

Klimawirkungen von Landbausystemen



18. Wintertagung, Agrarbündnis Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow, 15.03.2023



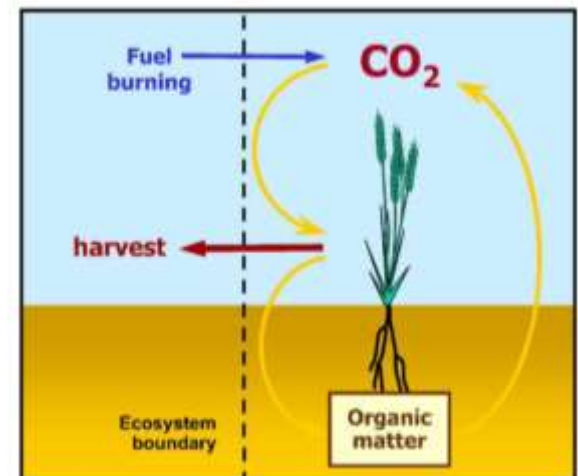
- **Problemstellung**
- **Treibhausgasemissionen, Einflussfaktoren und Minderungsstrategien**
- **Humusaufbau und Bodenkohlenstoffbindung**
- **Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**



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

CO₂ eq / ha (Fläche)

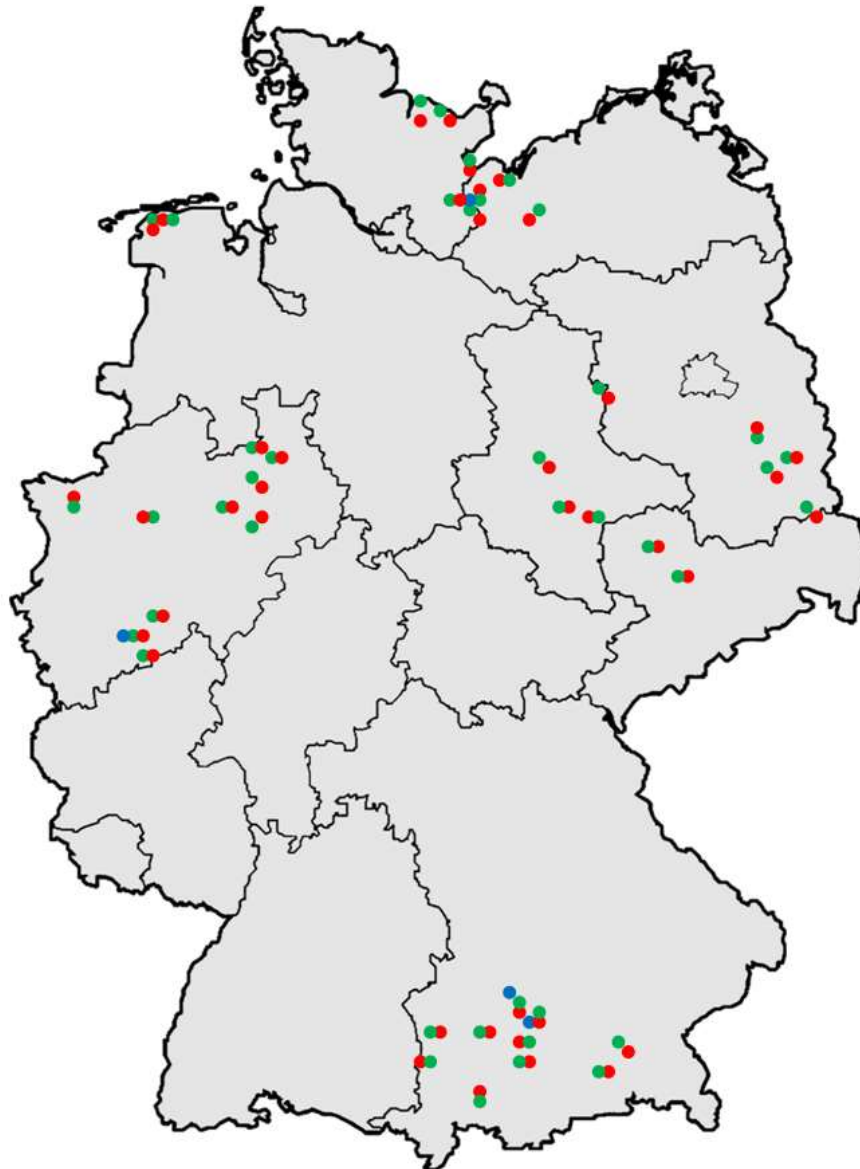
CO₂ eq / GJ (Produkt)





| Treibhausgas | Konzentration (ppm) | | Lebensdauer | GWP |
|------------------|---------------------|------|-------------|-------|
| | vorindustriell | 2022 | | |
| | | | a | 100 a |
| CO ₂ | ~ 280 | 420 | variabel | 1 |
| CH ₄ | 0,70 | 1,91 | 12 | 25 |
| N ₂ O | 0,27 | 0,35 | 114 | 298 |

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



80 Pilotbetriebe

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

Transdisziplinäres Forschungsprojekt
2008 - 2022

www.pilotbetriebe.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Analyse, Bewertung und Optimierung von Fruchtfolgesystemen Langzeitwirkungen auf Böden, Pflanzen und Umwelt



Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

Anlagejahr 2005

Systemversuch Viehhausen

Anlagejahr 2009

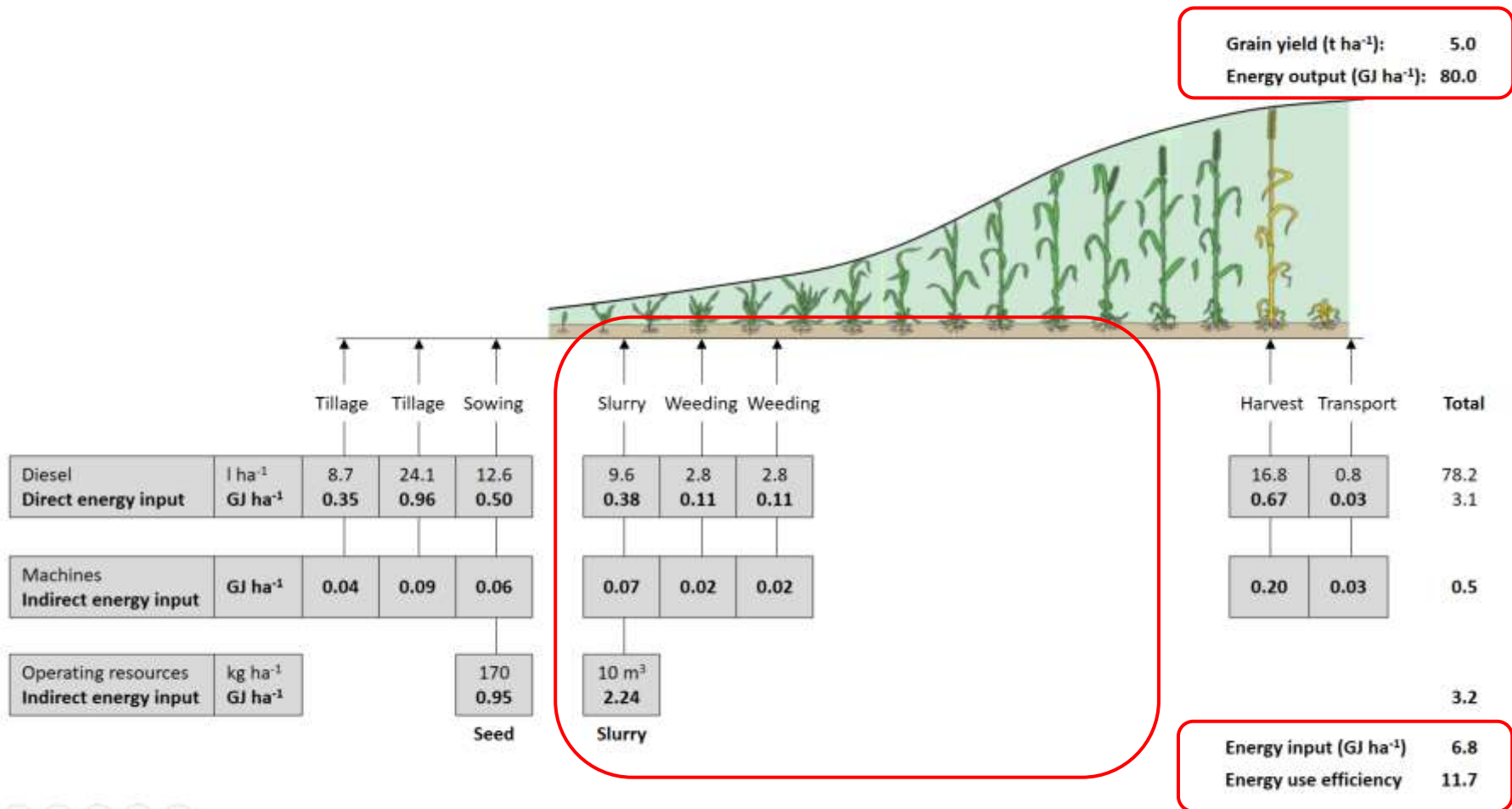
Energieflüsse und CO₂-Emissionen

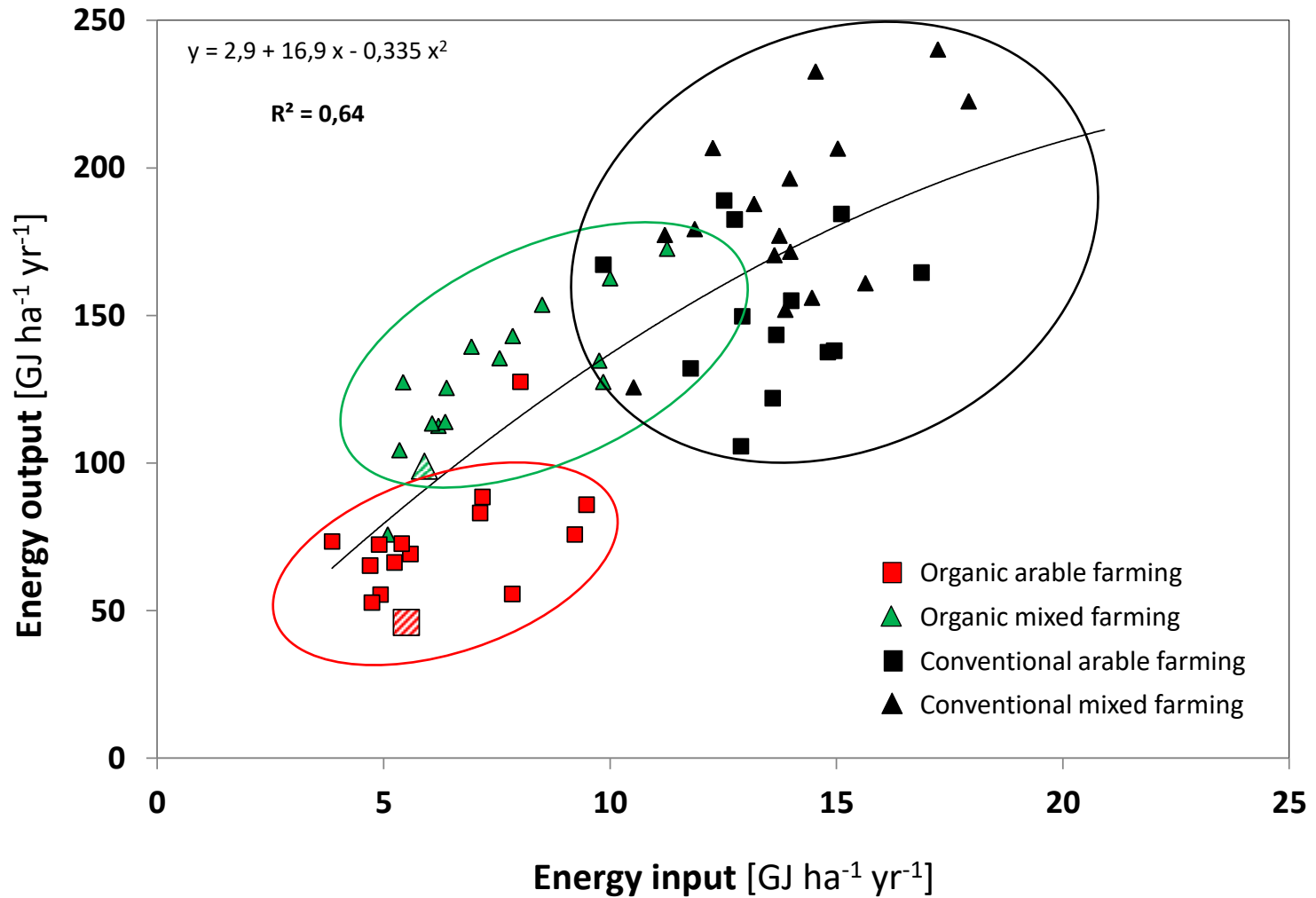




Einsatz fossiler Energie beim Anbau von Winterweizen

Ökologischer Pilotbetrieb, Chmelikova, Schmid & Hülsbergen (2023)

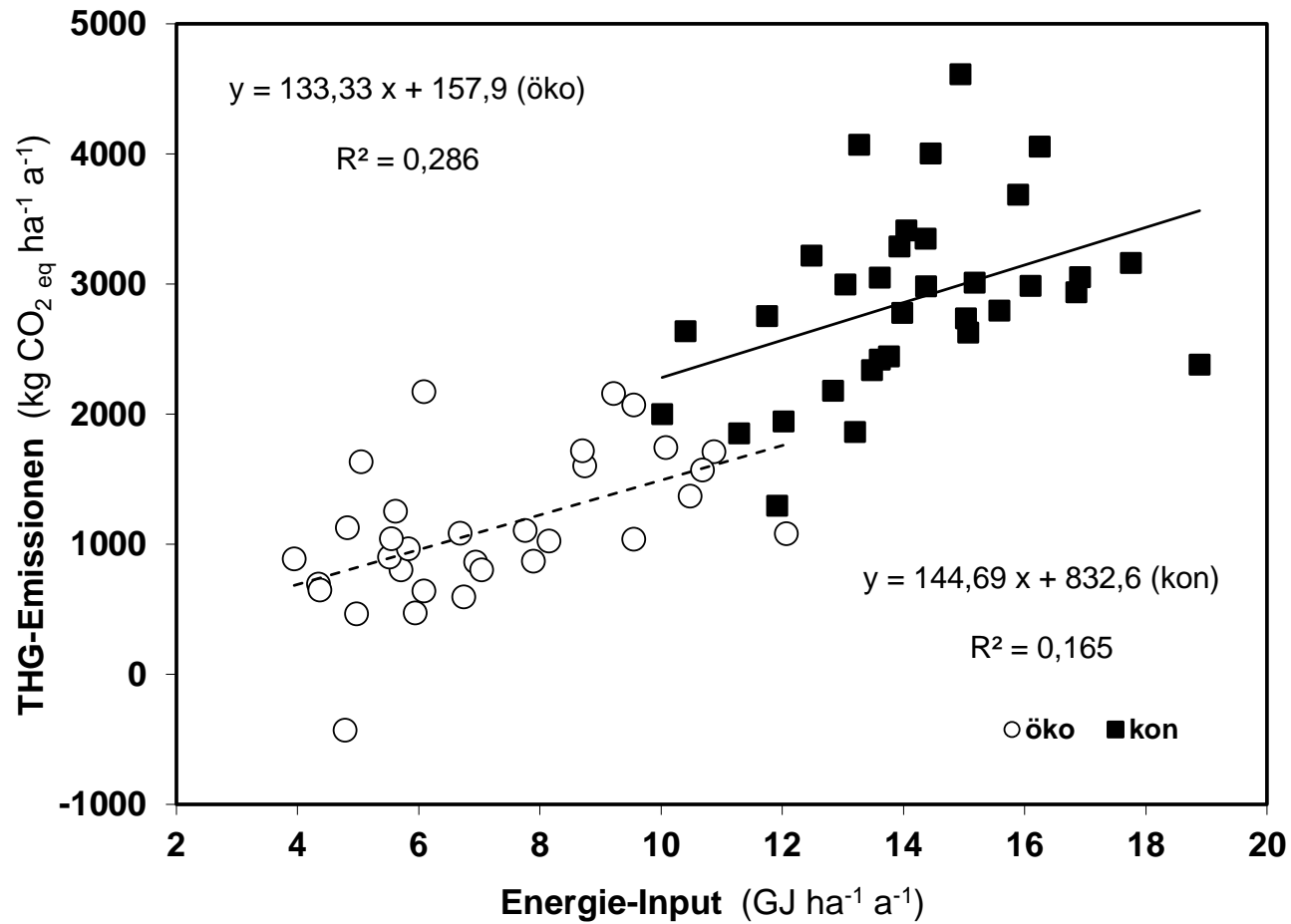






Beziehung zwischen Energieinput und THG-Emissionen

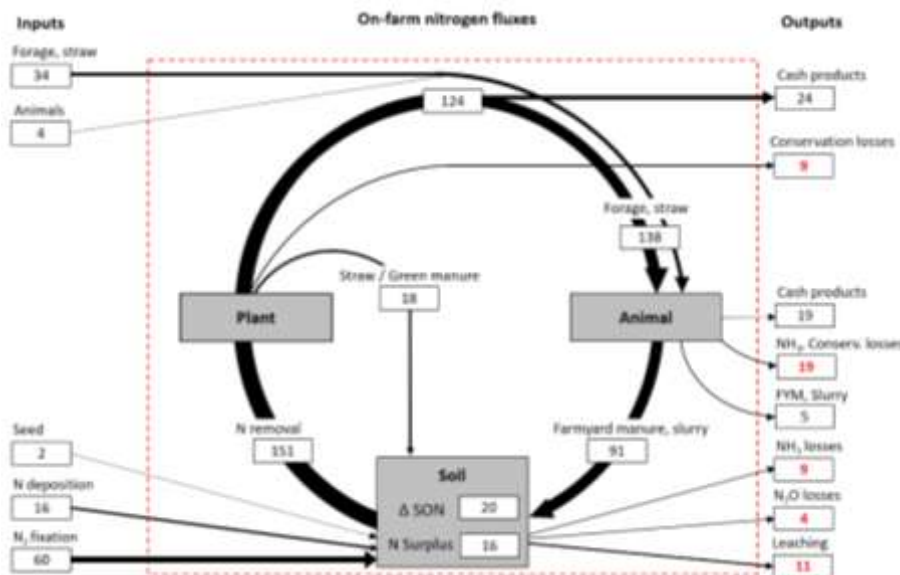
Pilotbetriebe (Schmid et al. 2022)





- **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, ...

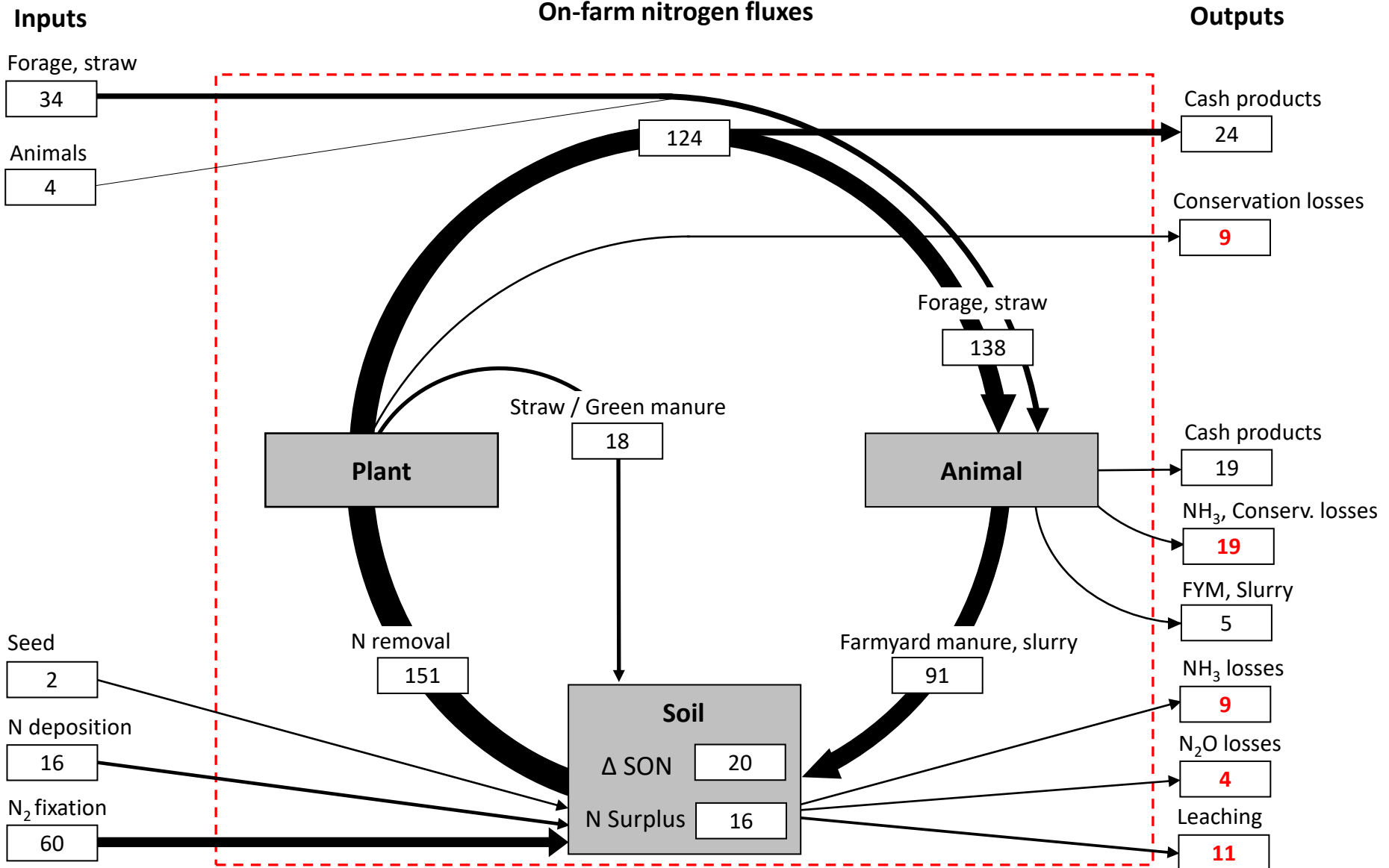
Stickstoffkreislauf und N₂O-Emissionen





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 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 |

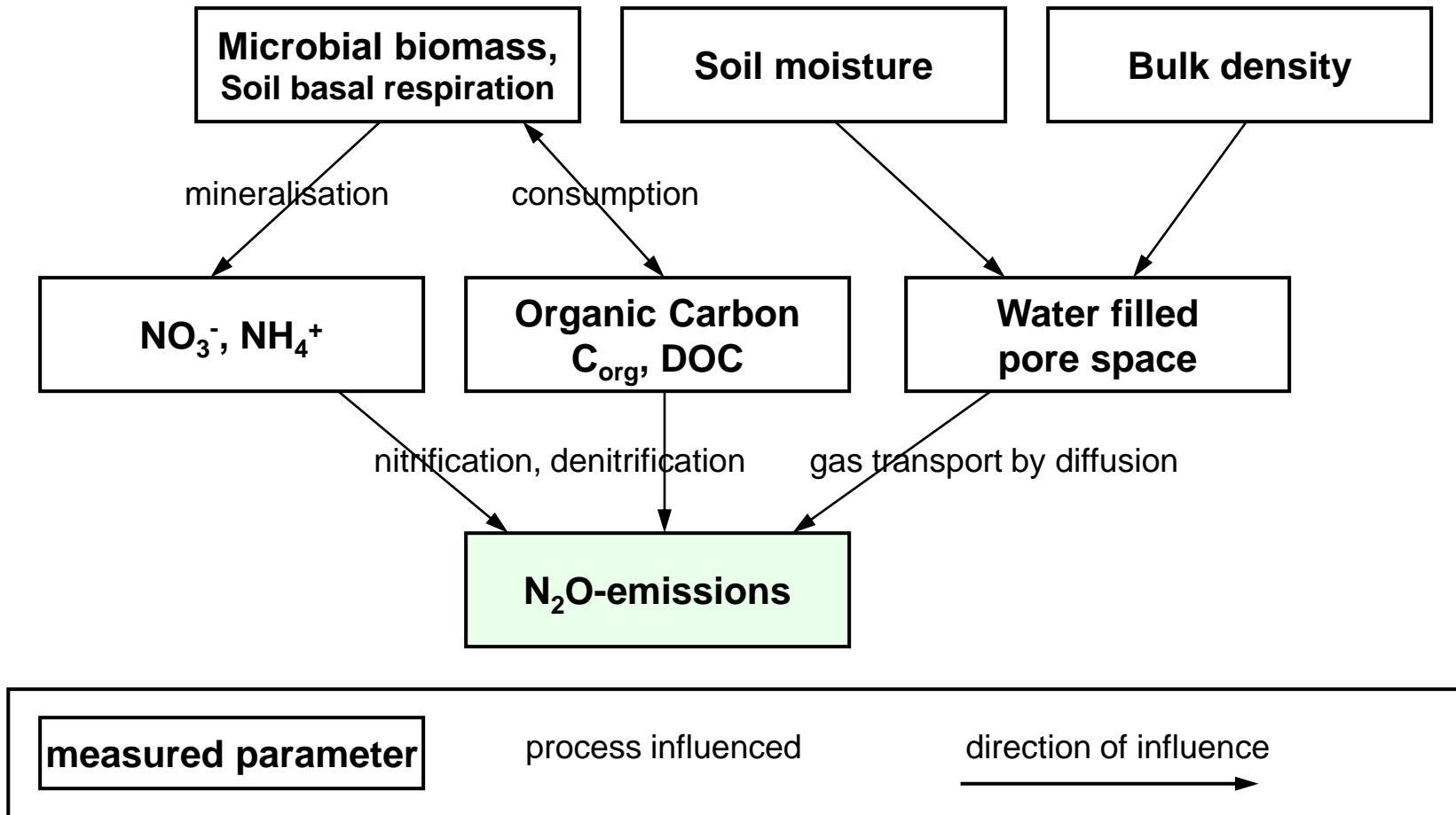


Lachgasmessung mit der Closed-Chamber-Methode

(Winkhart et al. 2022)



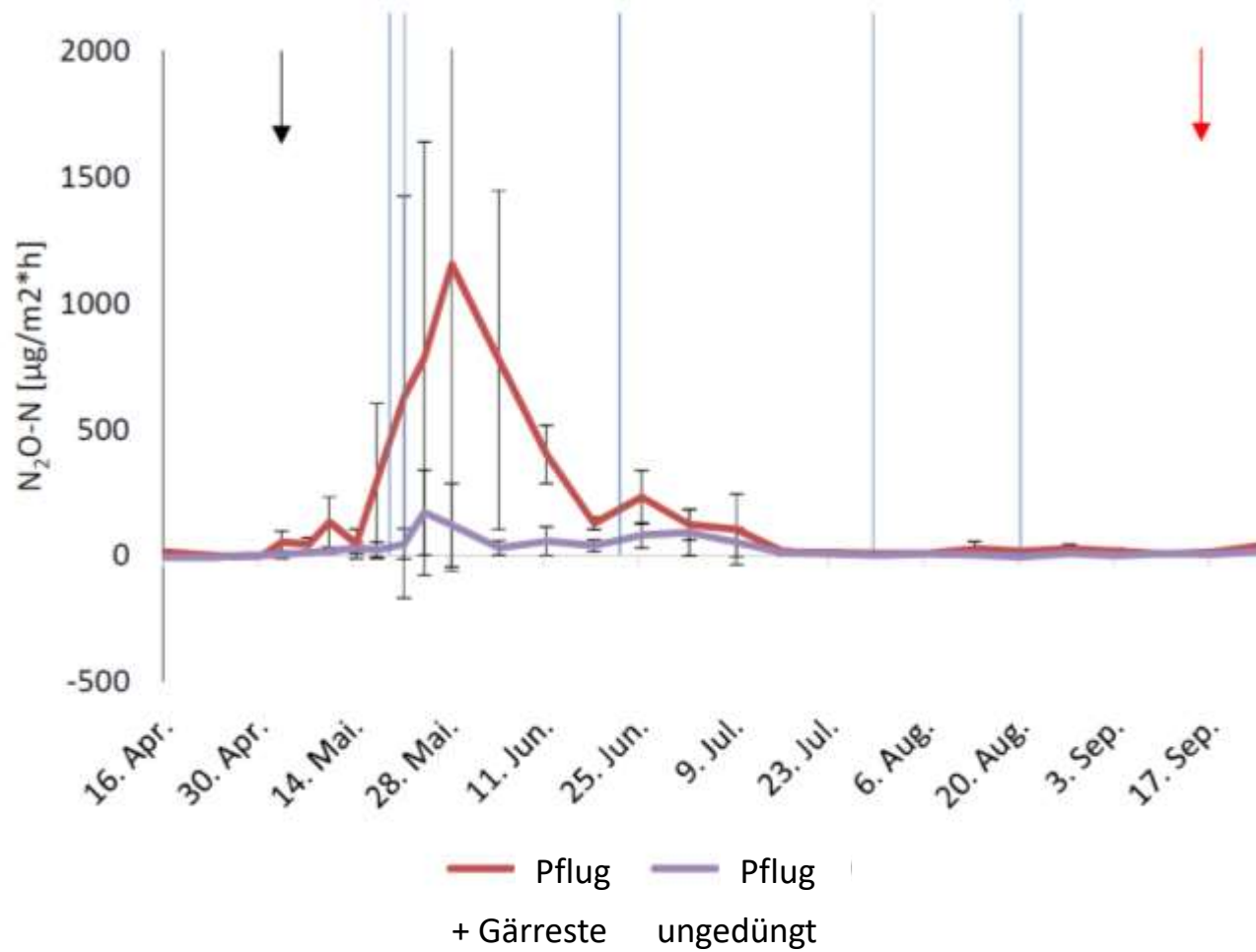
Lachgasmessung mit der Closed-Chamber-Methode
in einem Klee grasbestand (links) und in einem Weizenbestand mit Haubenverlängerung (rechts)
in der Versuchsstation Viehhausen der Technischen Universität München





N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

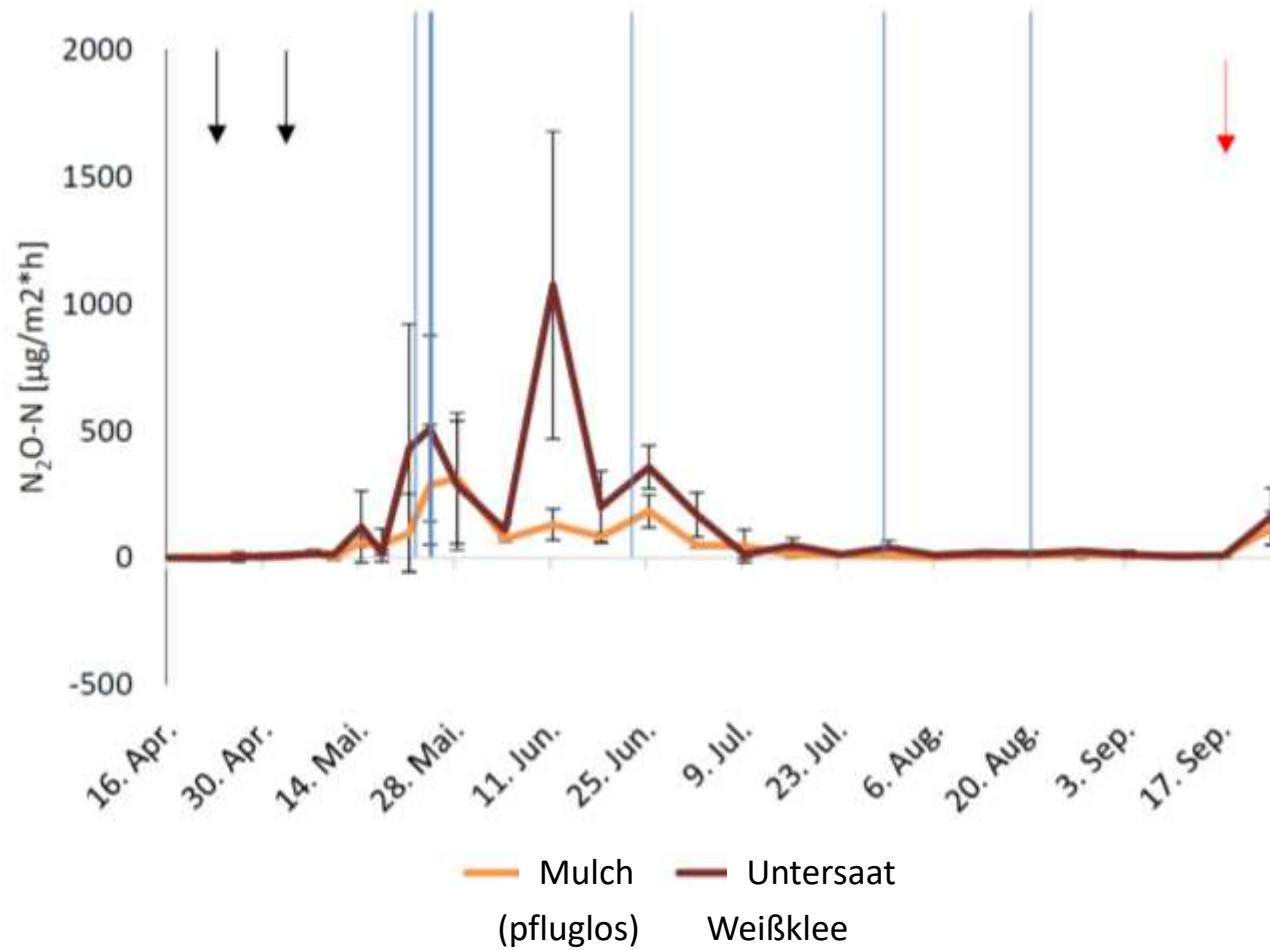
Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart et al. 2022)





N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart et al. 2022)





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

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart et al. 2022)



| 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 |

LUMBRICO

KONSERVIERENDER ÖKOLOGISCHER LANDBAU

**BETRIEBS-
REPORTAGE**

Dammkultur in
Unterfranken

SOJA ON TOP

Relay Cropping von
Weizen und Soja

ZWISCHENFRÜCHTE

Konsequentes
Anbaumanagement



PFLANZENBAU / KLIMAWANDEL



Melnhäube im untersuchten Bestand.

Wirkungen von Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und Gärrestdüngung im ökologischen Maisanbau

WIE STEHT ES UM DIE EMISSIONEN?

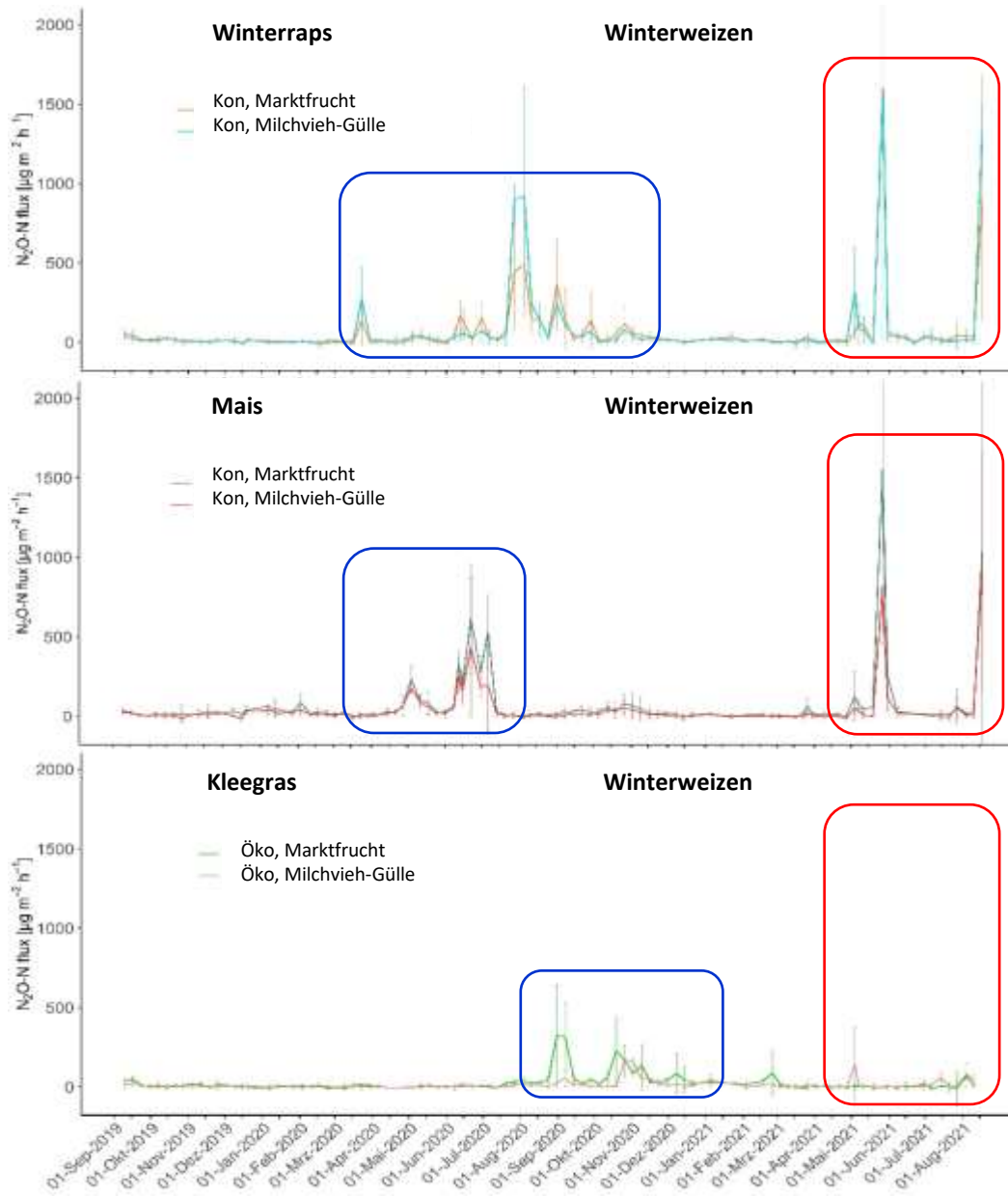
Felicitas Winkhart, Stefan Kimmelman und Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen, TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme

Der Silomaisanbau gewinnt im ökologischen Landbau an Bedeutung und damit auch seine Umwelt- und Klimaauswirkungen. Wie sich die Düngung von Gärresten in Kombination mit verschiedenen Winterzwischenfrüchten und Intensitäten bei der Bodenbearbeitung im Maisanbau auswirkt, wird in einem Langzeit-Feldversuch in Süddeutschland untersucht.



N₂O-Emissionen ökologischer und konventioneller Systeme

Versuchsstation Viehhausen, Systemversuch (Winkhart et al. 2022)



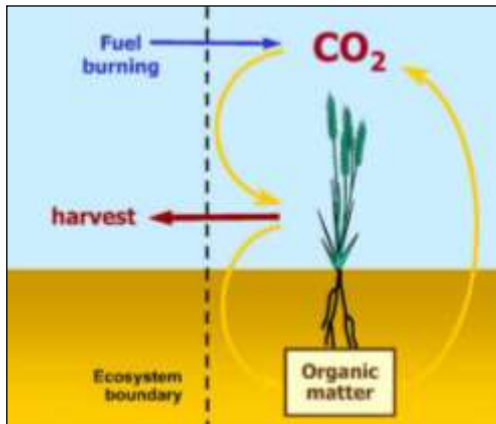


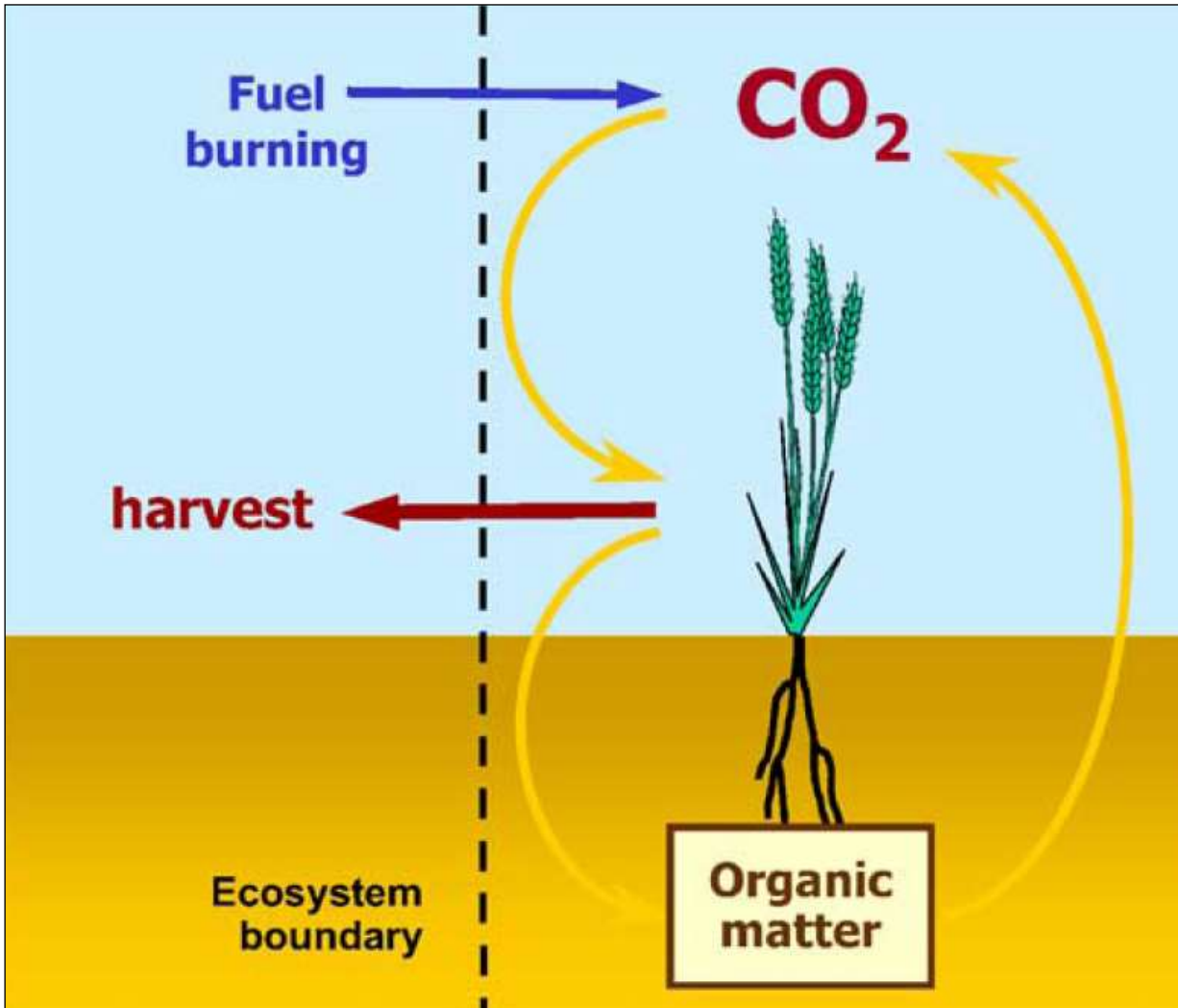
- **N-Saldo** = N-Input – N-Output = potenzielle N-Verluste
Ø Ökol. Pilotbetriebe: < **20 kg ha⁻¹** Ø Konv. Pilotbetriebe: > **50 kg ha⁻¹**

- **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

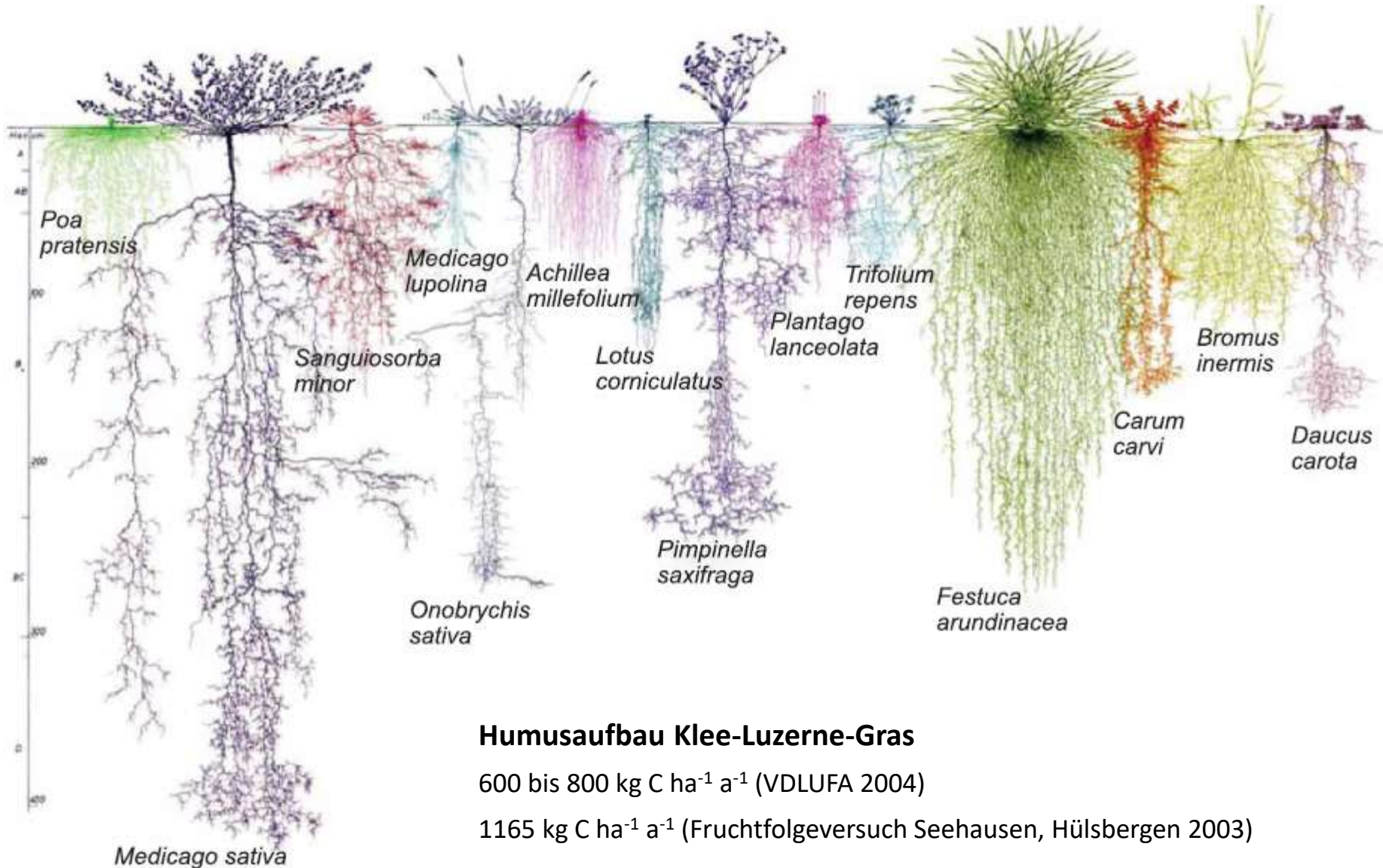






Root distribution pattern of species used in a grass-clover mixture

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





Correlation between the proportion of clover-grass leys and the SOC-Content (%), Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen



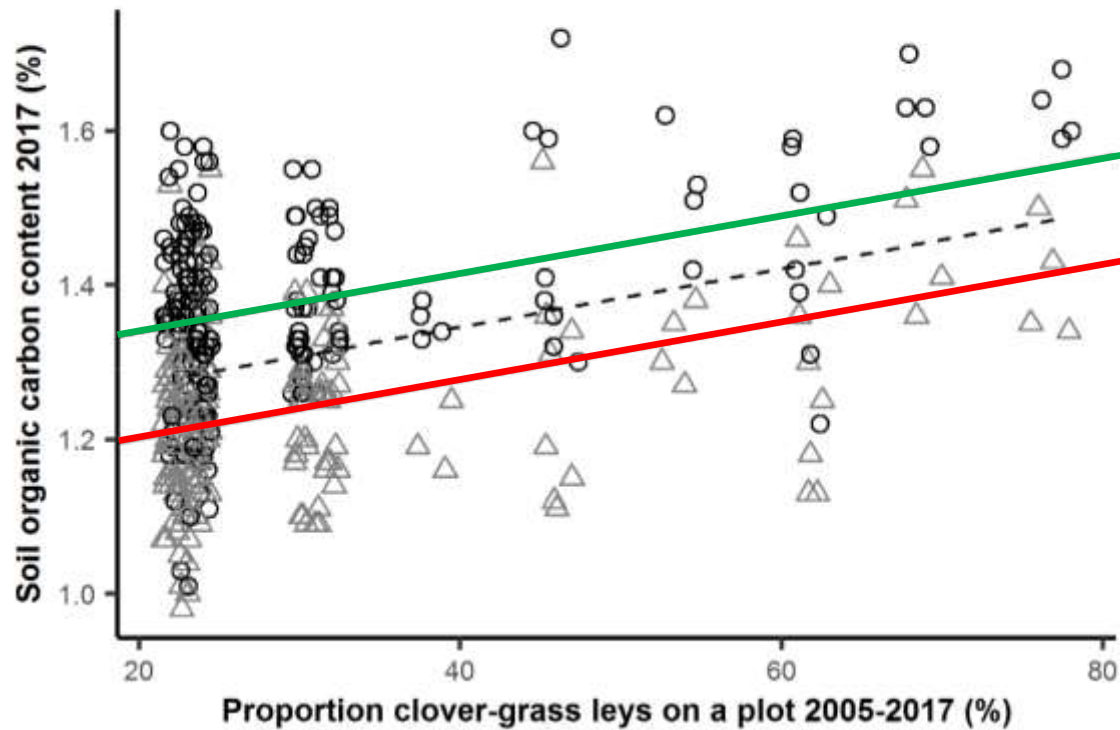
$$\text{SOCc} = 1.13 + 1.8 \times 10^{-5} \times F + 0.003 \times L,$$

F = Fertiliser total C amount (kg ha⁻¹)

L = Ley proportion (%)

$R^2 = 0.44$, $n = 379$.

Both effects were very highly significant ($p < 0.001$).





Treibhausgasbilanz im Pflanzenbau

Chmelikova et al. (2019)



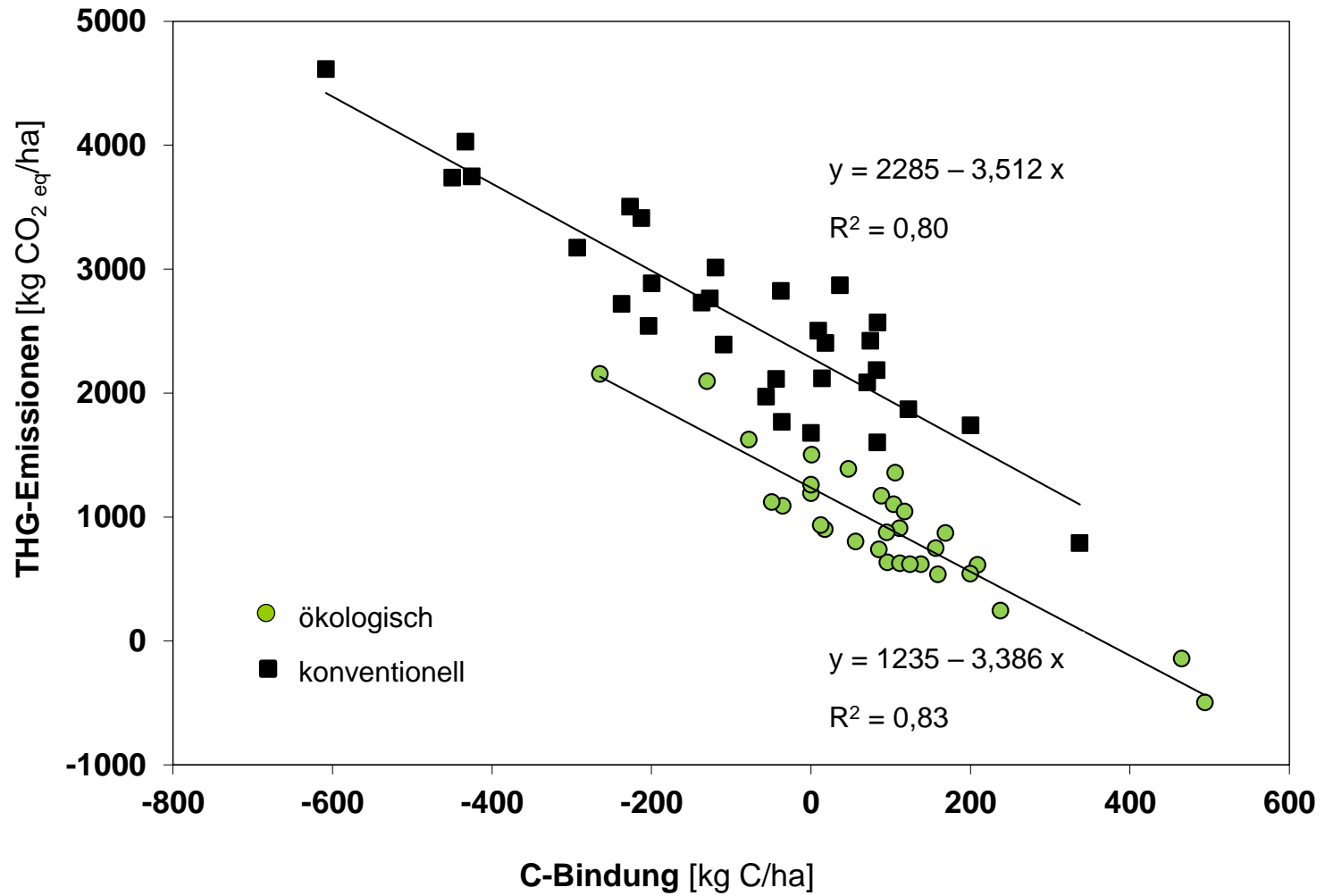
| Parameter | ME | Ökologischer Landbau | | Konventioneller Landbau | |
|------------------------------------|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Marktfrucht (n = 12) | Milchvieh (n = 20) | Marktfrucht (n = 13) | Milchvieh (n = 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)





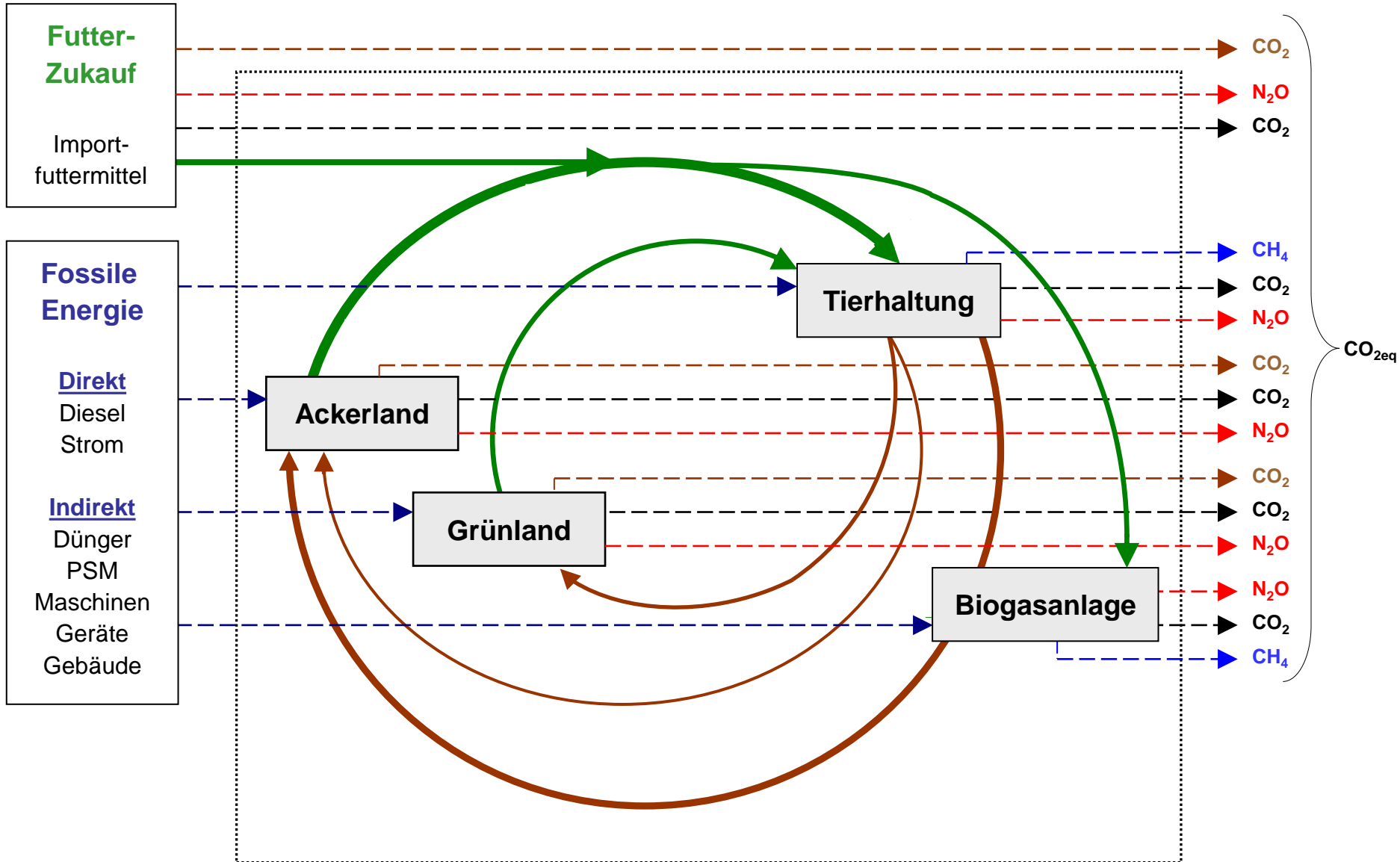
- **Humusbilanz und C-Sequestrierung** sind relevante Größen im **globalen Kohlenstoffkreislauf**
- **Humusbilanz:** positive Humusbilanzen im Ökolandbau abhängig von der Fruchtfolge (Klee grasanteil) und dem Tierbesatz
- **C-Anreicherung ist begrenzt** (theoretisches und nutzbares Potenzial)
Win-Win-Situation: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

Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung





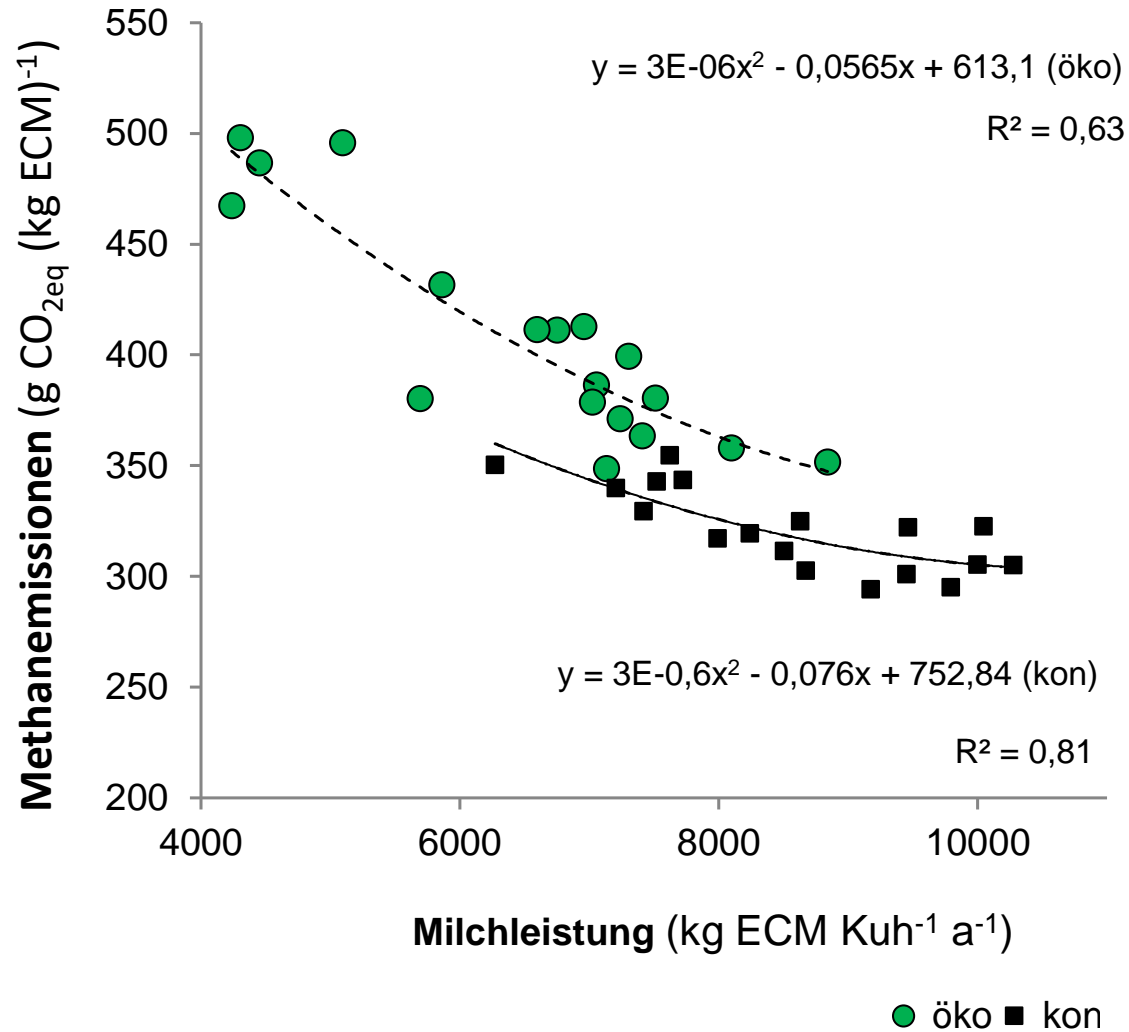
Treibhausgasbilanz: Relevante Stoff- und Energieflüsse





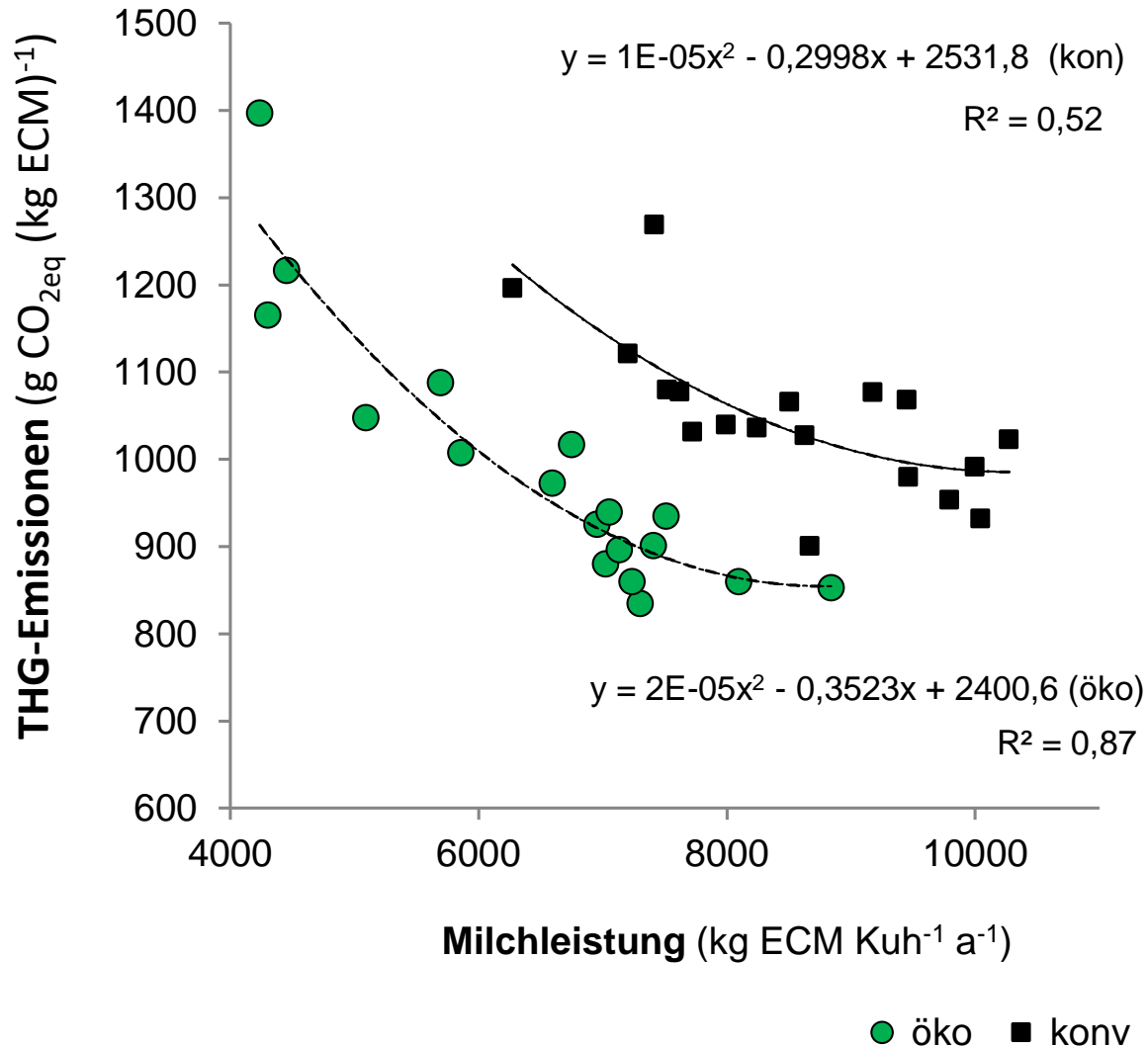


Beziehung zwischen der Milchleistung und den Methanemissionen je kg Milch (Frank, Schmid & Hülsbergen 2022)





Beziehung zwischen der Milchleistung und den Treibhausgasemissionen je kg Milch (Frank, Schmid & Hülshagen 2022)





- **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

Weihenstephaner Schriften
Ökologischer Landbau und Pflanzenbausysteme

Band 16

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid,
Lucie Chmelikova, Gerold Rahmann,
Hans Marten Paulsen, Ulrich Köpke

Umwelt- und Klimawirkungen des ökologischen Landbaus

Umwelt- und Klimaschutzmanagement in der Wertschöpfungskette Milch – am Beispiel der Andechser Molkerei Scheitz GmbH

Projektlaufzeit: 01.07.2022 – 30.06.2025

Zentrale Forschungsfrage: ***Können die THG-Emissionen in der Wertschöpfungskette Milch so weit reduziert und durch C-Bindung kompensiert werden, dass eine klimaneutrale Erzeugung hochwertiger Milchprodukte möglich wird?***

Regionale CO₂-Bindung durch
Andechser „KlimaBauern“



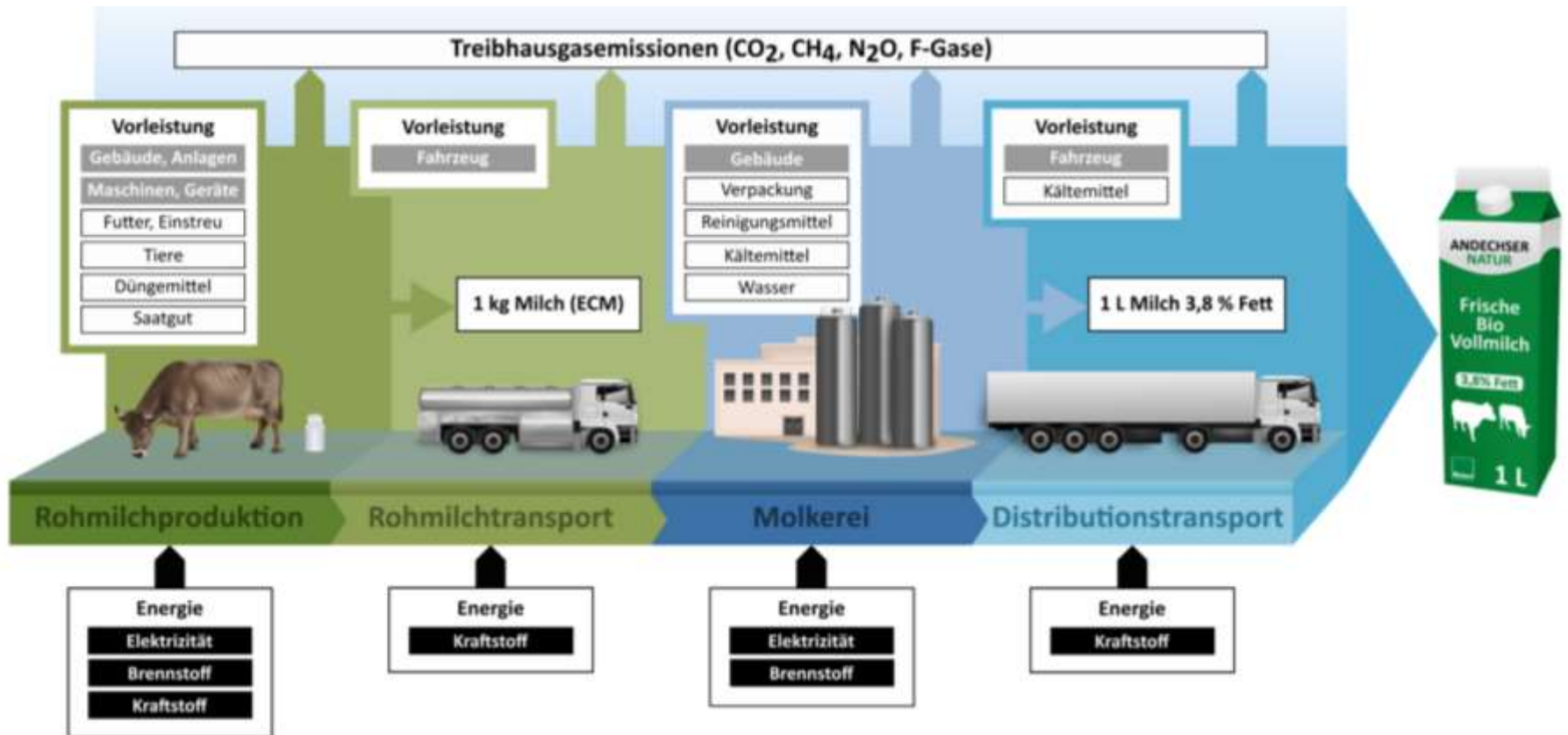
KlimaBauer als
Leuchtturmprojekt
ausgezeichnet

Veröffentlicht am 23. März 2022





Wertschöpfungskette Milch (Held 2022)



- Analyse der Wirkungen von Pflanzenkohle in Kombination mit Kompost und Gülle auf Böden, Pflanzen und Umwelt in Feldexperimenten



Versuchsstation Roggenstein

Pflanzenkohle in Kombination mit **Grüngut-**
und Stallmist-Kompost, ökologischer Landbau



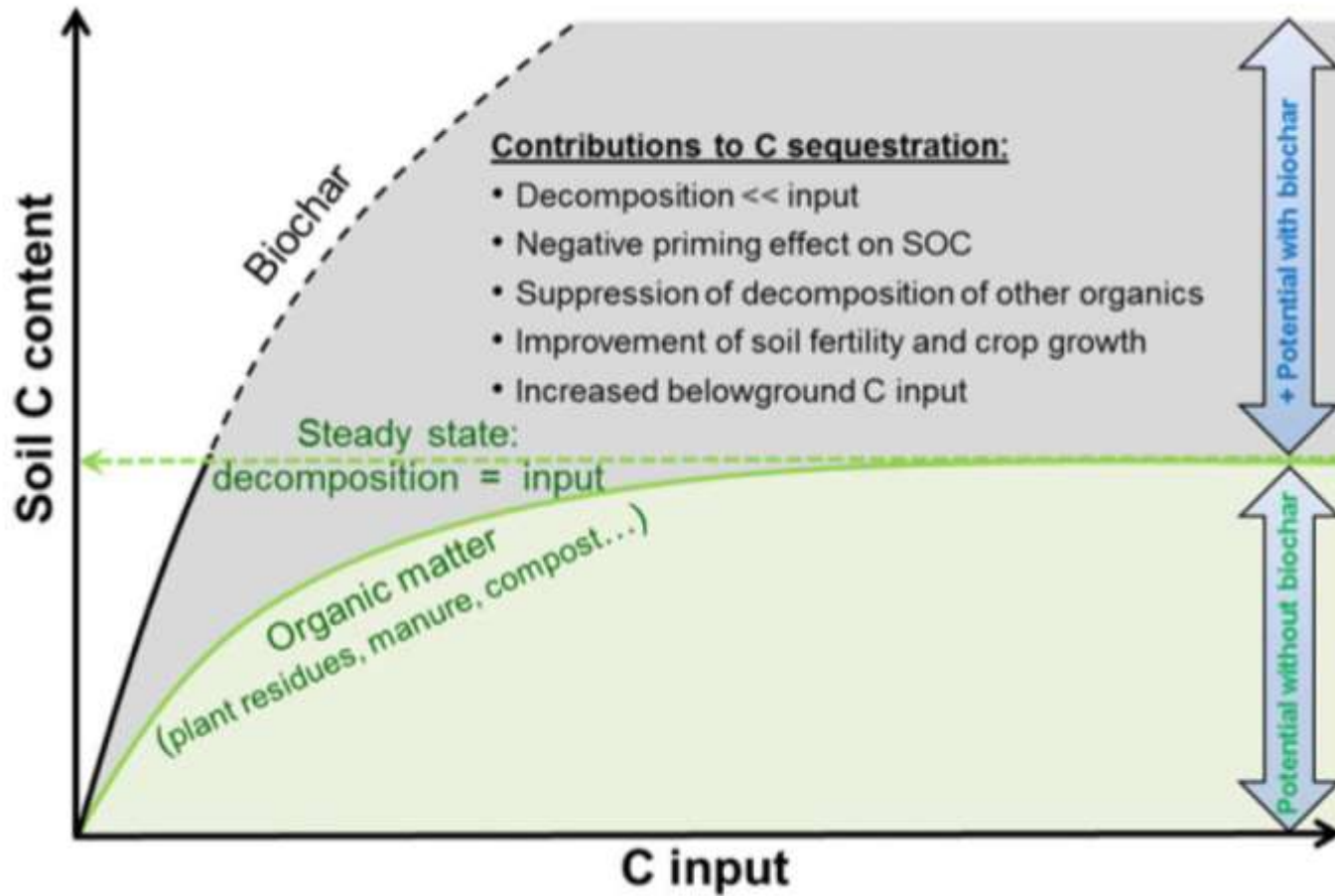
Baierlach (Grünland)

Pflanzenkohle in Kombination mit **Rindergülle**
und Stallmist-Kompost, ökologischer Landbau



Potential contributions of biochar addition to soil C sequestration

(Wang et al. 2016)



C-Sequestrierung in Agroforstsystemen

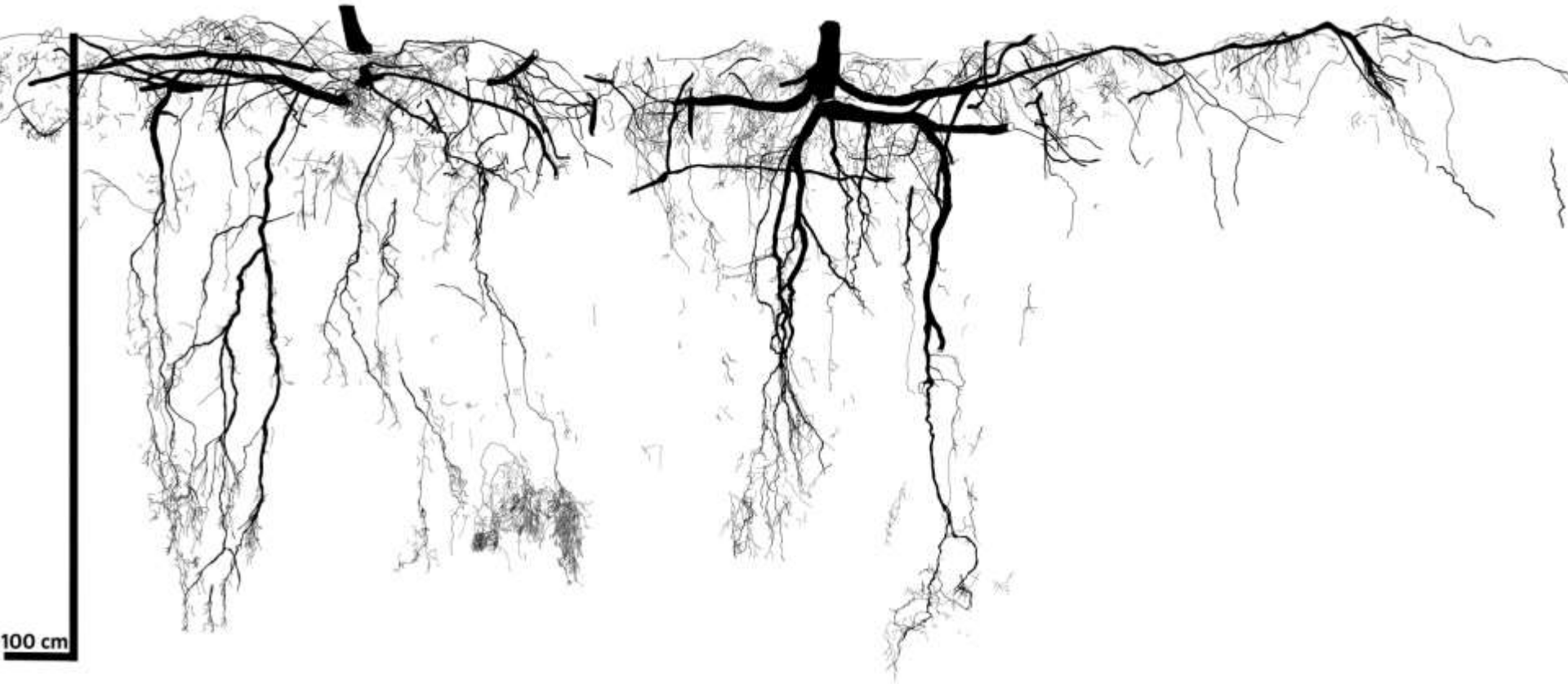


Versuchsanlage in der Forschungsstation Scheyern

Agroforstsystem Scheyern, Holzernte Winter 2012/13

Huber (2013)







Humus balance (humus C, kg ha⁻¹ yr⁻¹)

Long-term field experiment, bio-waste compost, Vienna, 1992 – 2006 (Erhart et al. 2016)



| Parameter | 0 | C1 | C2 | C3 |
|--------------------------------|-------------------------|--|---|---|
| | | (8 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) | (14 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) | (20 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) |
| Humus demand | -760 | -803 | -828 | -838 |
| Humus reproduction | 302 | 918 | 1386 | 1859 |
| compost | 0 | 602 | 1066 | 1531 |
| Humus balance | -457_a | 115_d | 558_e | 1021_f |
| Δ SOC (soil analysis) | -508_a | 134_{bcd} | 520_{cd} | 658_d |
| Δ SOC / C input compost | | 0.45 | 0.41 | 0.32 |





Greenhouse gas (GHG) balance (kg CO_{2eq} ha⁻¹ yr⁻¹)

Long-term field experiment, bio-waste compost, Vienna, 1992 – 2006 (Erhart et al. 2016)



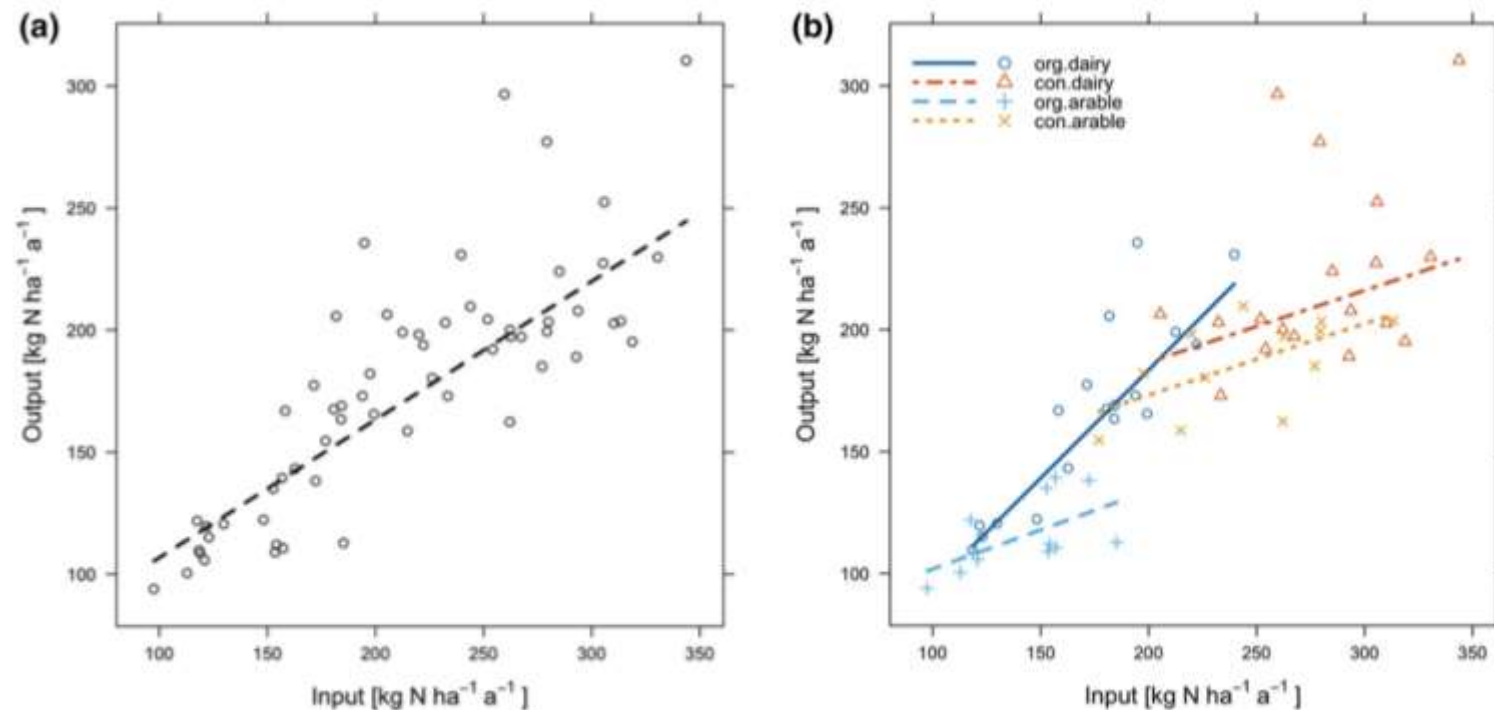
| Parameter | 0 | C1 | C2 | C3 |
|--|-------------------------|--|---|---|
| | | (8 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) | (14 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) | (20 t ha ⁻¹ yr ⁻¹) |
| CO₂ emission, cultivation | 517_a | 627_b | 703_c | 774_e |
| Diesel | 344 | 371 | 381 | 385 |
| N₂O emissions | 226_a | 627_e | 939_f | 1252_g |
| C depletion, sequestration | 1604_f | -425_c | -2052_b | -3754_a |
| GHG (kg CO_{2eq} ha⁻¹ yr⁻¹) | 2348_a | 830_c | -409_d | -1728_e |
| GHG (kg CO_{2eq} ha⁻¹ GE⁻¹) | 49.4_e | 16.5_c | -8.0_b | -33.6_a |



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

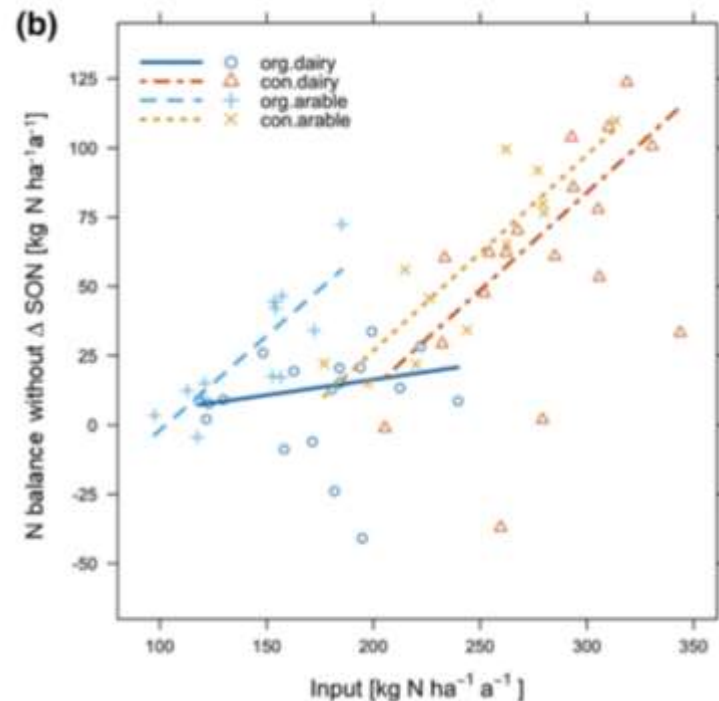
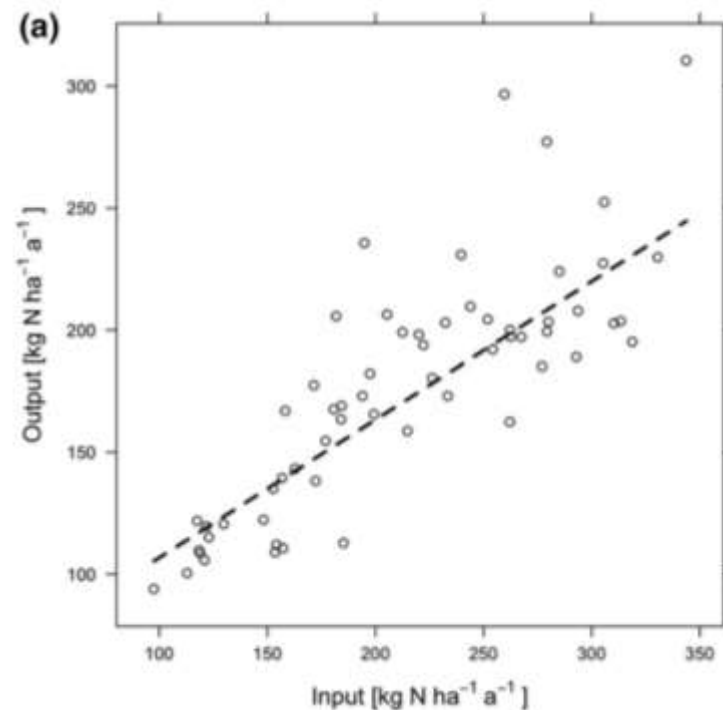




ORIGINAL ARTICLE

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

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





Abhängigkeit des C_{org} -Gehaltes von der Bodentextur

(Hoyer & Hülsbergen 2007)

