

CO₂-neutrale Landwirtschaft

Wie ist der ökologische Landbau aufgestellt?



Gäa-Wintertagung – Praxis der ökologischen Landwirtschaft, 03.02.2022

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme



- **Problemstellung**
- **Treibhausgasemissionen, Einflussfaktoren und Minderungsstrategien**
- **Humusaufbau und Bodenkohlenstoffbindung**
- **Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**



Ursachen und Wirkungen der anthropogenen Klimaänderungen sind eng mit der Landwirtschaft verbunden:

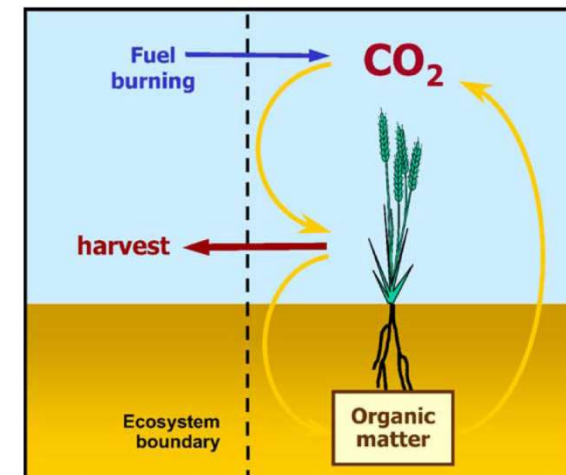
- **In landwirtschaftlichen Produktionsprozessen werden klimarelevante Spurengase freigesetzt.**
- **Die anthropogenen Klimaänderungen haben Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion.**
- **Die Landwirtschaft kann wesentlich zur CO₂-Vermeidung (Bioenergie) und C-Bindung (Böden, Biomasse) beitragen.**



- Energieeinsatz und CO₂-Emissionen
- C-Bindung von Böden durch Humusaufbau
- N₂O-Emissionen aus Böden und Düngung
- CH₄-Emissionen der Tierhaltung

CO₂ eq / ha (Fläche)

CO₂ eq / GJ (Produkt)





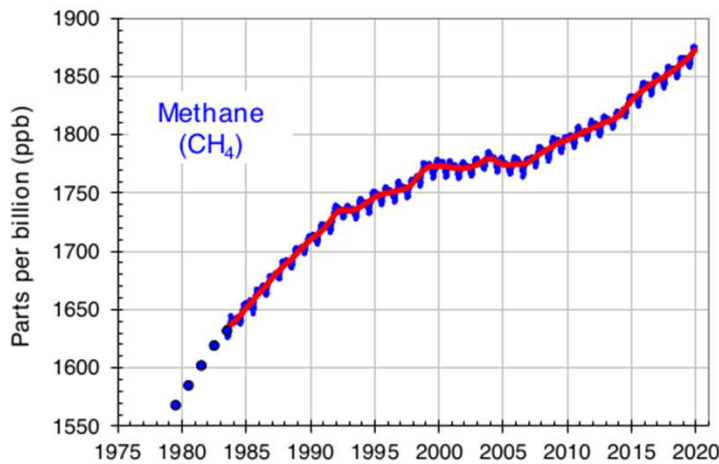
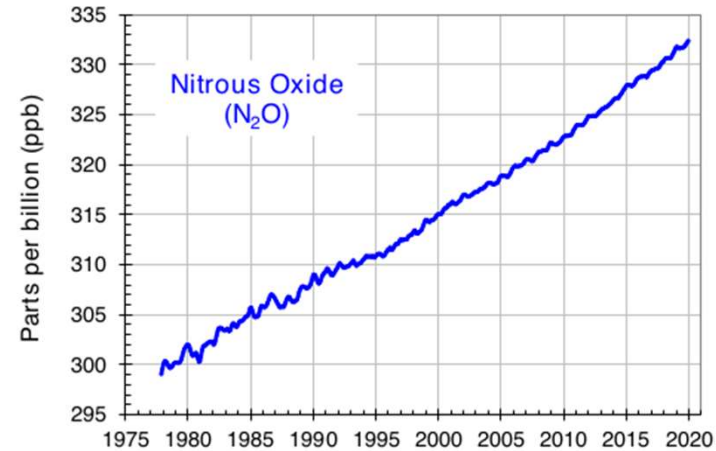
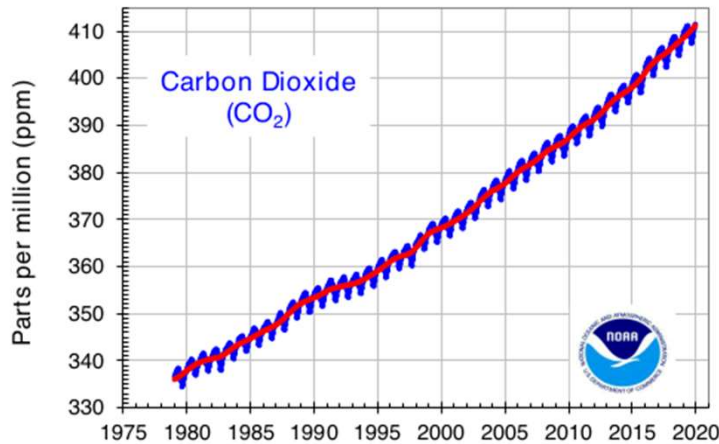
Treibhausgas	Konzentration (ppm)		Lebensdauer	GWP
	vor-industriell	2019		
				a
CO ₂	~ 280	410	variabel	1
CH ₄	0,70	1,85	12	25
N ₂ O	0,27	0,33	114	298

- Treibhauspotential in Bezug auf CO₂ (GWP = 1)
- abhängig von der Absorption der infraroten Strahlung und der Verweildauer



Entwicklung der Treibhausgas-Konzentrationen in der Atmosphäre

NOAA Earth System Research Laboratory (2020)



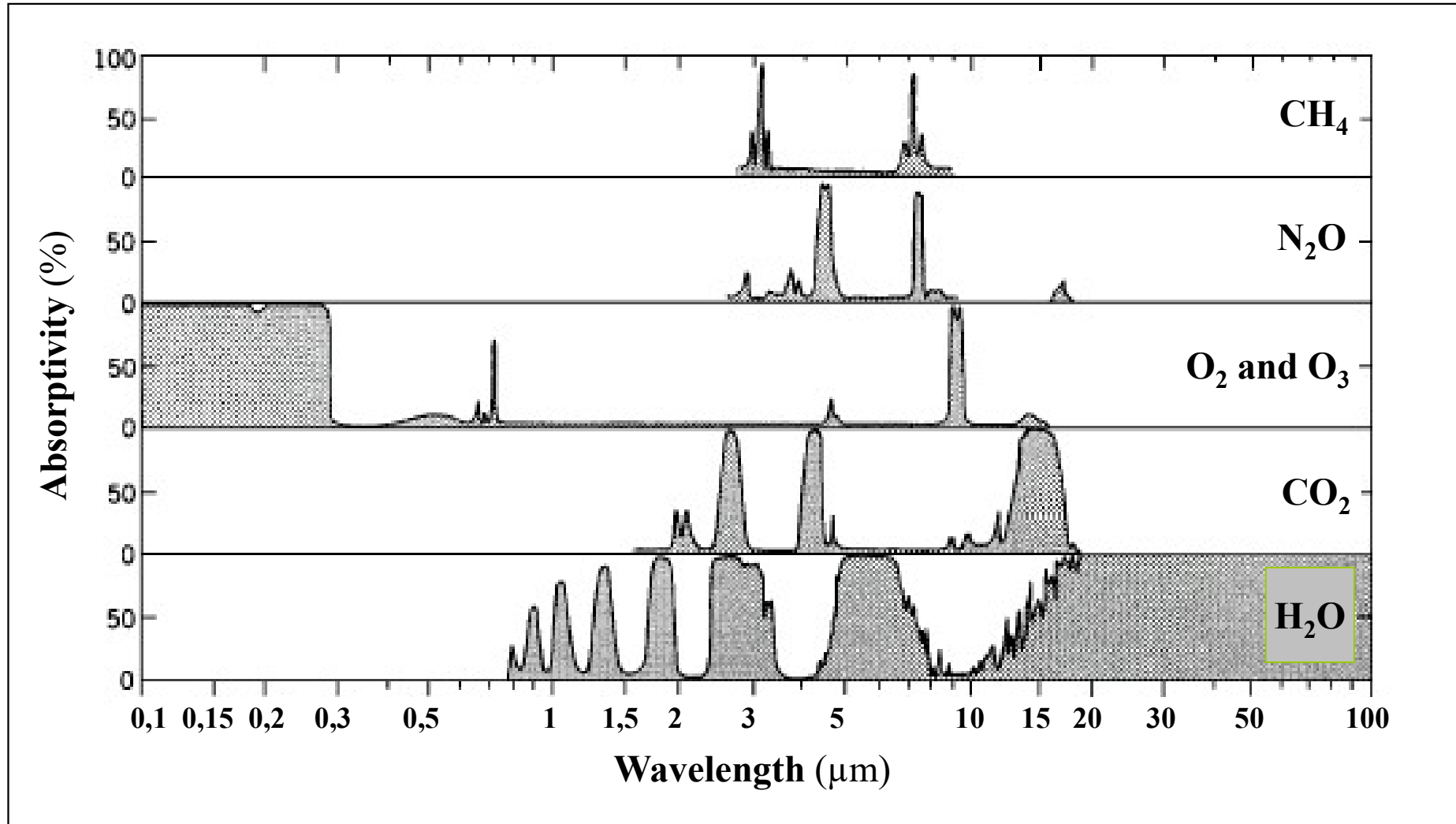
**Anteil der Landwirtschaft
und Landnutzungsänderungen:**

10 bis 30 % der THG-Emissionen



Absorptionsspektren der wichtigsten Treibhausgase

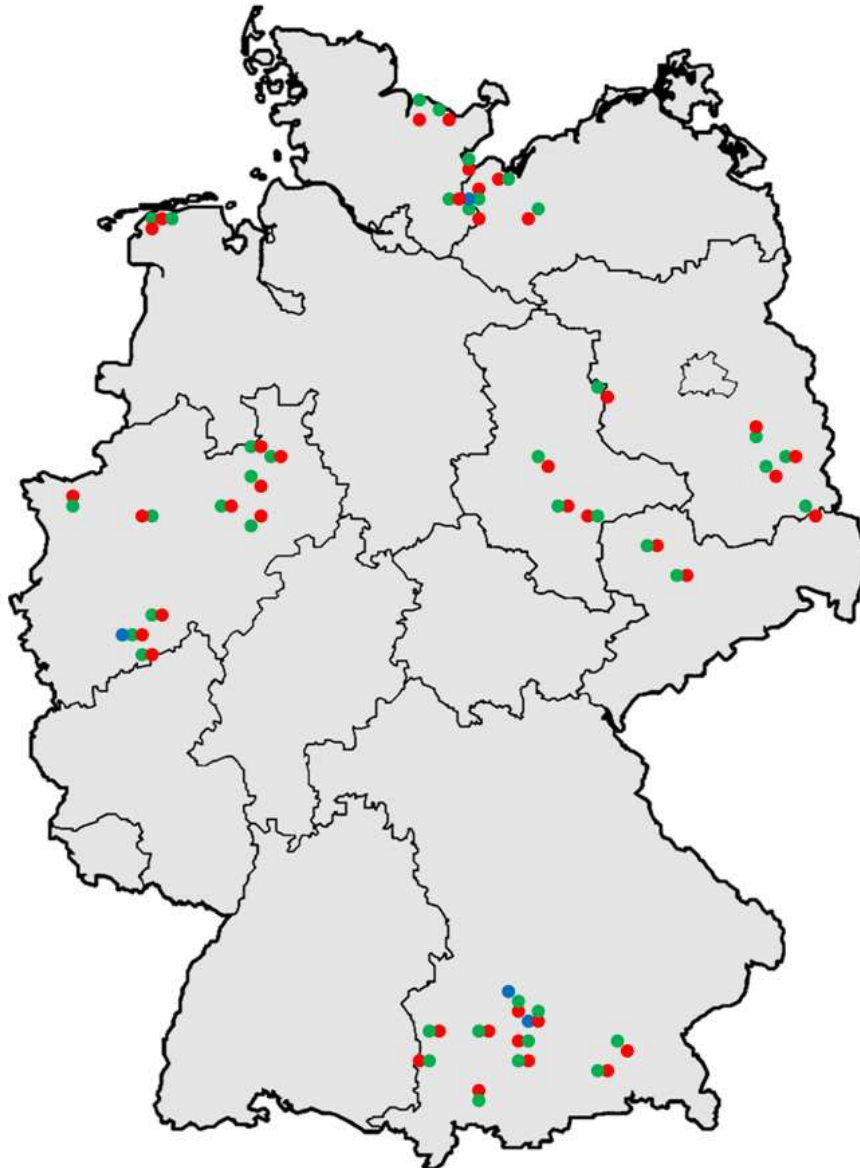
(PEIXOTO & OORT)





Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen

Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben



80 Pilotbetriebe

- Pilotbetrieb, ökologischer Landbau
- Pilotbetrieb, konventioneller Landbau
- Versuchsstation

Transdisziplinäres Forschungsprojekt seit 2008

www.pilotbetriebe.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

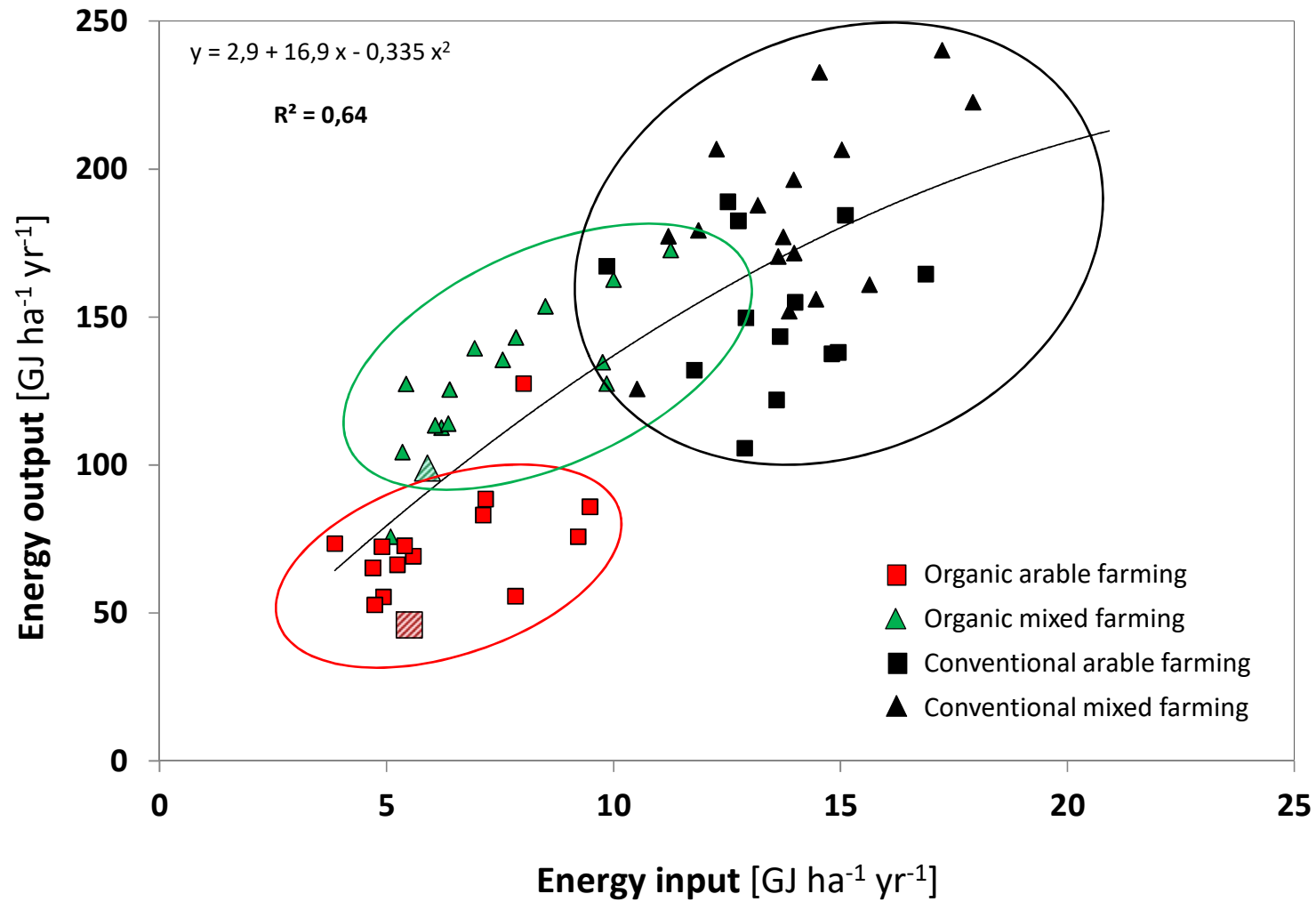
Energieflüsse und CO₂-Emissionen





Beziehung zwischen Energieinput und -output im Pflanzenbau

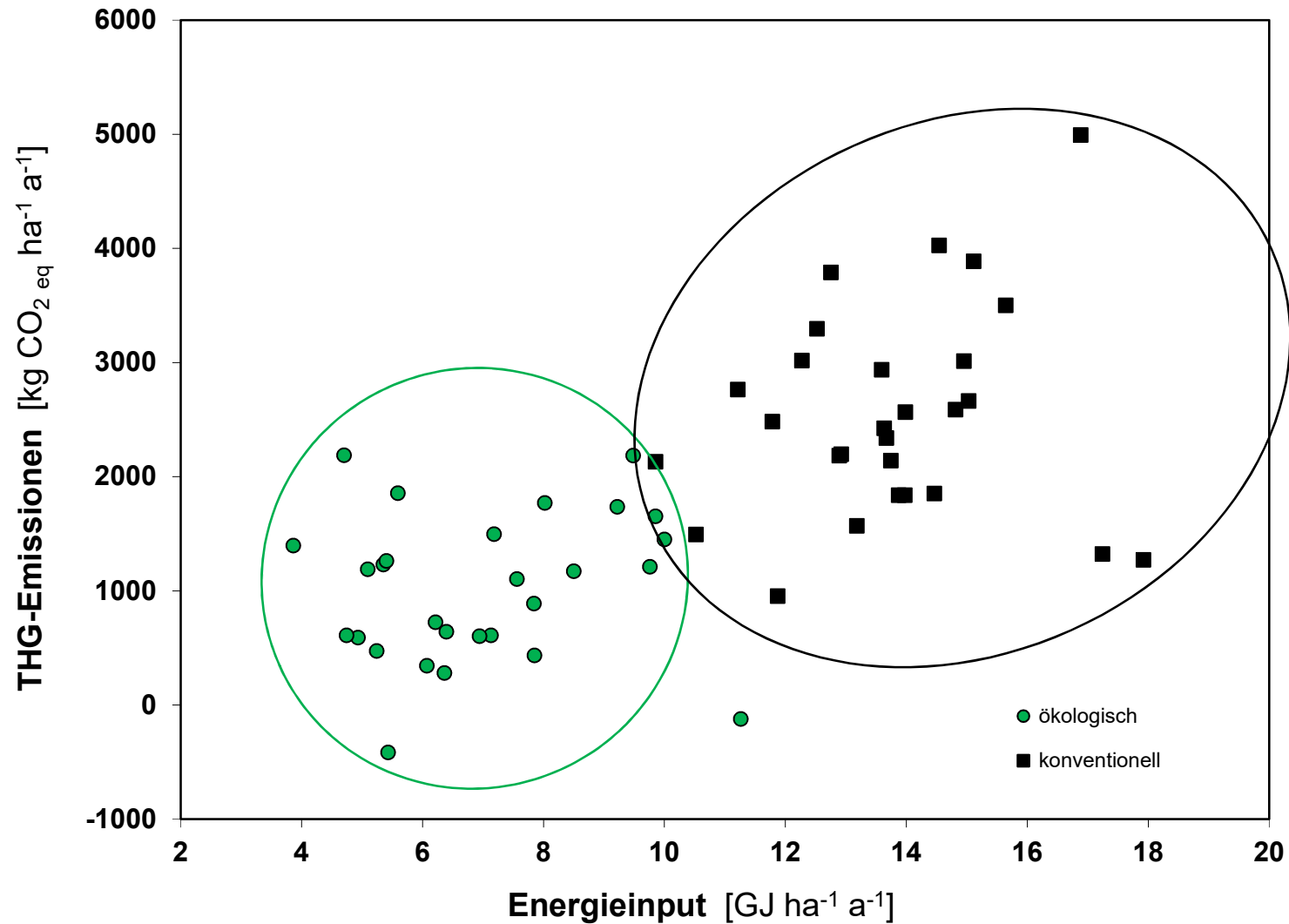
Netzwerk der Pilotbetriebe (Schmid et al. 2013, Lin & Hülsbergen 2015)





Beziehung zwischen Energieinput und THG-Emissionen

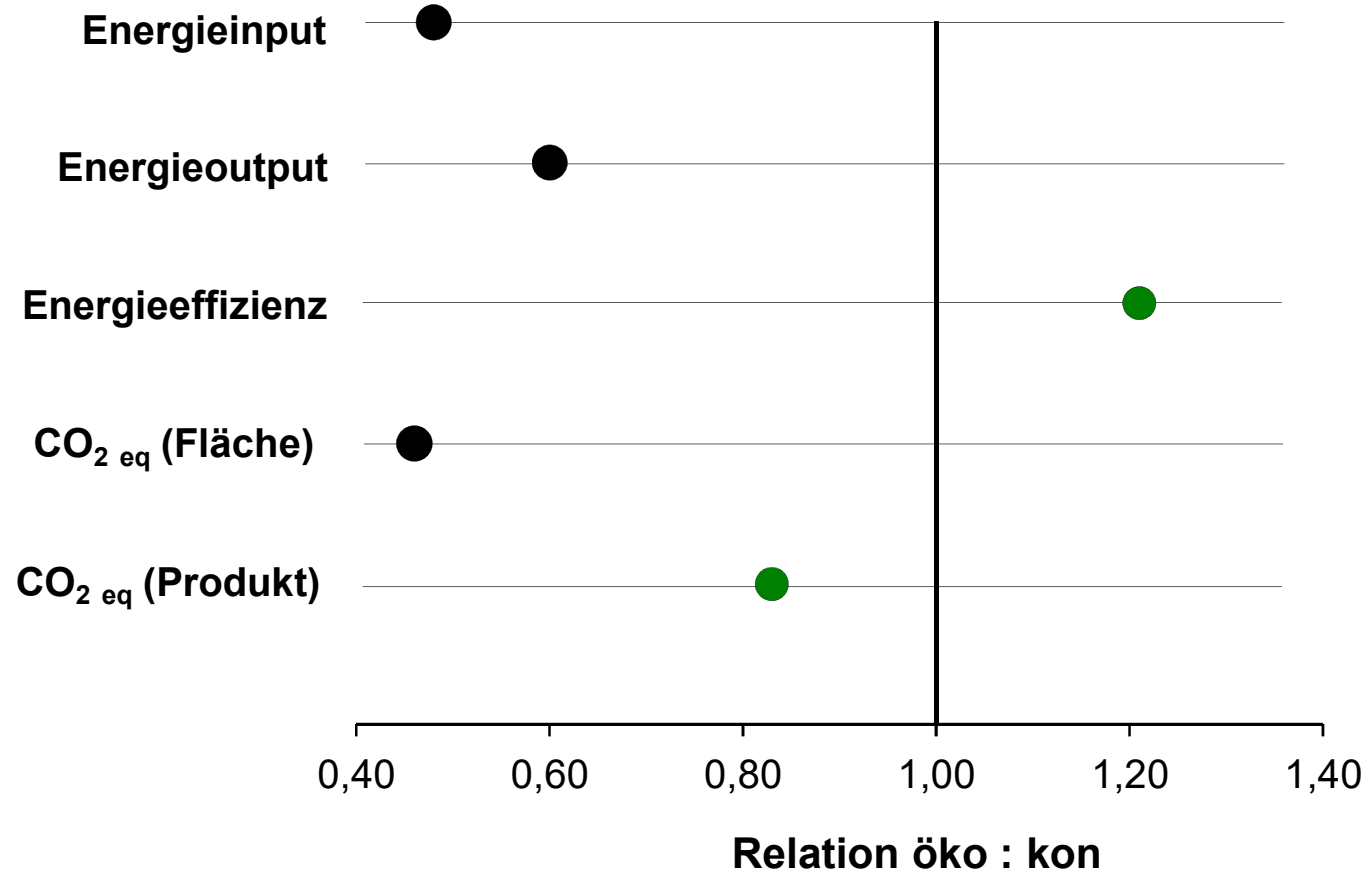
Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülshbergen 2012)





Energieeffizienz und CO₂-Emissionen im Pflanzenbau

Relation ökologisch : konventionell, Pilotbetriebe (Schmid, Braun, Hülsbergen 2012)

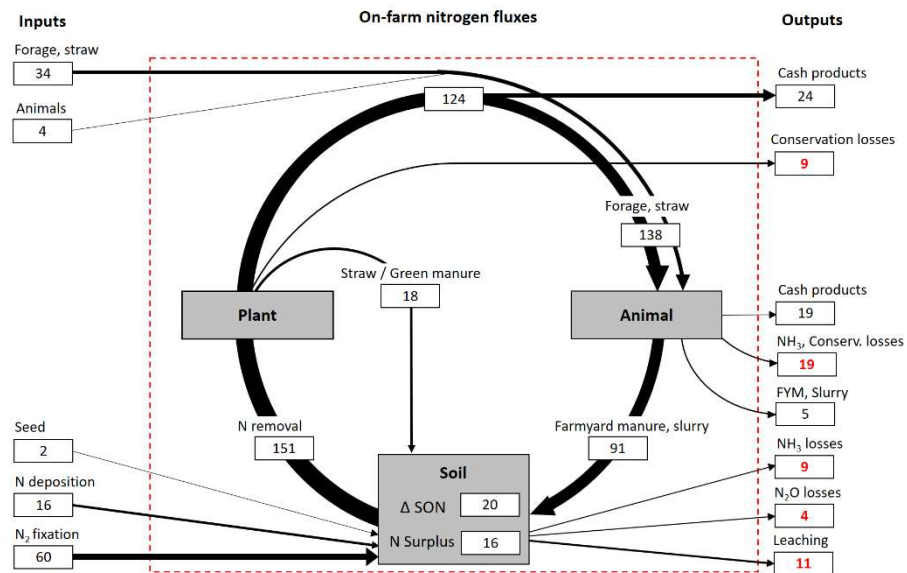


● flächenbezogen ● produktbezogen



- **Ökologische Pilotbetriebe:** Geringer Energieeinsatz: 5 bis 10 GJ ha⁻¹
Low-Input-Systeme → geringe flächenbezogene CO₂-Emissionen
- **Konventionelle Pilotbetriebe:** Hoher Energieeinsatz: 10 bis 20 GJ ha⁻¹
High-Input-Systeme → hohe flächenbezogene CO₂-Emissionen
- Aber: **Unterschiedliche Erträge** und Leistungen → Energieeffizienz
Ø Ökol. Pilotbetriebe: 20 % geringerer Energieeinsatz je Produkteinheit
- Große **einzelbetriebliche Variabilität** der Energieeffizienz
Standort- und Managementeinflüsse
- **Ansätze für die Betriebsoptimierung**
– Energieeinsparung, Einsatz regenerativer Energie, Ertragssteigerung, ...

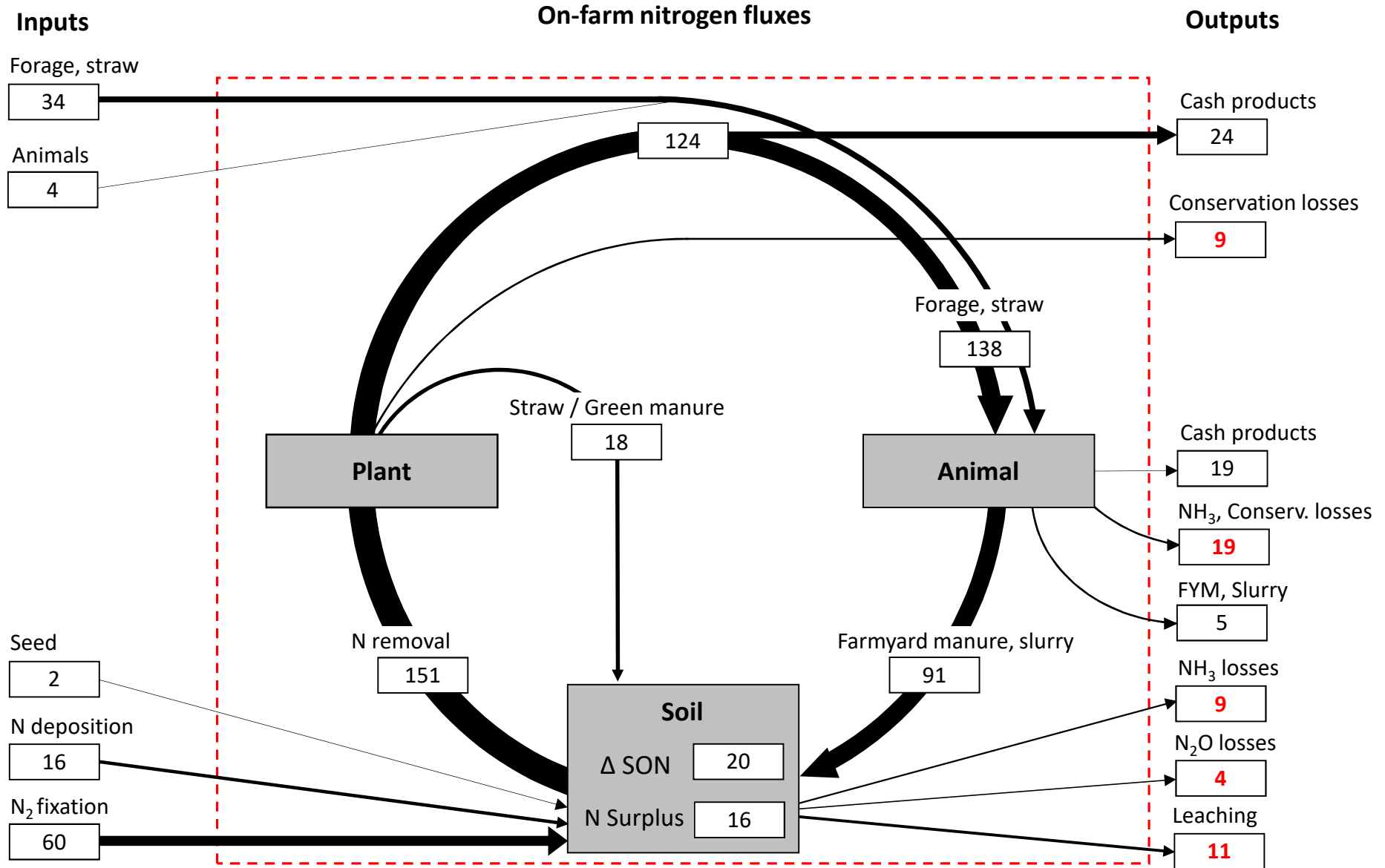
Stickstoffkreislauf und N₂O-Emissionen





Nitrogen cycle of the organic farming system Scheyern

(kg N ha⁻¹ a⁻¹) Küstermann, Christen & Hülsbergen (2010): Agric., Ecosys.& Environm. 135, 70-80.





N-Bilanz ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe

Chmelikova et al. (2021)



Parameter	Organic farming		Conventional farming	
	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)
N Input (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	142 a	170 a	246 b	275 b
N ₂ fixation	44 c	52 c	3 a	21 b
Organic fertilizer	37 a	87 b	26 a	131 c
Mineral fertilizer	0 a	0 a	158 b	91 c
Straw/green manure	38 b	10 a	37 b	11 a



N-Bilanz ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe

Chmelikova et al. (2021)



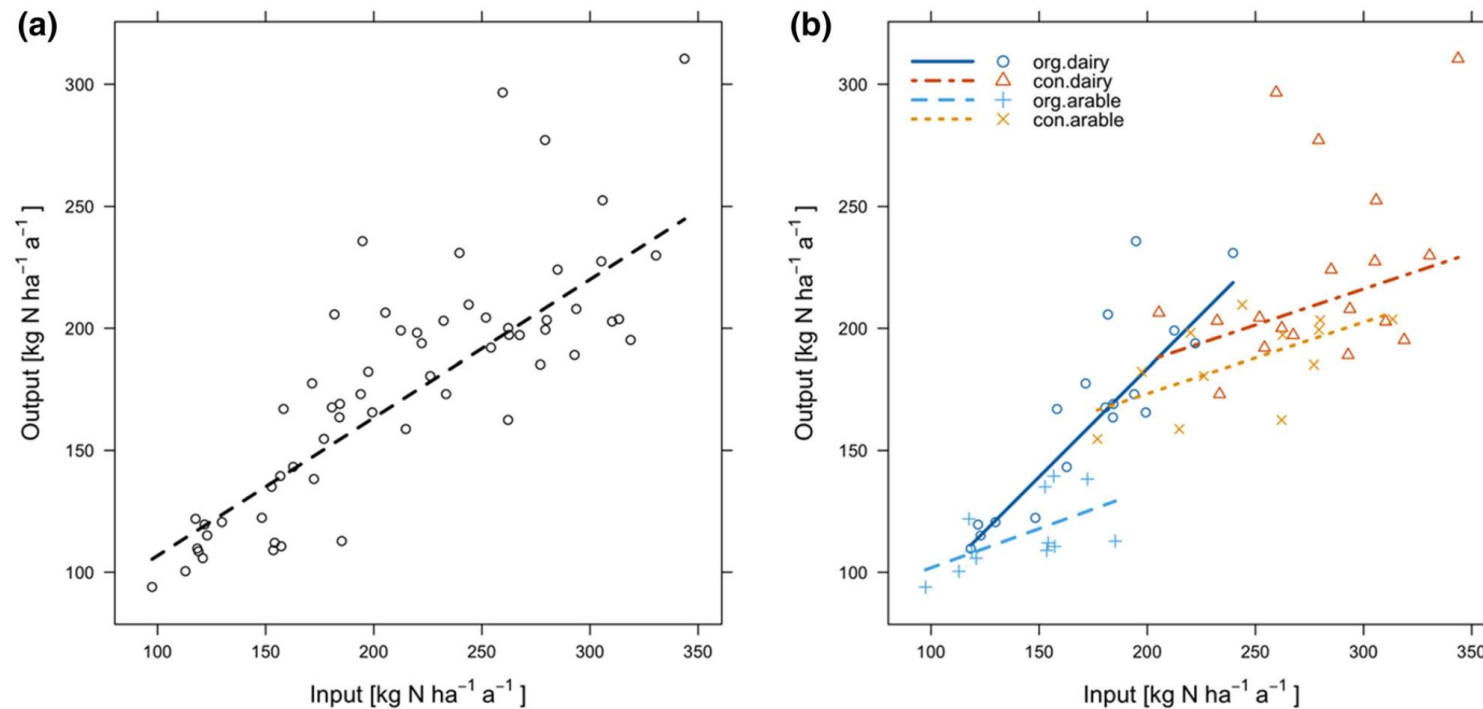
Parameter	Organic farming		Conventional farming	
	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)
N Input (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	142 a	170 a	246 b	275 b
N ₂ fixation	44 c	52 c	3 a	21 b
Organic fertilizer	37 a	87 b	26 a	131 c
Mineral fertilizer	0 a	0 a	158 b	91 c
Straw/green manure	38 b	10 a	37 b	11 a
N output (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	78 a	152 b	149 b	207 c
NUE (%)	83 ab	92 b	77 a	78 a
N surplus (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	26 a	8 a	60 b	57 b



ORIGINAL ARTICLE

Nitrogen-use efficiency of organic and conventional arable and dairy farming systems in Germany

Lucie Chmelíková · Harald Schmid · Sandra Anke · Kurt-Jürgen Hülsbergen

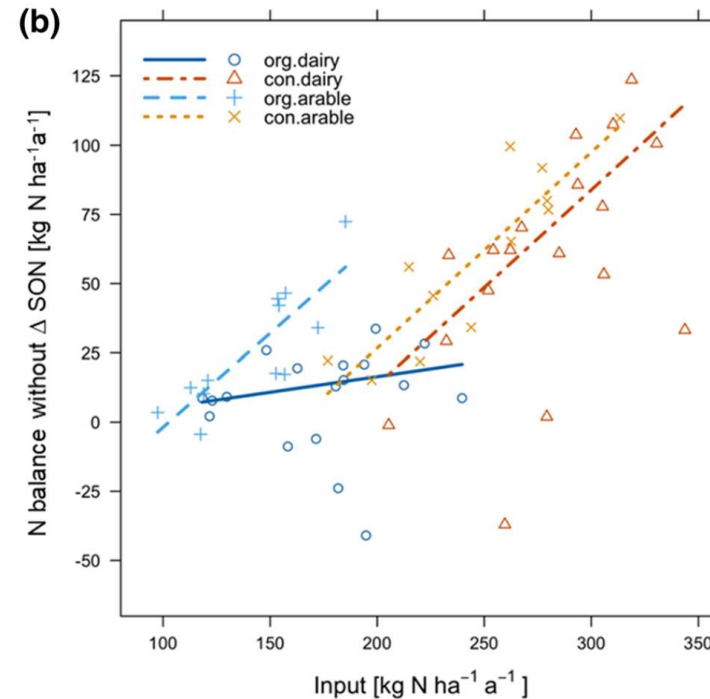
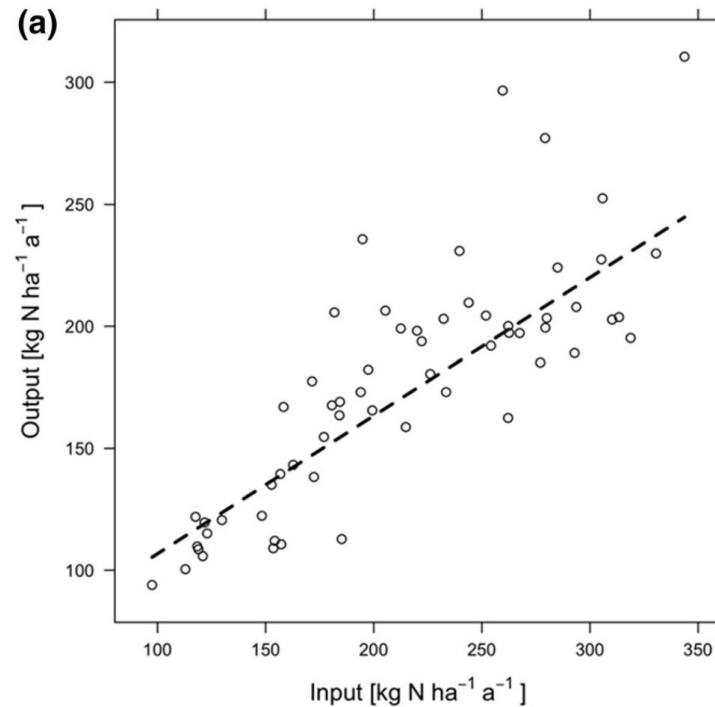




ORIGINAL ARTICLE

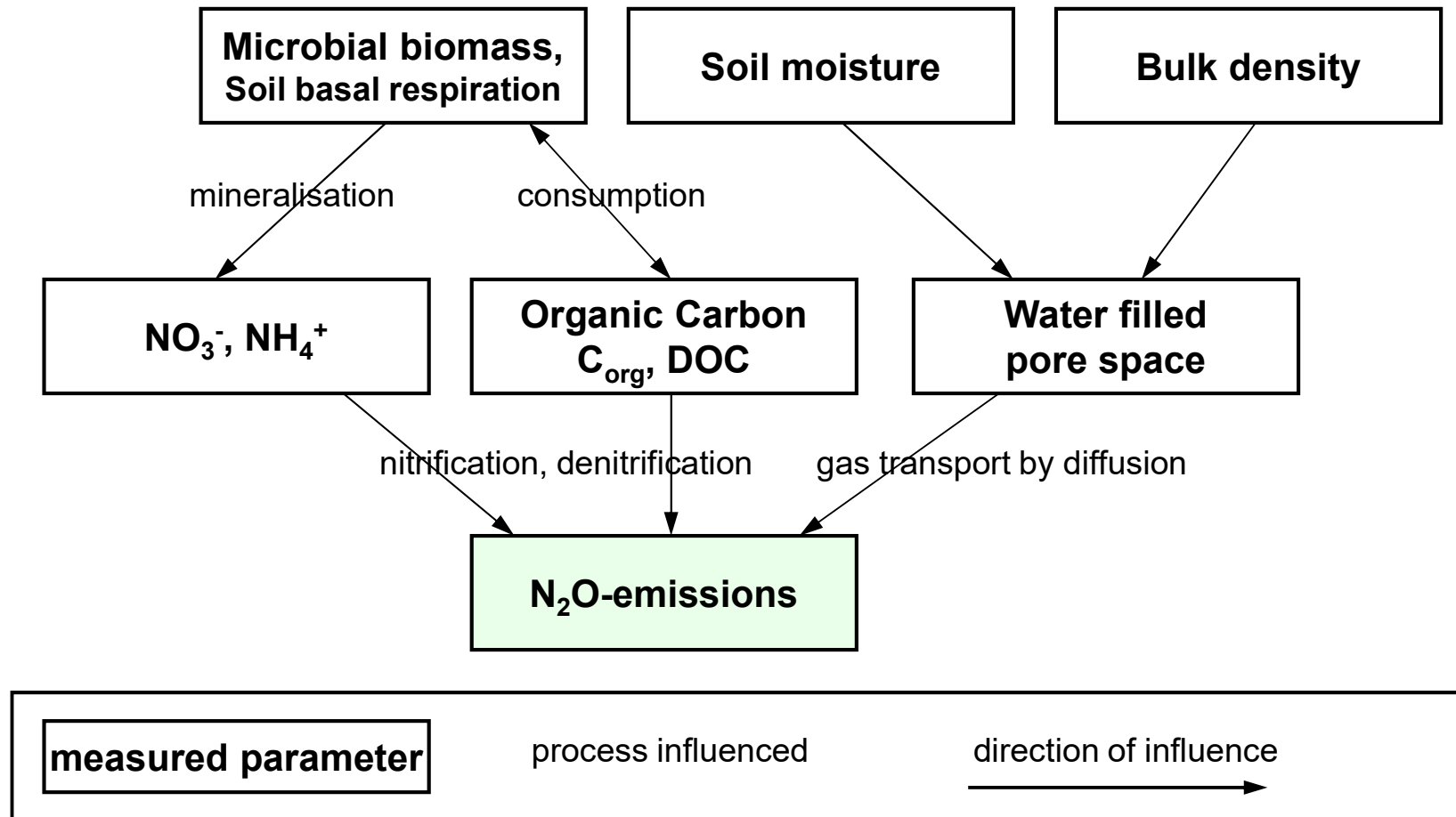
Nitrogen-use efficiency of organic and conventional arable and dairy farming systems in Germany

Lucie Chmelíková · Harald Schmid · Sandra Anke · Kurt-Jürgen Hülsbergen





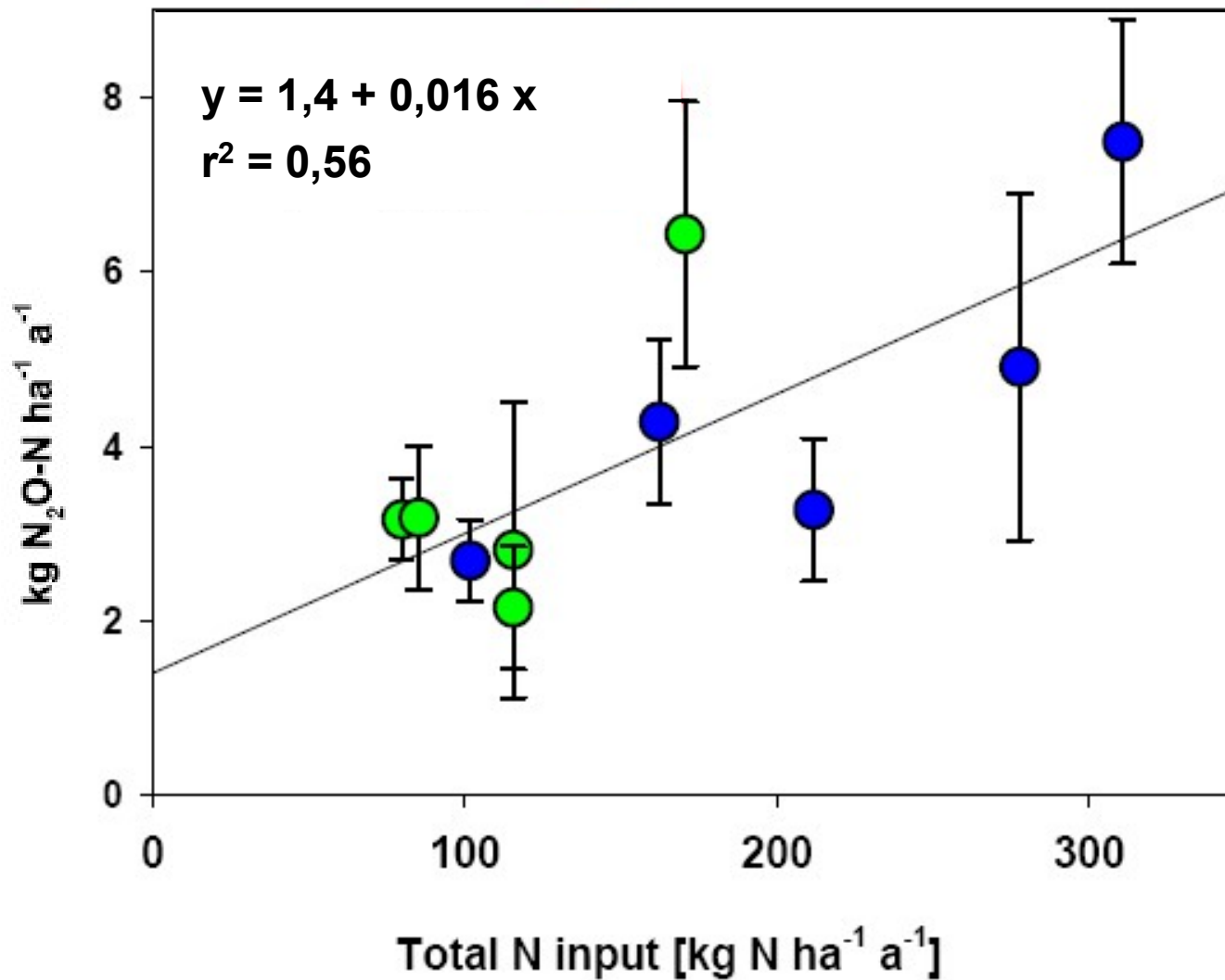
Räumliche Variabilität der N₂O-Emissionen und Einflussfaktoren





N₂O-Emissionen in Abhängigkeit vom N-Einsatz

Petersen et al. (2006): Agriculture, Ecosystems and Environment 112, 200-206





Lachgasmessung mit der Closed-Chamber-Methode

(Winkhart 2021)

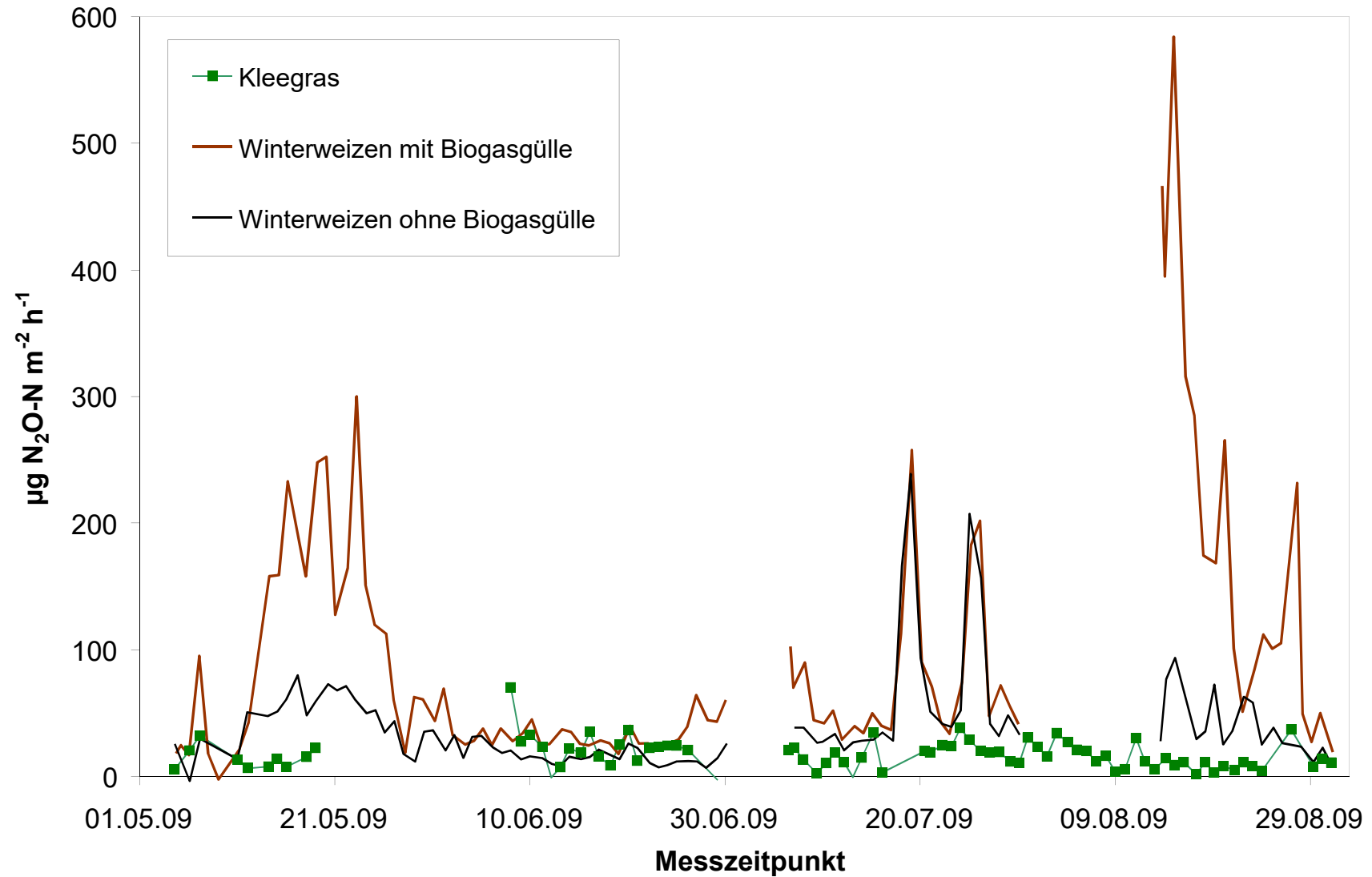


Lachgasmessung mit der Closed-Chamber-Methode
in einem Klee grasbestand (links) und in einem Weizenbestand mit Haubenverlängerung (rechts)
in der Versuchsstation Viehhausen der Technischen Universität München



N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

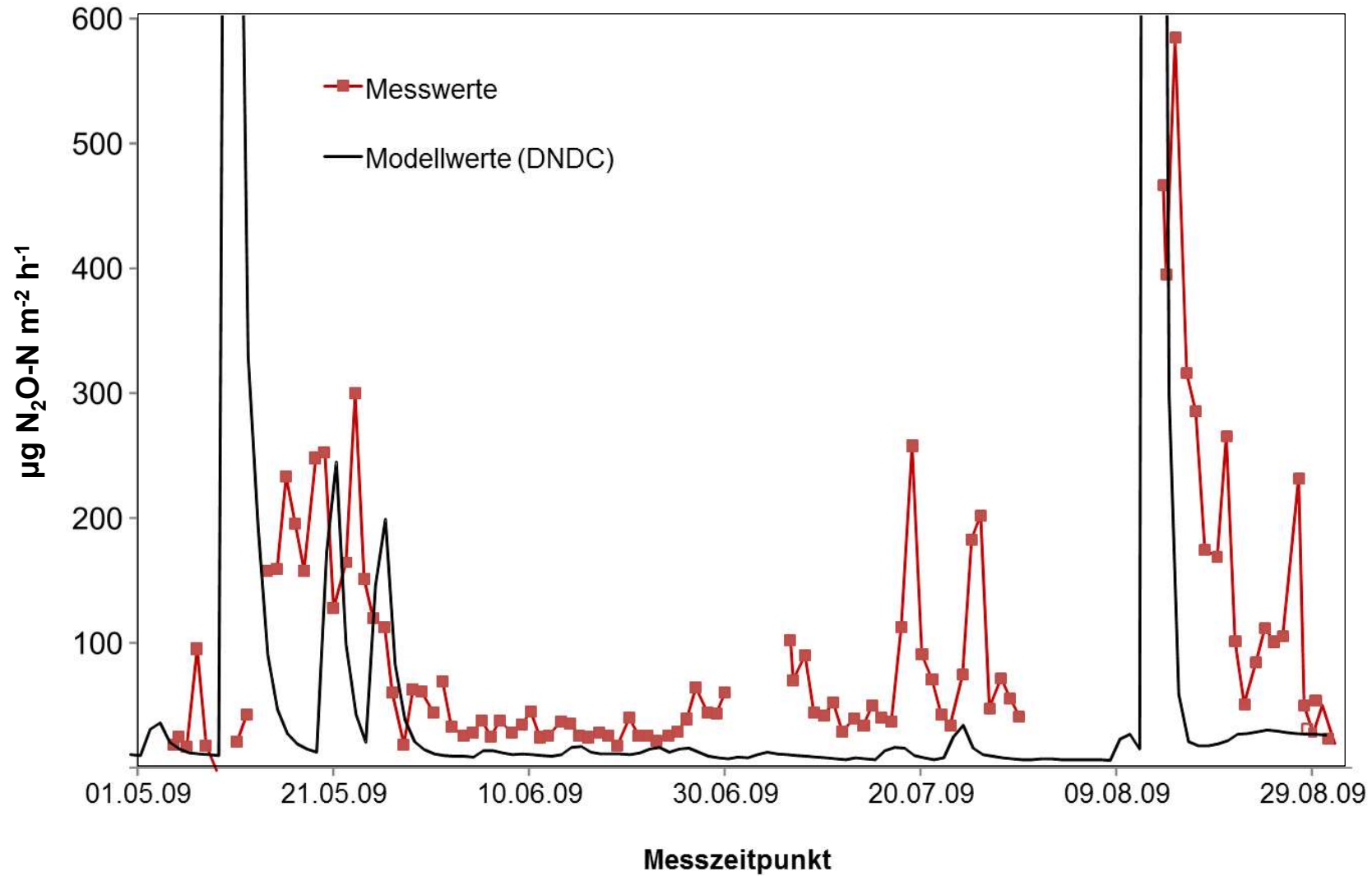
Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsbergen 2010)





N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

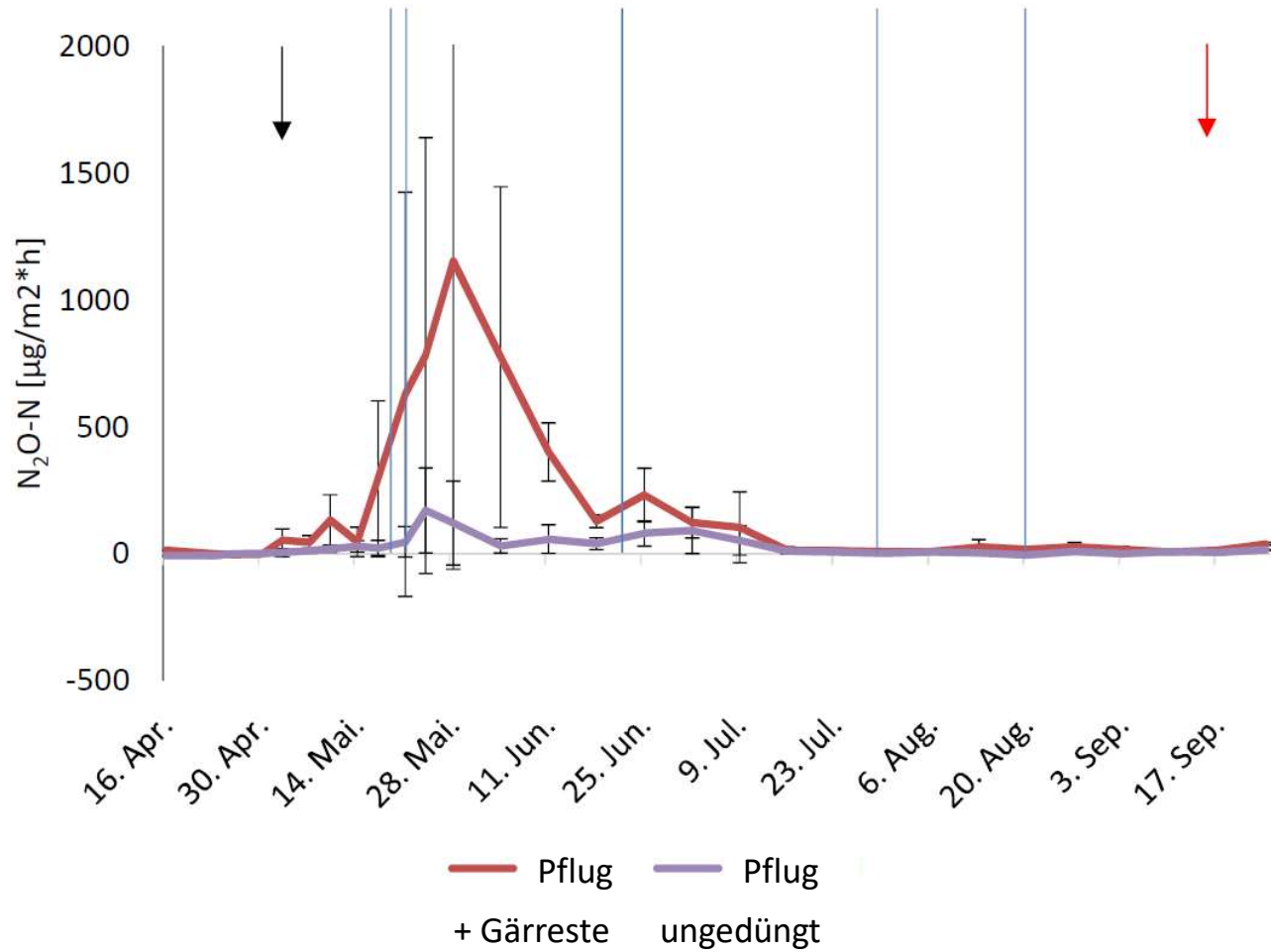
Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsergen 2010)





N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

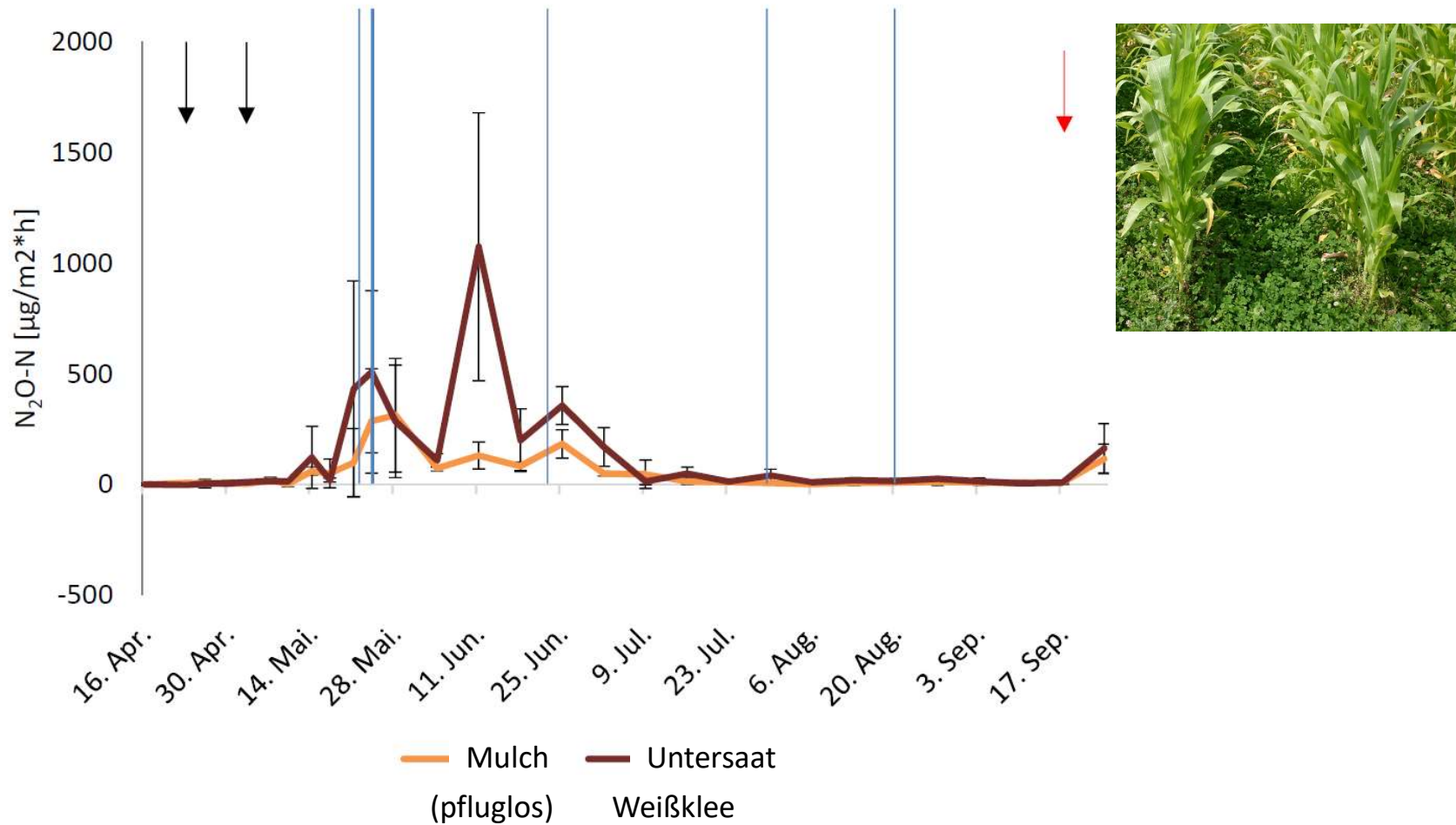
Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart 2019)





N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart 2019)





Kumulierte N₂O-Emissionen (kg ha⁻¹) beim Anbau von Silomais

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen



Variante	N ₂ O-Emissionen (14.04. bis 29.09.2019)	N ₂ O-Emissionen (14.04. bis 29.09.2020)
Pflug, ungedüngt	0,99 a	3,27 a
Pflug, Gärrest	5,65 c	19,05 b
Mulch, Gärrest	2,04 ab	6,29 ab
Untersaat Weißklee, Gärrest	4,92 ab	6,65 ab

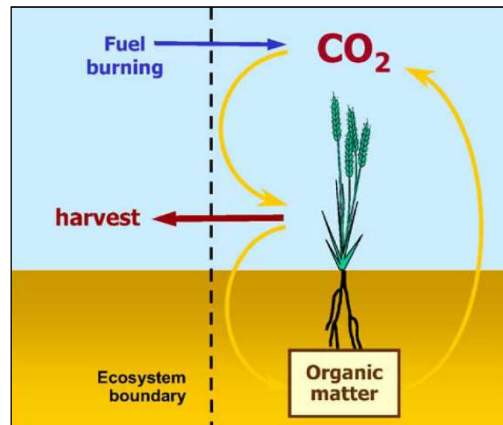


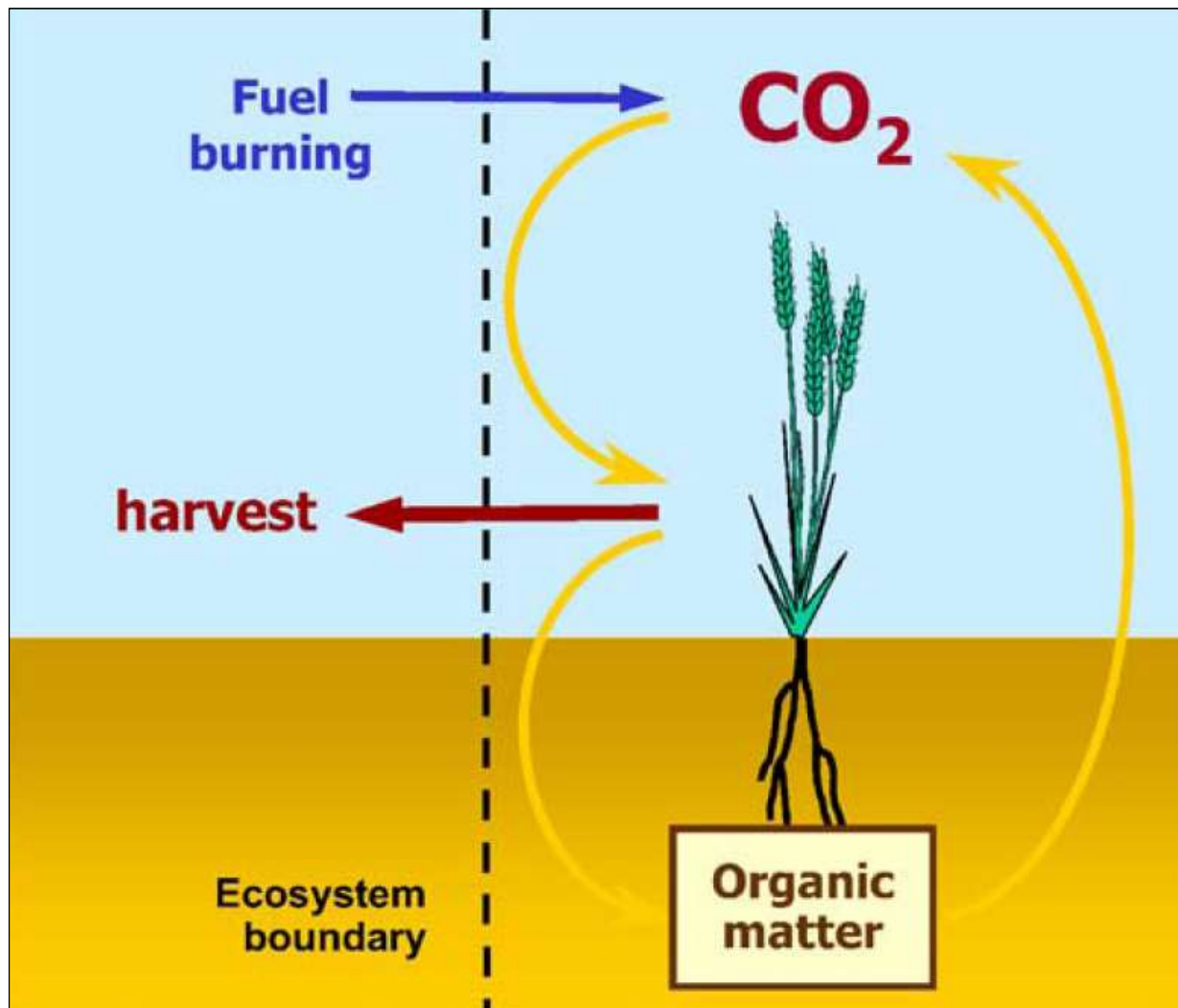
- **N-Saldo** = N-Input – N-Output = potenzielle N-Verluste
Ø Ökol. Pilotbetriebe: < 20 kg ha⁻¹ Ø Konv. Pilotbetriebe: > 50 kg ha⁻¹

- **N₂O-Emissionen:** zahlreiche, sich überlagernde Einflussfaktoren
steigende Emissionen mit steigendem N-Input
→ geringere flächenbezogene N₂O-Emissionen im Ökolandbau

- **Optimierungsansätze** Ökologischer Landbau
Klee gras-Management (Klee gras-Schnitt)
Zwischenfruchtanbau (N-Konservierung)
Angepasste Bodenbearbeitungsintensität
Bodenschadverdichtung vermeiden

C-Kreislauf und C-Speicherung in Böden







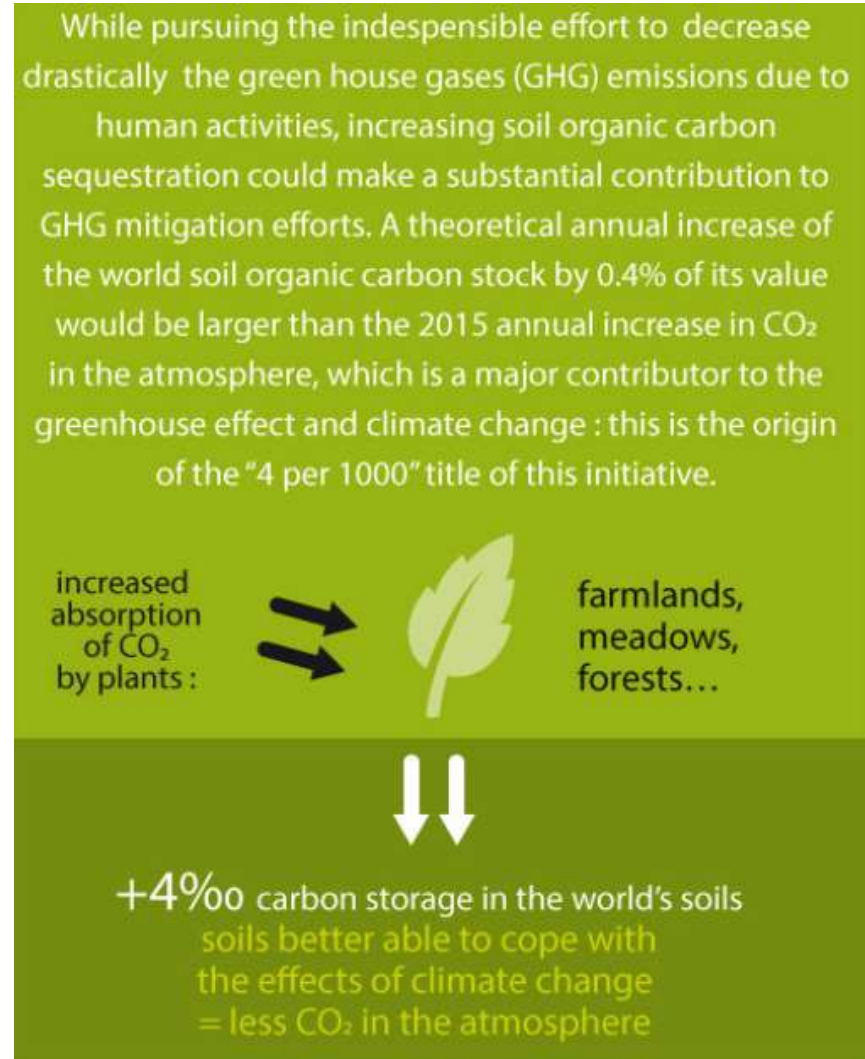
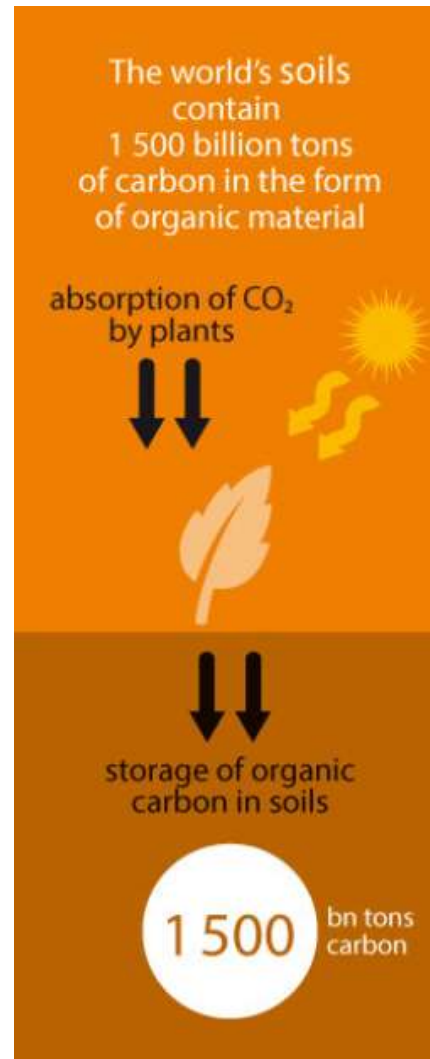
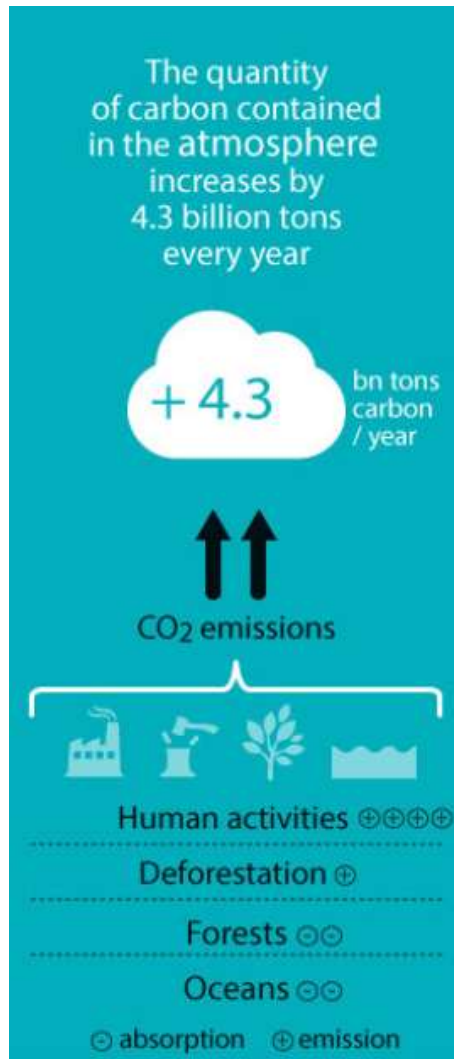
▪ **Ackerbauliche und ökologische Funktionen:**

- **Speicher und Transformator von Nährstoffen (N, P, S)**
wichtiger Pool im N-Kreislauf mit 95 bis 98 % des Boden-N
- **Förderung der bodenbiologischen Aktivität**, mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch Bodenfauna; phytosanitäre Wirkungen
- **Aufbau eines günstigen Bodengefüges**, Aggregatstabilität, Wasserspeicherung, Infiltrationsrate, Durchwurzelbarkeit
- **Senke für CO₂**, C-Speicherung
Beeinflussung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre (Klimarelevanz)



4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“

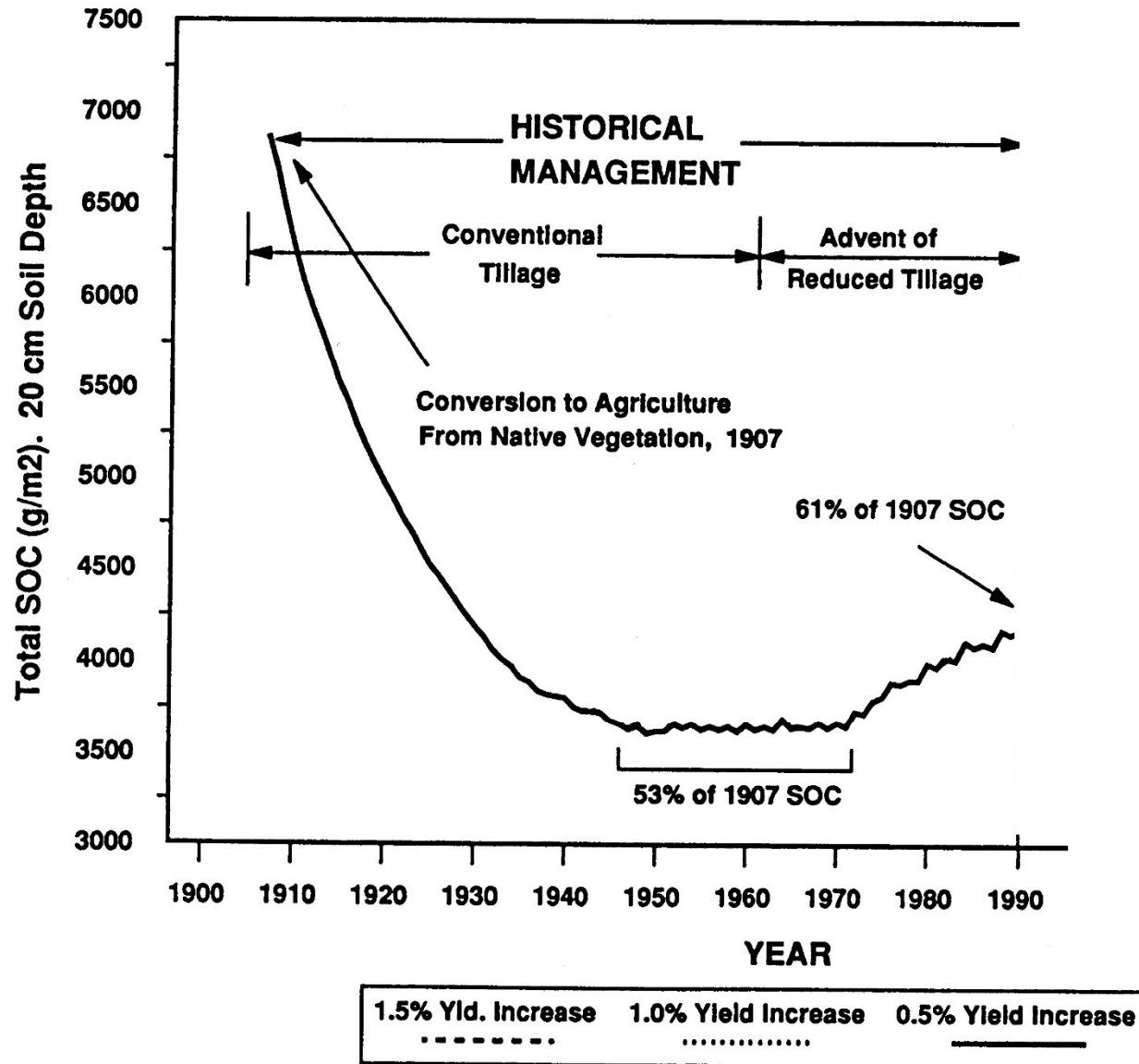
der französischen Regierung, Weltklimaverhandlungen im Dezember 2015 in Paris (COP21)





Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S.

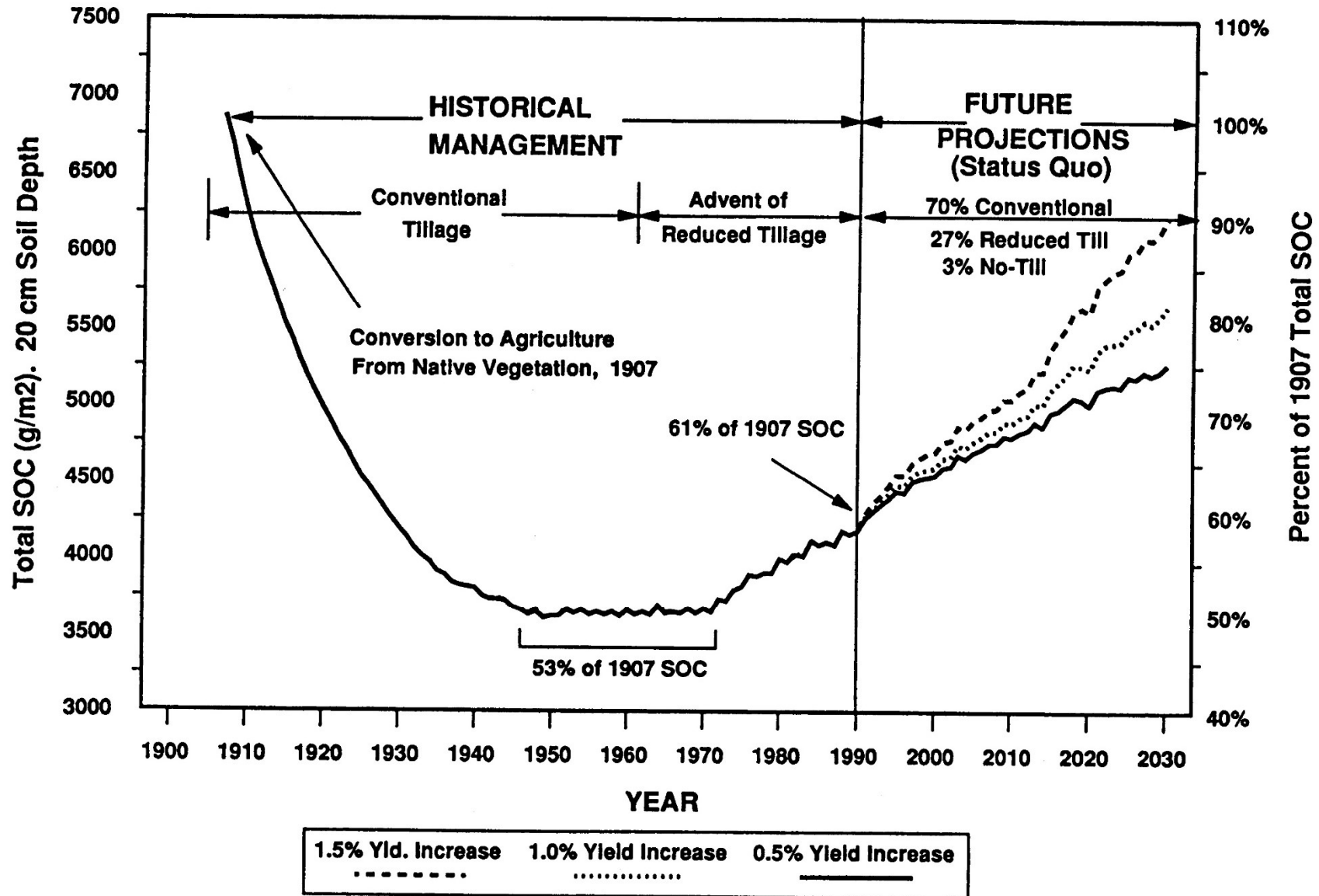
scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





Simulated (CENTURY model) total SOC for the central U.S.

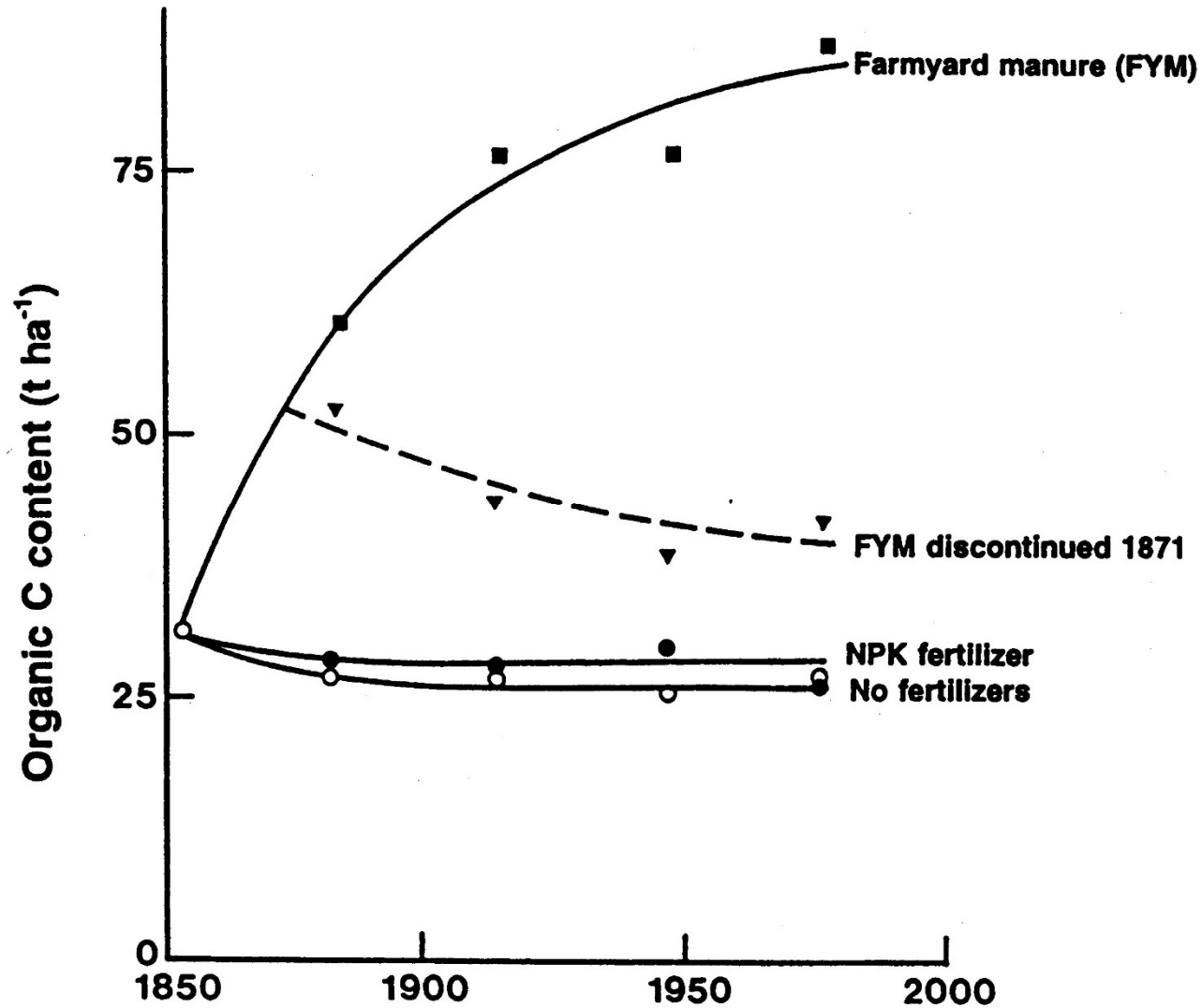
scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





Changes of soil organic C content in the Hoosfield

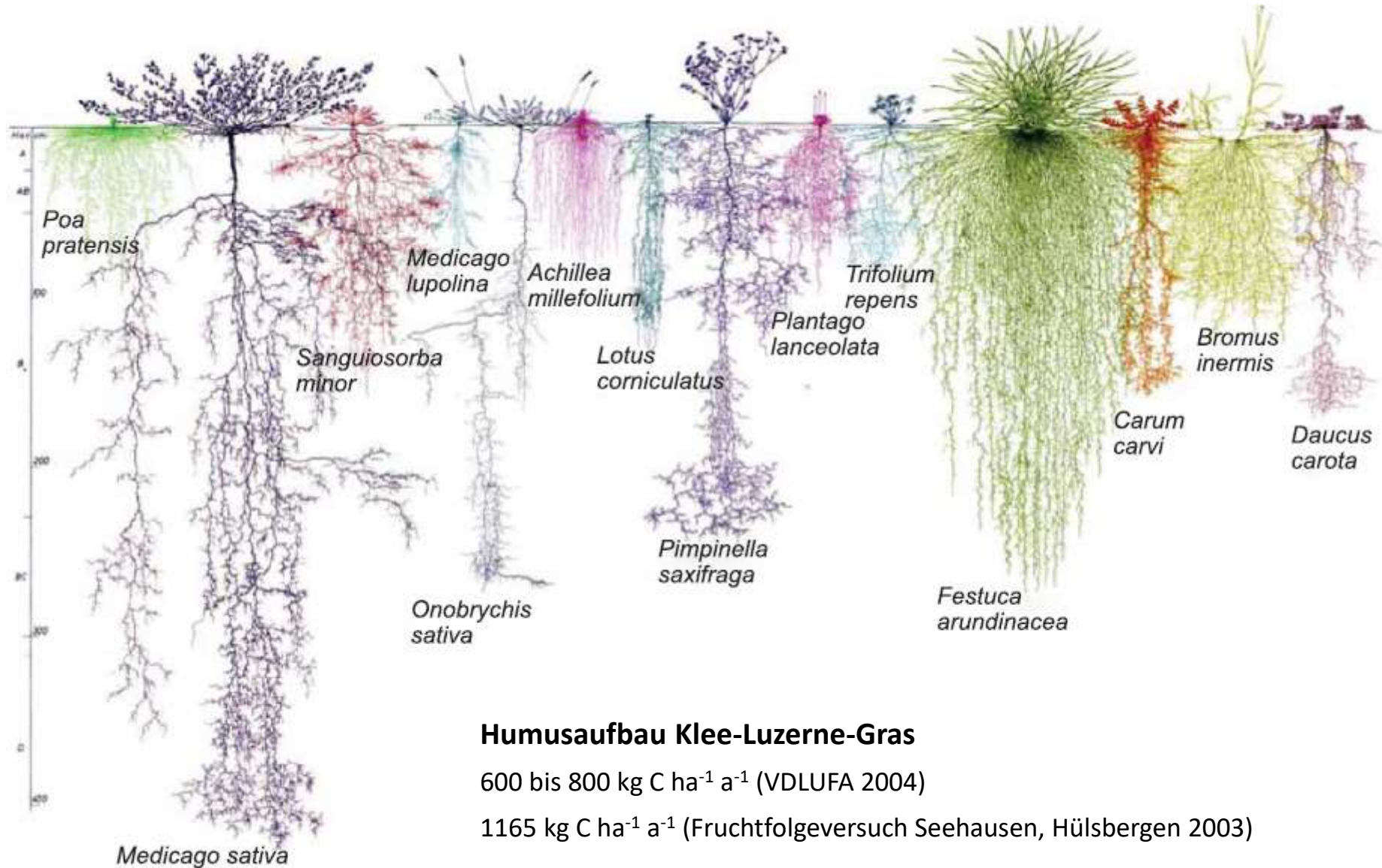
Continuous barley experiment (JOHNSTON 1986)





Root distribution pattern of species used in a grass-clover mixture

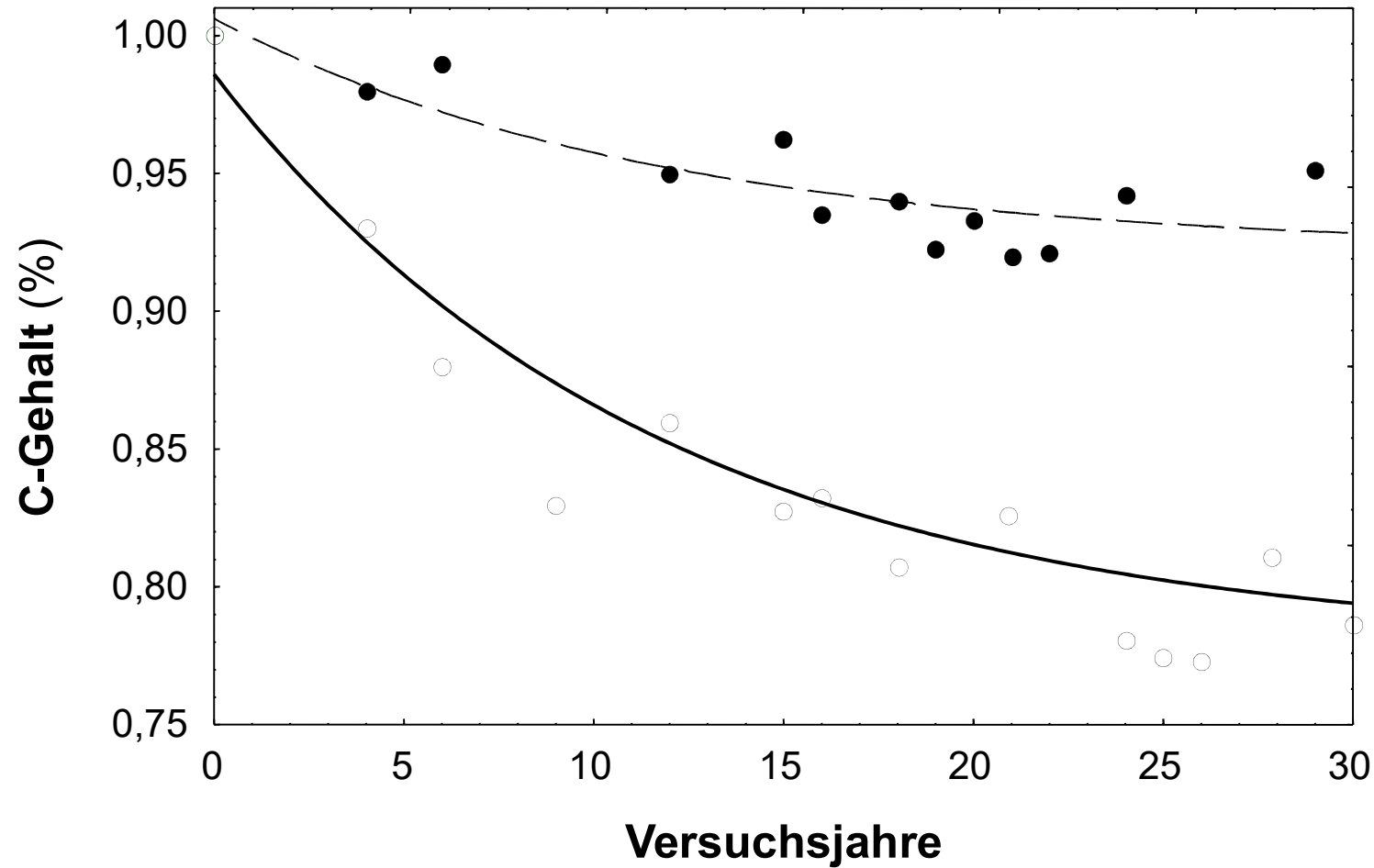
Braun M., Schmid H., Grundler T. & Hülsbergen, K.-J. (2010): Plant Biosystems 144, 414-419.





Einfluss von Klee-Luzerne-Gras auf die C_{org} -Gehalte

Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (Hülsbergen 2003)



● Fruchtfolge mit Klee-Luzerne-Gras ○ Fruchtfolge ohne Klee-Luzerne-Gras



Einfluss des Luzerneanbaus auf die C_{org} -Gehalte und -Vorräte

Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm, 6. Fruchtfolge (30 Jahre)



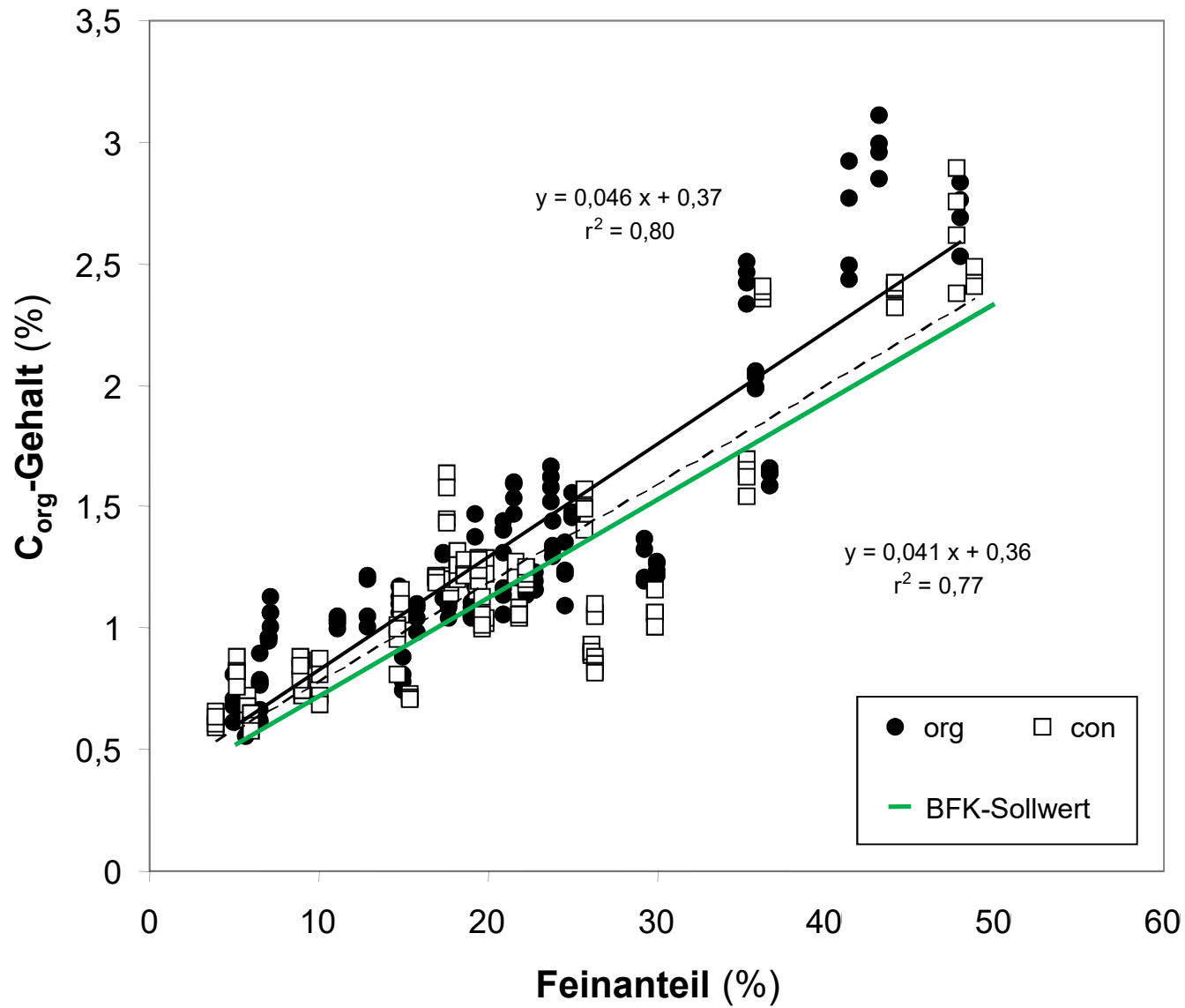
Bodentiefe cm	C _t -Gehalt mg/100g Boden			Δ C _t -Vorrat kg/a	Δ CO ₂ - Bindung kg/a
	FF III	FF V	Differenz		
0 - 20	830	990	+ 160	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 138	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 168	+ 616
0 - 60			+ 447	+ 466	+ 1708

TRD: Schicht 0 - 20 cm: 1,5 g cm⁻³, Schicht 20 - 60 cm: 1,6 g cm⁻³



Abhängigkeit des C_{org} -Gehaltes von der Bodentextur

(Hoyer & Hülsbergen 2007)





Treibhausgasbilanz im Pflanzenbau

Chmelikova et al. (2019)



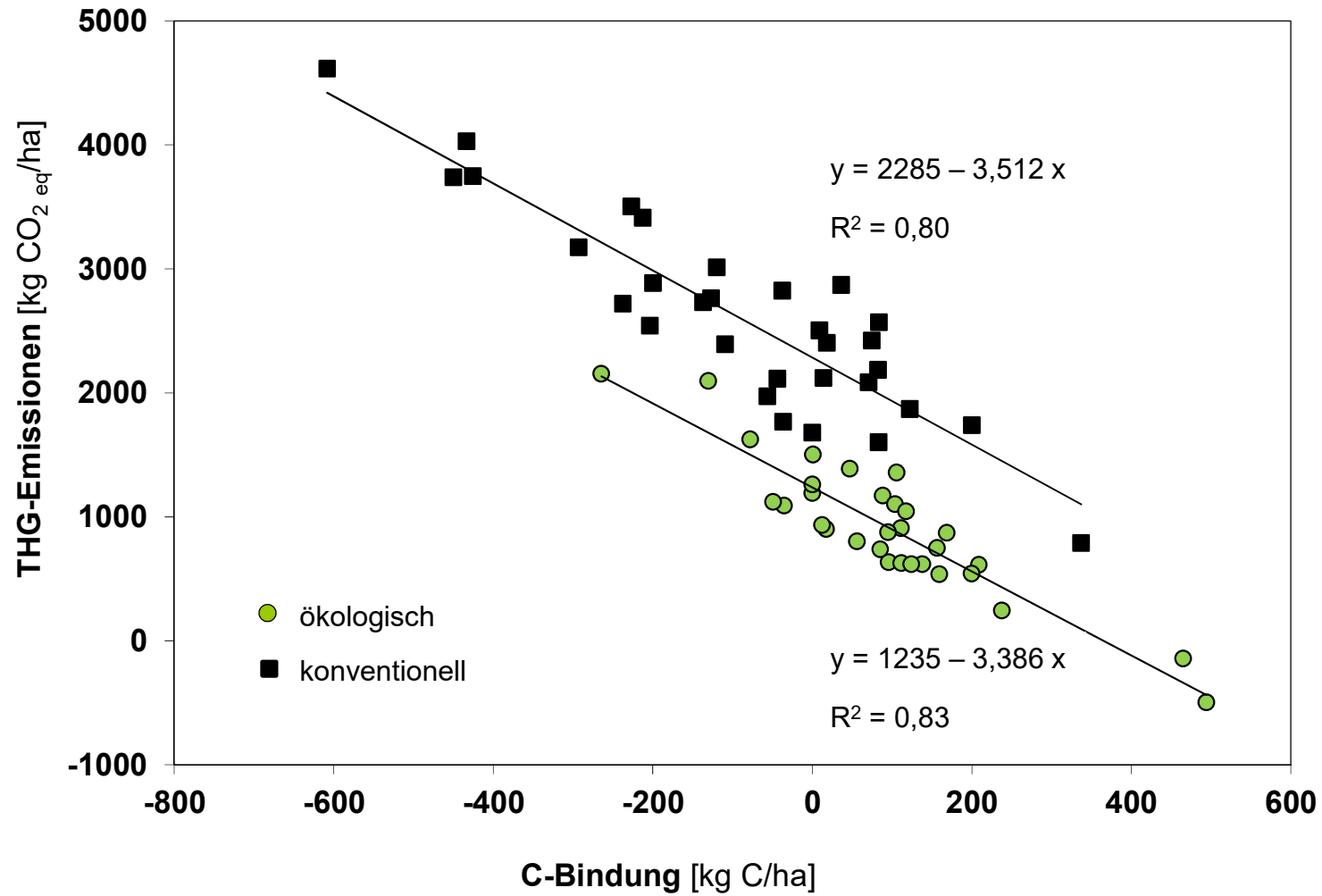
Parameter	ME	Ökologischer Landbau		Konventioneller Landbau	
		Marktfrucht (n = 12)	Milchvieh (n = 20)	Marktfrucht (n = 13)	Milchvieh (n = 20)
CO₂-Emissionen *	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	484 b	308 a	1061 d	722 c
C-Sequestrierung	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	-99 ab	-488 a	538 b	185 b
N₂O-Emissionen	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	788 a	910 a	1370 b	1467 b
THG-Emissionen	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	1173 a	730 a	2970 b	2375 b
THG-Emissionen	kg CO ₂ eq GE ⁻¹	31 b	18 a	33 b	33 b
THG-Emissionen	kg CO ₂ eq GJ ⁻¹	16 bc	7 a	20 c	13 b

* CO₂- Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie



C-Sequestrierung und flächenbezogene THG-Emissionen

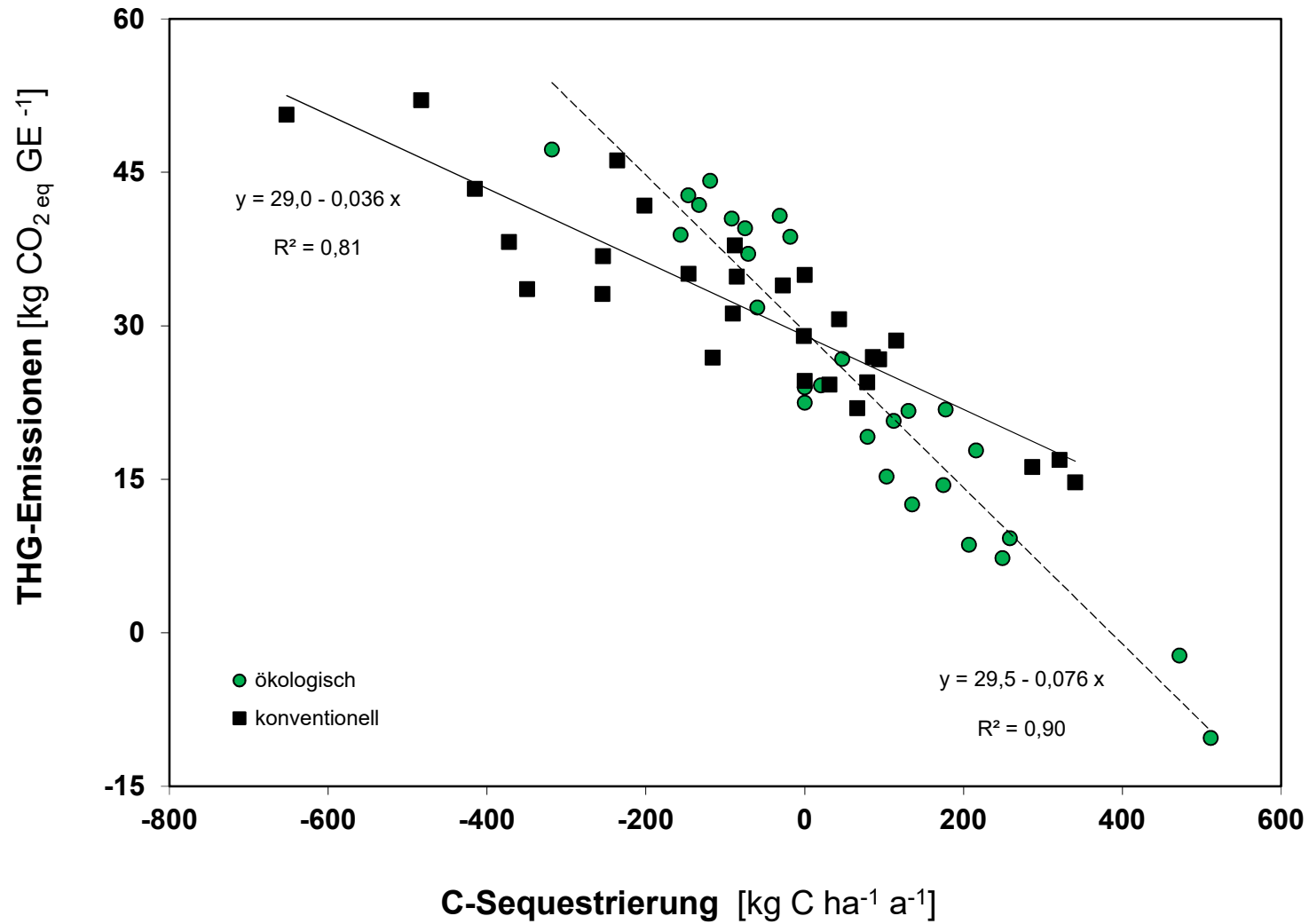
Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülsbergen 2012)





C-Sequestrierung und produktbezogene THG-Emissionen

Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülsbergen 2012)

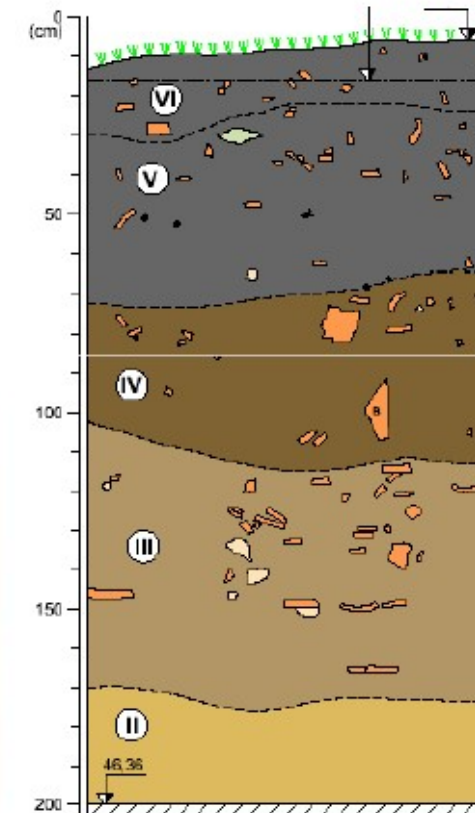




**Natürlicher Boden
des Amazonas**

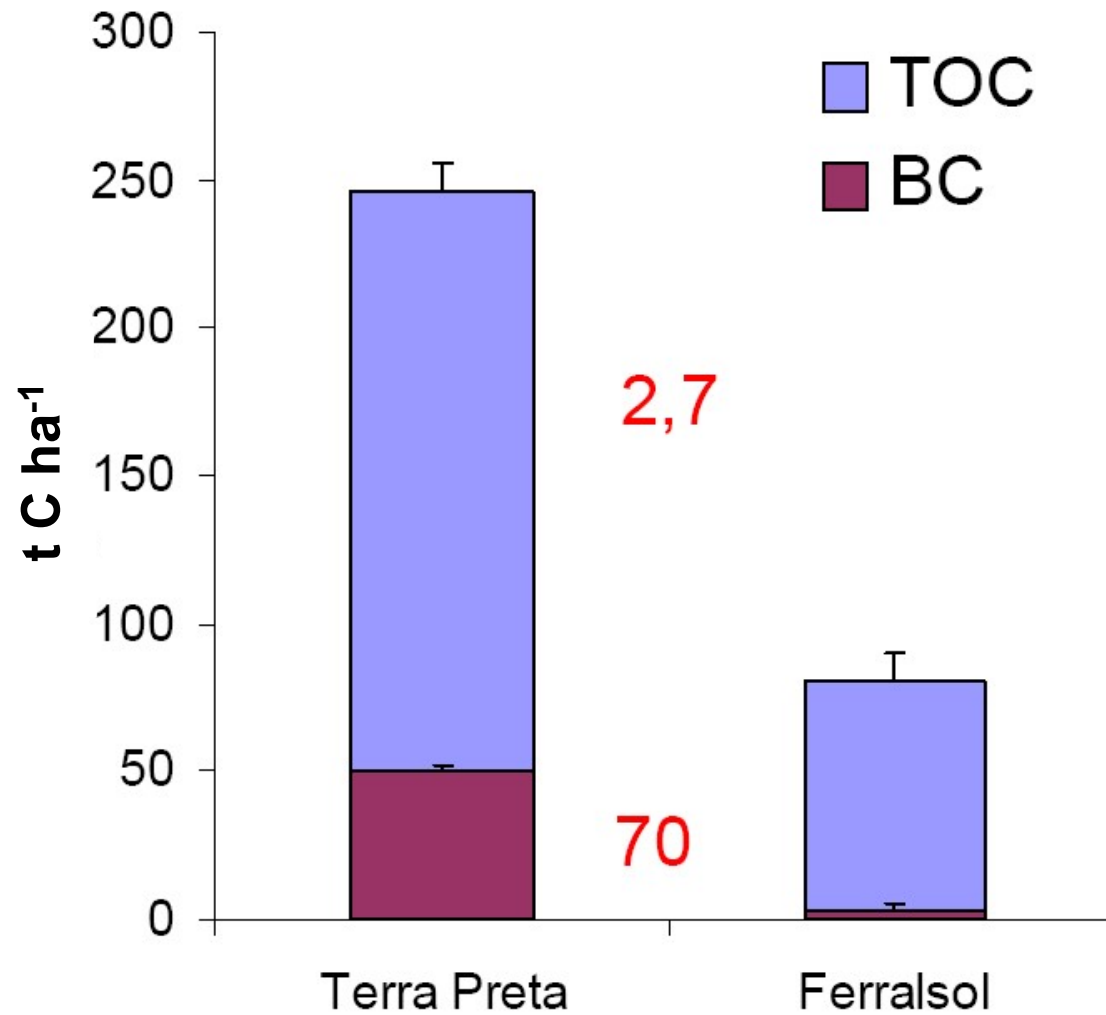


Terra Preta



**Tonscherben
im Bodenprofil**

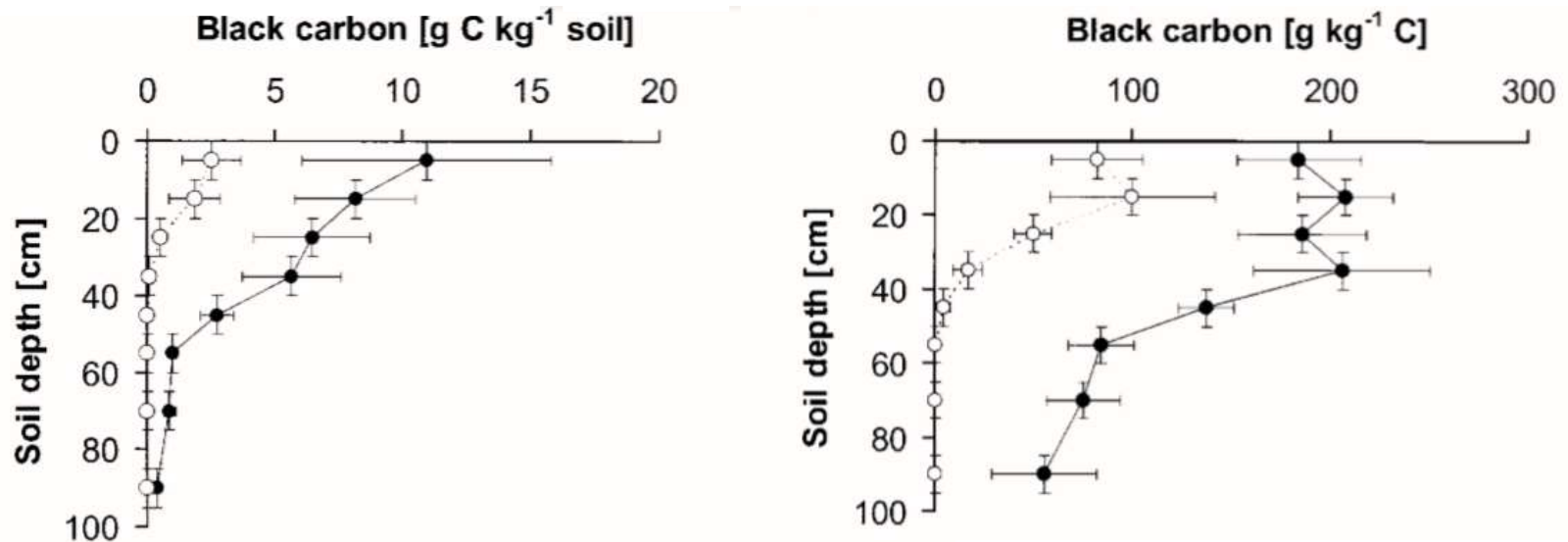
Terra preta (portugiesisch für „schwarze Erde“) = fruchtbarer, im Amazonasbecken anzutreffender anthropogener Boden, der in einem jahrhundertelangen Prozess durch den Einsatz von Holzkohle, Fäkalien und Kompost entstanden ist.





Black carbon in Terra Preta soils and nearby Oxisols

(Glaser et al. 2001)



Mean concentrations and standard deviations of black carbon in the fine earth of Terra Preta soils (●) and nearby Oxisols (○) with increasing profile depth

Eigenschaften der Terra Preta

- hohe Kohlenstoff-, Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität
- hohe Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit



Dauerfeldexperiment mit Pflanzenkohle

Versuchsstation Roggenstein (Jaufmann 2020)





Nutzungspotenziale von Pflanzenkohle und Terra Preta in der Bayerischen Landwirtschaft – Beitrag zu Klimaschutz und Klimaanpassung (TerraBayt)

Gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Projektbeginn: 01.01.2022

Dauerfeldexperimente in Versuchsstationen der TUM

Feldexperimente (On-Farm-Research) in Modellregionen

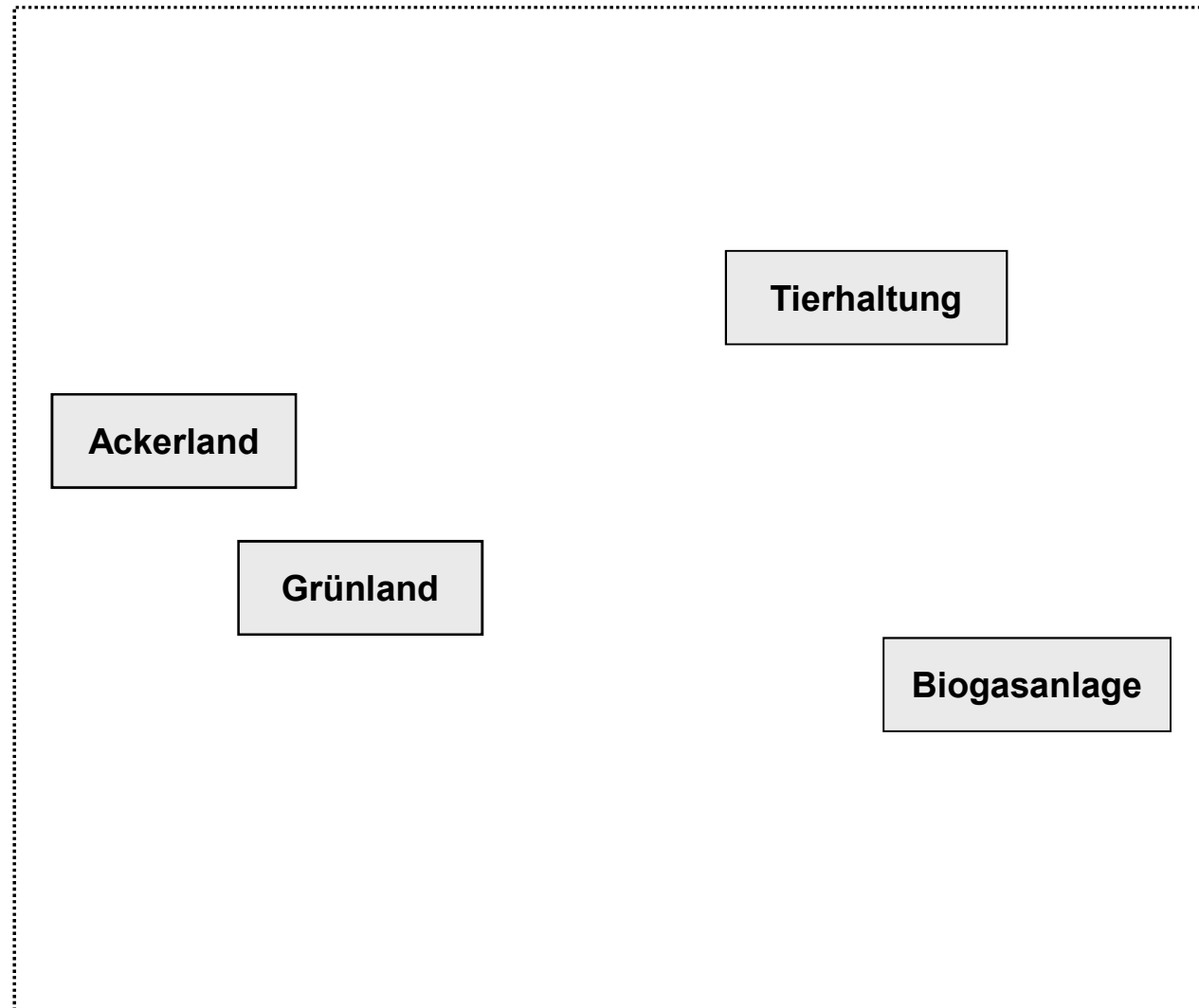




- **Humusbilanz und C-Sequestrierung** sind relevante Größen im **globalen Kohlenstoffkreislauf**
- **Humusbilanz:** positive Humusbilanzen im Ökolandbau abhängig von der Fruchtfolge (Klee grasanteil) und dem Tierbesatz
- **C-Anreicherung ist begrenzt** (theoretisches und nutzbares Potenzial)
Win-Win-Situation: Humusaufbau – C-Bindung – Bodenfruchtbarkeit – Ertragssteigerung
→ Anpassungsstrategie im Klimawandel (klimaresilienter Pflanzenbau)
- **Humusaufbau als ökologische Leistung**
CO₂-Zertifizierung?

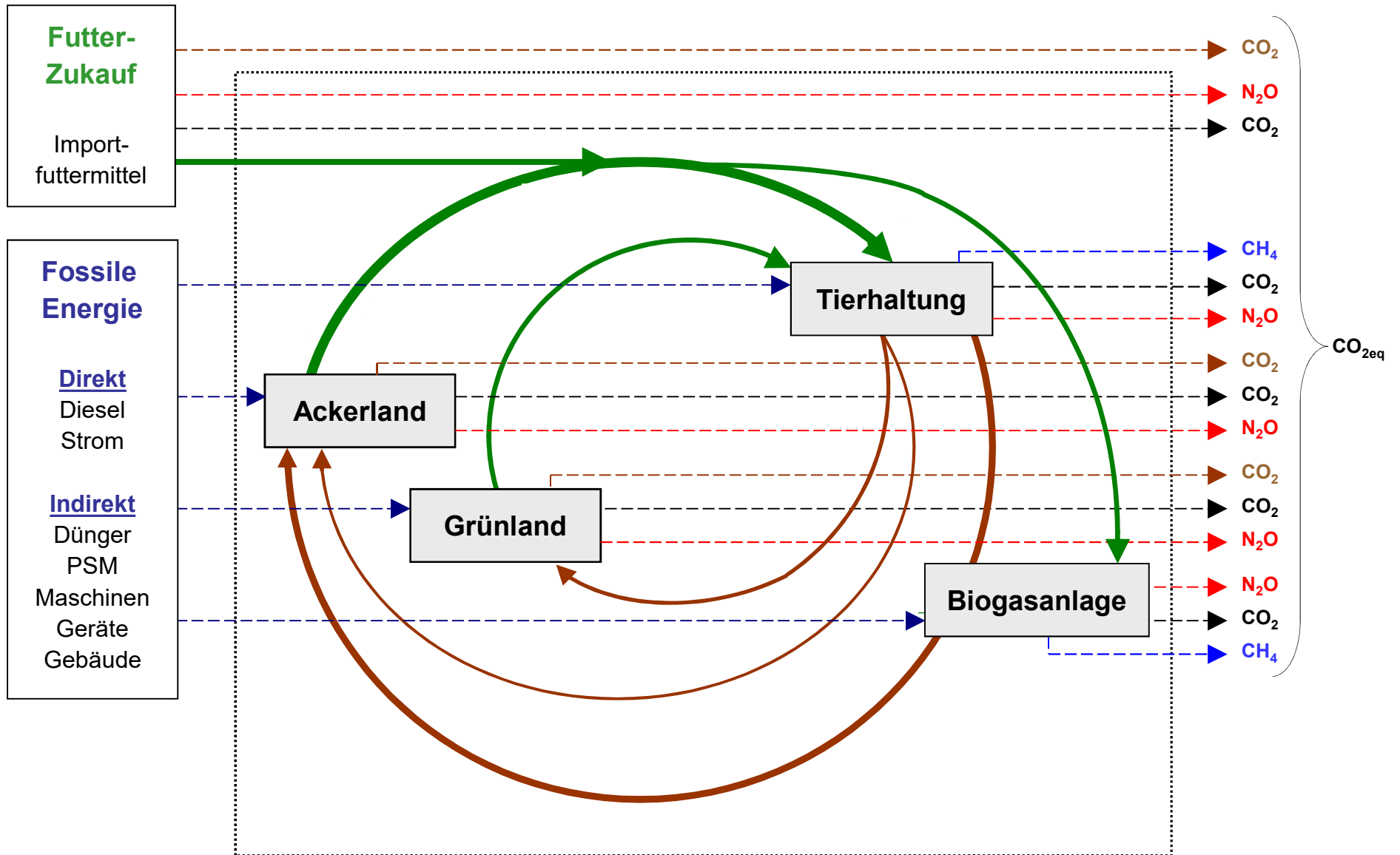
Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung







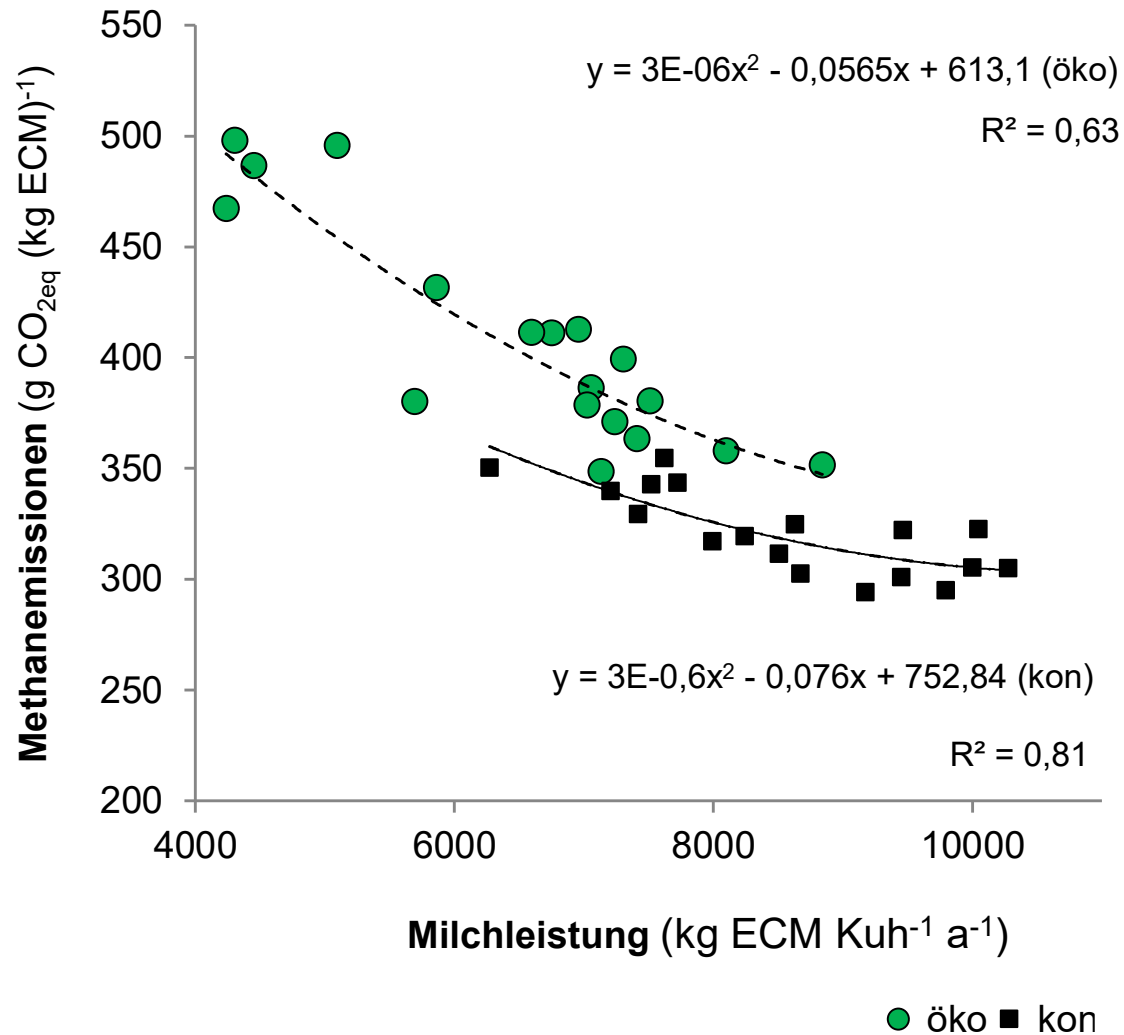
Treibhausgasbilanz: Relevante Stoff- und Energieflüsse





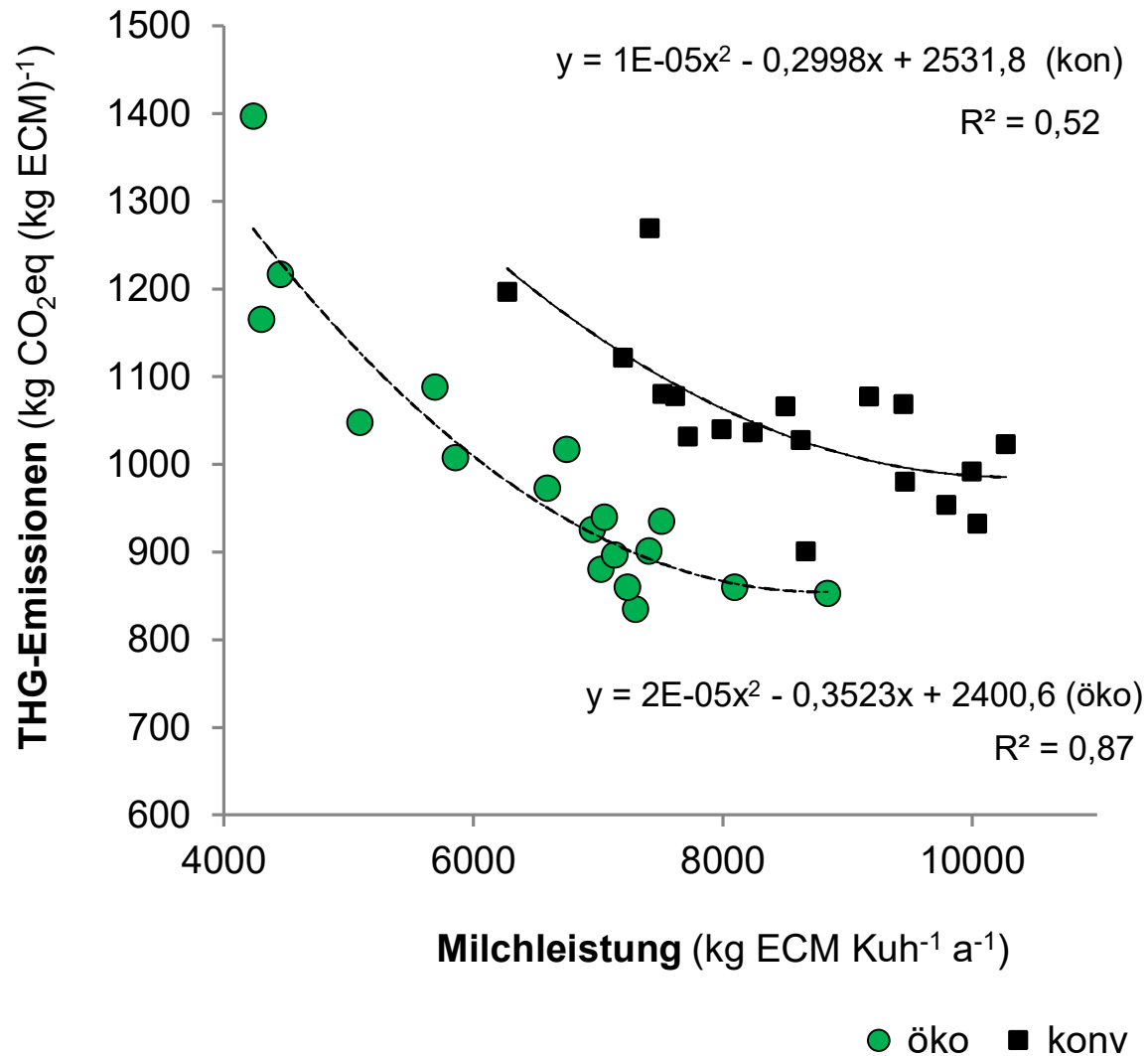


Beziehung zwischen der Milchleistung und den Methanemissionen je kg Milch (Frank, Schmid & Hülshagen 2014)





Beziehung zwischen der Milchleistung und den Treibhausgasemissionen je kg Milch (Frank, Schmid & Hülsgen 2021)





- **Die Klima- und Umweltwirkungen der Milchviehhaltung sind komplex und nicht auf die stoffwechselbedingten Methanemissionen zu reduzieren.**
- **Zur Analyse und Optimierung der Klimawirkungen ist ein Systemansatz notwendig, der alle relevanten Stoff- und Energieflüsse einschließt.**
- **Leistungssteigerung ist eine Strategie zur Emissionsminderung. Die höchste Milchleistung führt aber nicht immer zu den geringsten CO_{2eq}-Emissionen.**
- **Milchkühe sind für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Humusaufbau, Nährstoffkreisläufe) und der Ertragsfähigkeit wichtig.**

**Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer
und konventioneller Betriebssysteme
- Untersuchungen in einem Netzwerk von
Pilotbetrieben**

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.)

Thünen Report 8

**Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer
und konventioneller Betriebssysteme –
Untersuchungen in einem Netzwerk von
Pilotbetrieben**

Forschungsergebnisse 2013-2014

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.)

Thünen Report 29

Energiebilanzen und Energieeffizienz des Pflanzenb

Untersuchungen in einem Netzwerk der Pilotbetriebe

Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen,
Harald Schmid,
Lehrstuhl für Ökologischen
Landbau und Pflanzen-
bausysteme, Technische

Ein Grundprinzip des ökologischen Landbaus ist der schonende Umgang mit nicht erneuerbaren Ressourcen. Hierzu zählt der sparsame Einsatz fossiler Energie. Eine Möglichkeit,

nutzung. Da in heutigen Produktionsverfahren jeder Arbeitsgang – von der Bodenbearbeitung und Aussaat über die Düngung, den Pflanzenschutz bis zu Ernte und Transport

- Wie hoch sind die Sparpotenziale in der Energieeffizienz der Produktion? Wie könnte eine Energieeffiziente Zukunft aussehen?