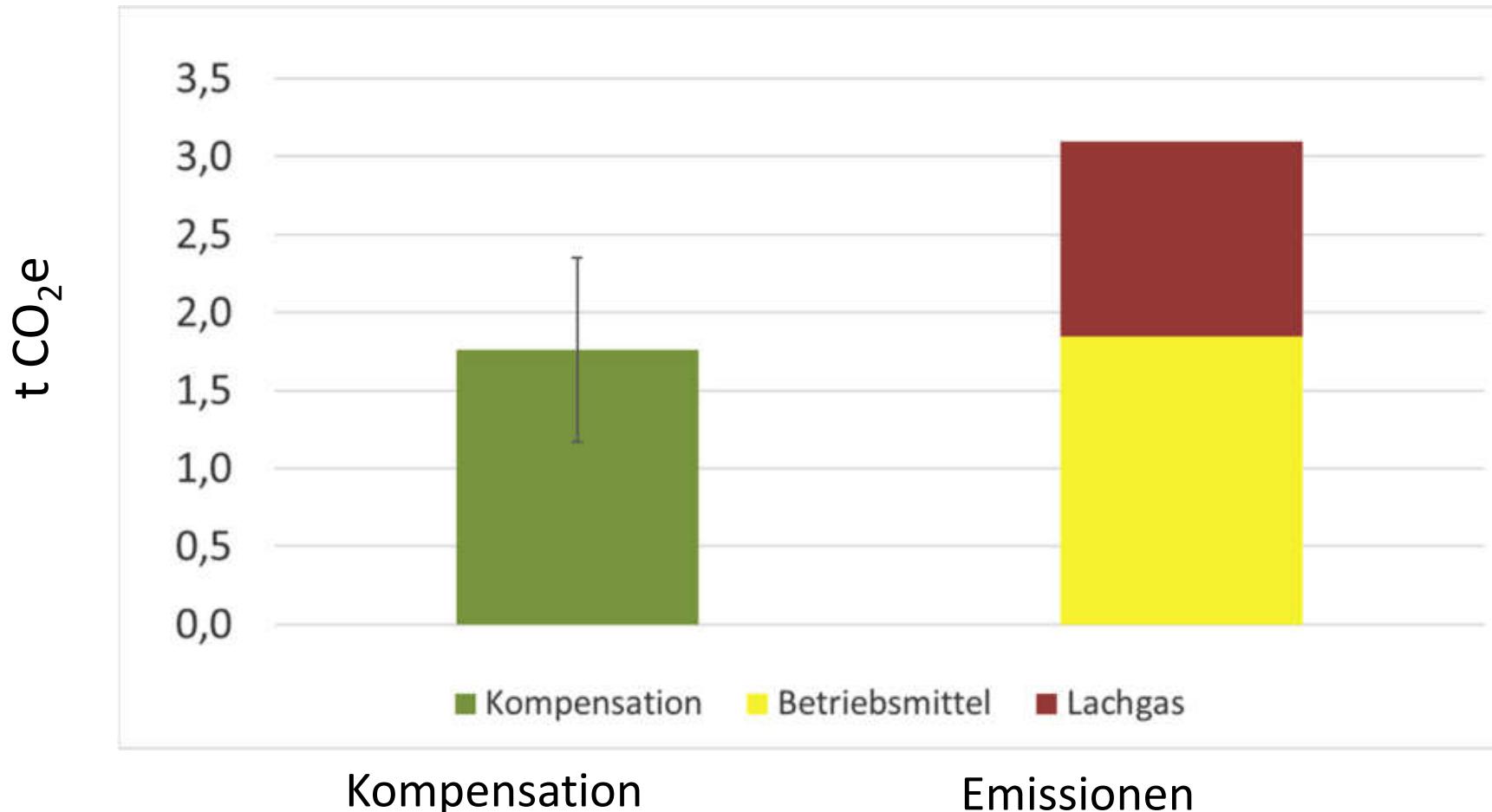
Potentiale der C-Sequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus:

Maßnahme	t C _{org} / ha*a	Quelle
Zwischenfruchtanbau	0,320	Jacobs et al. 2018, S. 195 Poeplau & Don 2015
Organische Düngung	0,160	Jacobs et al. 2018; Carlgren & Mattsson 2001, Körschens et al. 2013, Jakobs et al. 2018
Reduzierte Bodenbearbeitung	0,16 (n.s.)	Jacobs et al. 2018
SUMME	0,480	

Kompensation vs. Emissionen



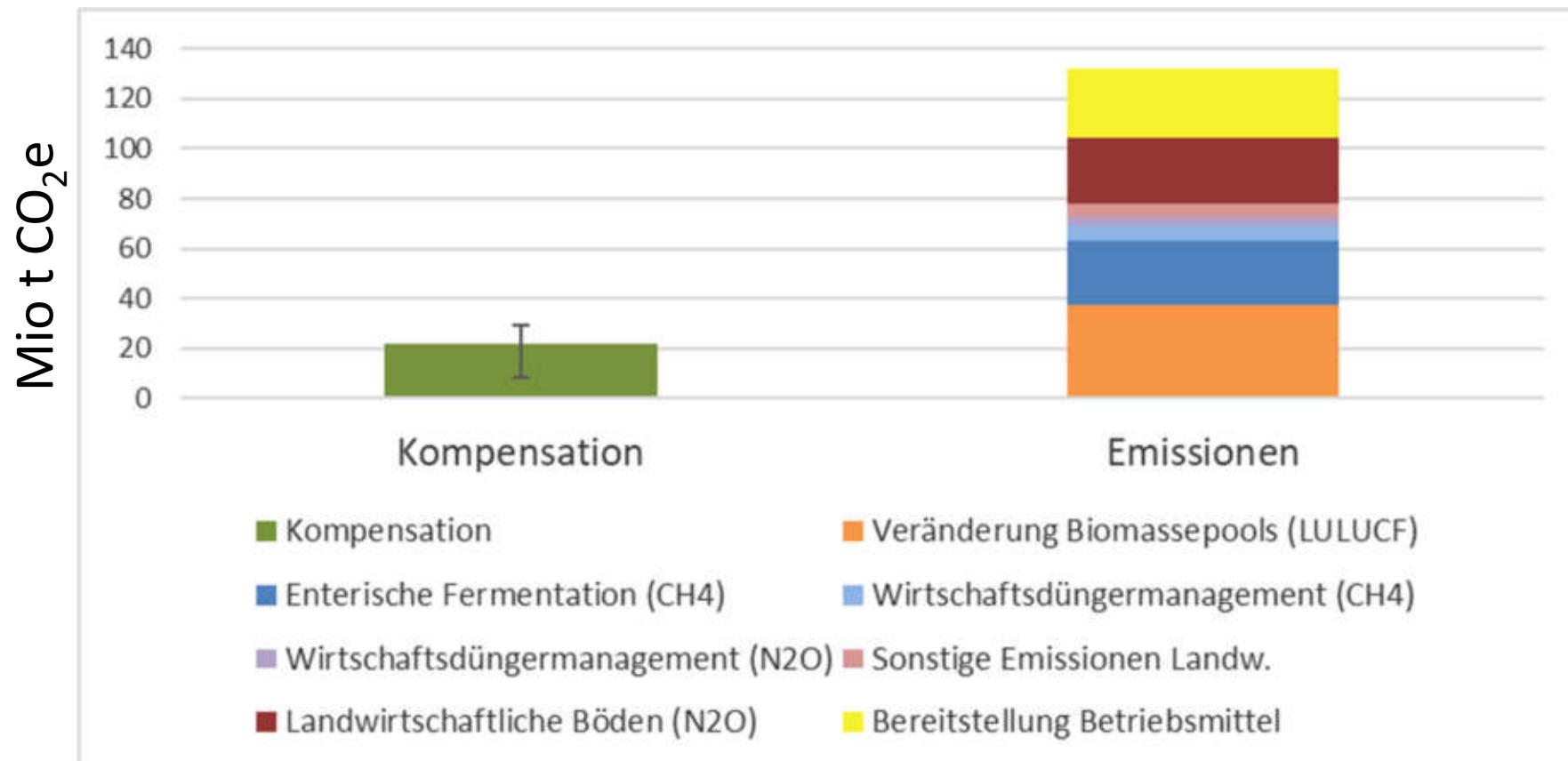
**Kompensation und Emissionen bezogen auf 1 ha Weizenanbau
(gerechnet mit 0,48 t C_{org}/ha*a; Bandbreite: 0,32-64 t)**



Kompensation vs. Emissionen



Kompensation und Emissionen Landwirtschaft insgesamt
(gerechnet mit 0,48 t C_{org}/ha*a, Bandbreite 0,18-0,64)



Zeithorizont der Kohlenstoffsättigung?



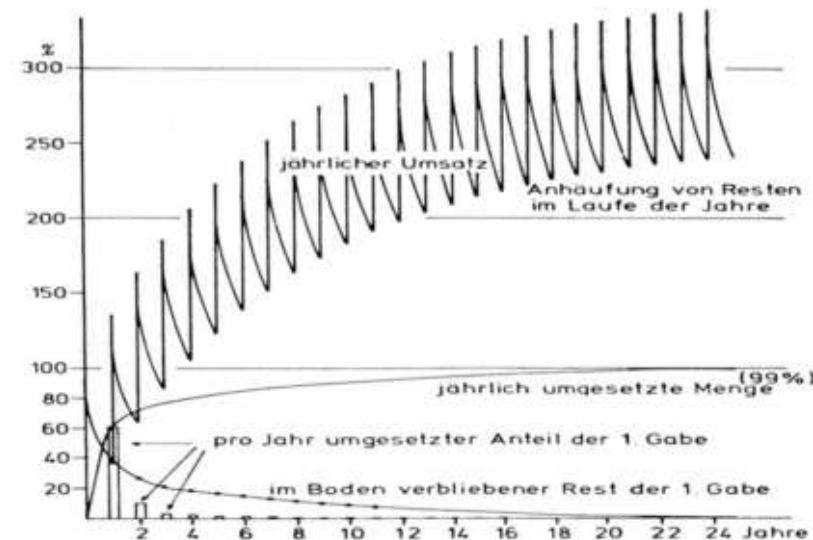
Sättigungsdefizit nach Wiesmeier et al. (2017, Bayern): 35 t / ha

→ ergibt bei jährlicher Sequestrierung von 0,48 t
Sättigung nach 73 Jahren

Poeplau et al. (2015):

→ Errechnen 155 Jahre

- Kohlenstoffaufbau kann lange, aber nicht unbegrenzt betrieben werden
- Jährlich sequestrierbare Menge sinkt über die Zeit, C_{org} Gehalt nähert sich asymptotisch einem Sättigungspunkt





- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**

Szenarien zur Erreichung der Reduktionsziele



Lachgas: - 7,4 Mio t bis 2050

Maßnahme	Potential (Mio t CO ₂ e)	
Verbesserung N-Effizienz der Düngung	5,3 ¹	30 % weniger N-Input Hohe Synergieeffekte mit anderen Umweltwirkungen!
Organische Ackerböden aus Nutzung nehmen	0,7 ²	Hier nur N ₂ O! auch hoch relevant für CO ₂ -Neutralität
Reduktion Viehbestände um 20 %	1,4 ²	Bei Reduktion des Konsums hohe Synergien mit Gesundheit. DGE empfiehlt 40 % Reduktion des Fleischkonsums gegenüber 2006

¹ Eigene Berechnungen basierend auf UBA 2019, vgl. Eigene Berechnungen basierend auf UBA 2019, vgl. auch
Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und
Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (2016) S. 322. sowie Osterburg et al. 2013, S. 58.

² Eigene Berechnungen basierend auf UBA 2019

Szenarien zur Erreichung der Reduktionsziele



Methan: - 15,9 Mio t bis 2050

Maßnahme	Potential (Mio t CO ₂ e)	
<ul style="list-style-type: none">Reduktion der Viehbestände um 40 %	10,2 ¹	<ul style="list-style-type: none">Konsum von Fleisch nach DGE-Empfehlungen (siehe MRI 2008);Konsum von Milch müsste nicht reduziert werden, da ca. 50 % der Produktion in den Export gehen (MIV 2018) → ABER: Verlagerungseffekte in globaler Bilanz zu beachten
<ul style="list-style-type: none">Reduktion der Gülleemissionen um 80 %	5,5 ²	<ul style="list-style-type: none">Durch zusätzliche Fermentation in Biogasanlagen oder alternative Wirtschaftsdüngermanagement-systeme

² Eigene Berechnungen basierend auf UBA 2019; vgl. für Milchkühe auch Osterburg et al. 2013



- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**



Wie hoch ist der Beitrag der Kohlenstoffbindung in landwirtschaftlich genutzten Böden?

1. Realistischer Weise jährlich sequestrierbaren C-Mengen können die Netto-CO₂e-Emissionen aus dem Pflanzenbau noch für einige Dekaden deutlich senken, aber nicht kompensieren.
2. Der maximale C-Gehalt der Böden ist begrenzt durch einen von Bodenart und Bewirtschaftung abhängigen Sättigungspunkt. Nach Erreichen des Sättigungspunktes muss C-Zufuhr beigehalten werden, um C-Freisetzung zu vermeiden, es wird aber keine weitere Kompensationswirkung erzielt.
3. Während die positive Wirkung eines Anbaus von Zwischenfrüchten und einer organischen Düngung auf den Bodenkohlenstoffgehalt als gesichert gelten kann, trägt reduzierte Bodenbearbeitung vermutlich nicht zu einem signifikanten Anstieg der Bodenkohlenstoffgehalte bei.
4. Hohe Sequestrierungsraten erfordern außerbetriebliche Kohlenstoffquellen, die nur begrenzt verfügbar sind und aktuell nicht für flächendenkend hohe Sequestrierungsraten ausreichen.

Fazit: Klimaneutrale Landwirtschaft – ist das möglich?



Klimaneutrale Landwirtschaft ist möglich, und zwar durch eine Kombination von

1. Kohlenstoffsequestrierung durch Maßnahmen des konservierenden Ackerbaus (org. Düngung und ZF)
2. Erhöhung der N-Effizienz (ca. 30 % weniger N-Einsatz)
3. Ausstieg aus der Bewirtschaftung organischer Ackerböden
4. Konsequente Gülle-Fermentation oder alternative Wirtschaftsdüngermanagementsysteme
5. Deutliche Reduktion der Viehbestände und Ernährung nach DGE-Empfehlungen

→ Diese Ziele sind technisch machbar, medizinisch empfehlenswert und hätten positive Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die Gewässerqualität



- 1. Was heißt „klimaneutral“?**
- 2. Status-quo: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft**
- 3. Kompensationsmöglichkeiten durch Aufbau organischer Bodensubstanz**
- 4. Erforderliche Emissionsreduktionen**
- 5. Fazit**
- 6. Exkurs: CO₂-Zertifikate für Humusaufbau**

CO₂-Zertifikate für Humusaufbau – empfehlenswert?!



Wachsender Markt von Anbietern von CO₂-Zertifikaten für freiwillige Kompensationen, wie z.B. CarboCert u.a.

(Bilder)

CO₂-Zertifikate für Humusaufbau – empfehlenswert?!



Aus betrieblicher Sicht:

In der Regel langfristig nicht kostendeckend, aber „Mitnahme“ interessant

Rechenbeispiel:

	Einheit	Kompost Mittelfristig (ca. 40 Jahre)	Kompost (kurzfristig, ca. 5 Jahre)
Sequestrierung	t C _{org} /ha*a	0,16	2,5
CO ₂ -Kompensation	t CO ₂ e/ha*a	0,59	9,2
CO ₂ -Preis	€	30	30
Wert	€/ha*a	18	275
Kompostbedarf	t/ha*a	3	20
Materialkosten (Beispiel Kirchheim: 10 €/h)	€/ha	30	200



Wichtige Gegenargumente aus gesellschaftlicher Sicht:

1) Permanenz:

- Kohlenstoffgehalte im Boden sinken schnell bei Aufgabe der regenerativen Bewirtschaftung

2) Große kurzfristige, aber geringe langfristige Effekte:

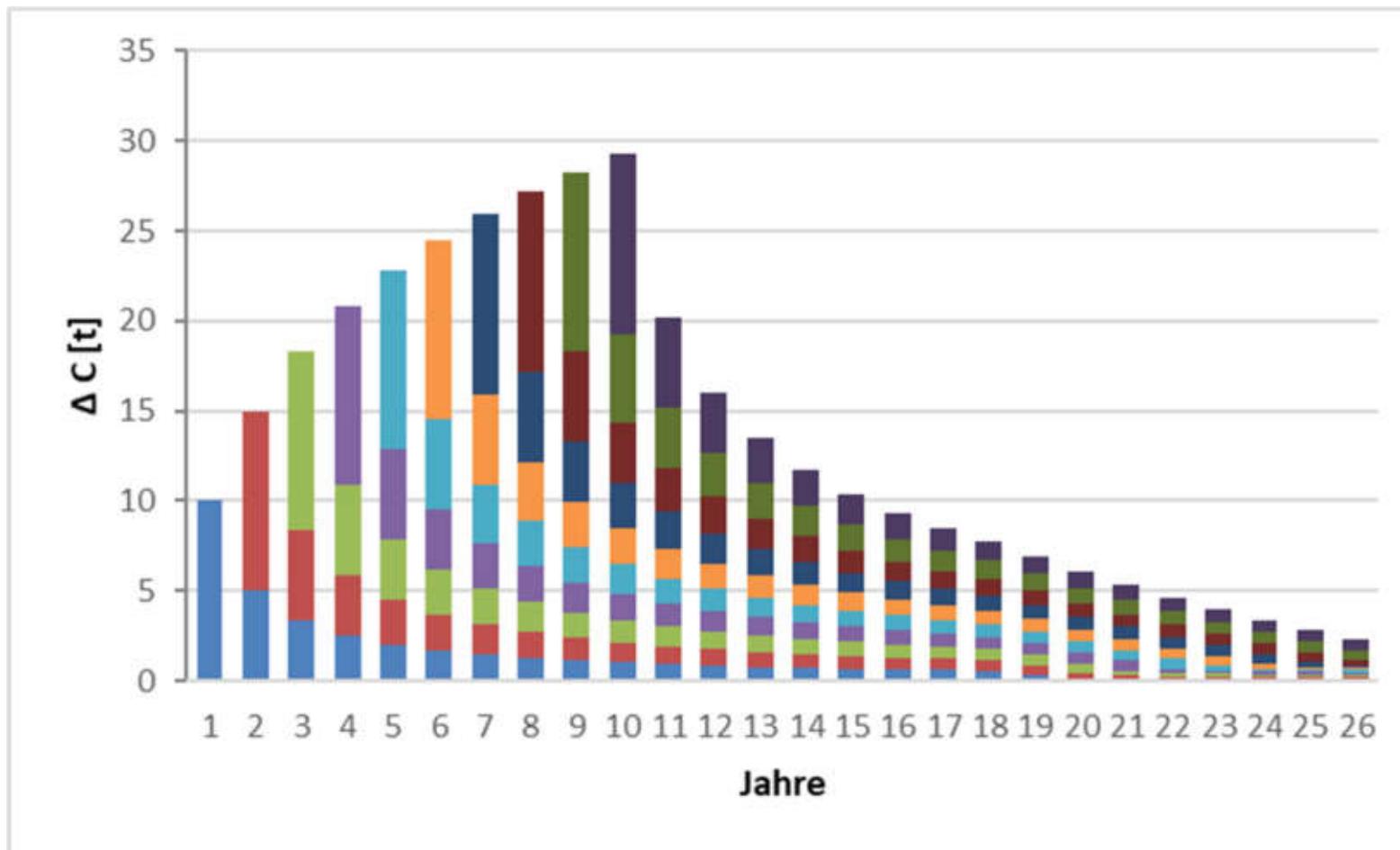
- C_{org} unterliegt natürlichem Abbau

Herausforderung: Permanenz und Sättigung



Schematische Darstellung der Boden-C-Dynamik:

- Differenz C_{org} [t/ha] bei jährlicher Zufuhr von 10 t C_{org})
- Einstellung der Düngung nach 10 Jahren





Wichtige Gegenargumente aus gesellschaftlicher Sicht:

1) Permanenz:

- Kohlenstoffgehalte im Boden sinken schnell bei Aufgabe der regenerativen Bewirtschaftung

2) Große kurzfristige, aber geringe langfristige Effekte:

- C_{org} unterliegt natürlichem Abbau

3) Quantifizierung:

- Messwerte unterliegen punktbezogen großen Schwankungen: Nachweisgrenze 1,5 – 2,7 t Steigerung (Schrumpf et al. 2011)

Fazit: Zertifikate für Humusaufbau



- Humuszertifikate sind aus betrieblicher Sicht finanziell interessant
- Sequestrierungsraten nehmen über die Zeit ab → Zertifikate lohnen sich immer weniger → Risiko, das organische Düngung reduziert wird → CO₂-Freisetzung!
- Im Rahmen des verpflichtenden CO₂-Handels nicht berücksichtigt weil
 - Permanenz nicht gesichert
 - Messung schwierig
- Bei Aufnahme in verpflichtenden Emissionshandel Risiko das angestrebte Reduktionsziele nicht erreicht werden



Literatur

Alcántra, 'V., Don, A., Well, R., Nieder, R. (2016): Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology* 22(8): 2939-2956.

Carlgren, K., Mattsson, L. (2001): Swedish soil fertility experiments. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 51(2): 49-78.

IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64

Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, M., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Creganz, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., merbach, I., Merbach, W., Pardor, M., Rogasik, J., Ruhlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W. (2013): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(8): 1017-1040.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2016): Berechnungsstandards für einzelbetriebliche Klimabilanzen in der Landwirtschaft (BEK). Online-Anwendung, www.ktbl.de. Letzter Abruf 3.1.2020.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2010): Ökologischer Landbau. Daten für die Betriebsplanung. 1. Ausgabe 2010.

Landesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft (LEL) (o.J.): LEL Kalkulationsdaten Marktfrüchte. Online verfügbar unter: <https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Unsere+Themen/Kalkulationsdaten+Marktfruechte> (abgerufen am 3.1.2020)



Literatur

Max Rubner Institut (MRI) (2008) Nationale Verzehrsstudie II Ergebnisbericht, Teil 2.
https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVSII_Abschlussbericht_Teil_2.pdf. Letzter Zugriff: 15.01.2020.

Osterburg B, Kätsch S, Wolff A (2013) Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 132 p, Thünen Rep 13. Online unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn052919.pdf (letzter Abruf 2019-10-30)

Poeplau, C., Don, A. (2015): Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – a metaanalysis. *Agriculture Ecosystem & Environment* 200(1): 33-41.

Sauerbeck, D. (1985): Funktion, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart

Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K., Schumacher, J. (2011): How accurately can soil carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories?, *Biogeosciences* 2011, 8, 1193 – 1212

Statistisches Bundesamt (2018): Fachserie 19 Umwelt, Reihe 1 Abfallentsorgung 2016. Wiesbaden, Stand 06/2018.

Umweltbundesamt (2019): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. Climate Change 23/2019.

Umweltbundesamt (2019)b: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2017 (Stand 02/2019)

Umweltbundesamt (2019)c: Verwertung und Entsorgung ausgewählter Abfallarten. Online unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehler-abfallarten/bioabfaelle#textpart-1>; Zuletzt aktualisiert am 30.6.2019; abgerufen am 14.1.2020;

Wiesmeier, M., Burmeister, J., Treisch, M., Brandhuber, R. (2017): Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille – Initiative in Bayern, Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz 2017.

Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldbiopolitik beim BMEL (WBA) (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin. Online unter:
http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf%3F__blob%3DpublicationFile (letzter Abruf 2019-10-31)