

Klimawirkungen ökologischer und konventioneller Betriebe und Treibhausgas-Minderungsstrategien

Frühjahrstagung der AbL Bayern, Obing, 02.03.2020



- **Problemstellung**
- **Lachgasemissionen aus Böden**
- **Energieeinsatz und CO₂-Emissionen**
- **Humusaufbau und Kohlenstoffbindung**
- **Treibhausgasemissionen der Milchviehhaltung**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**



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

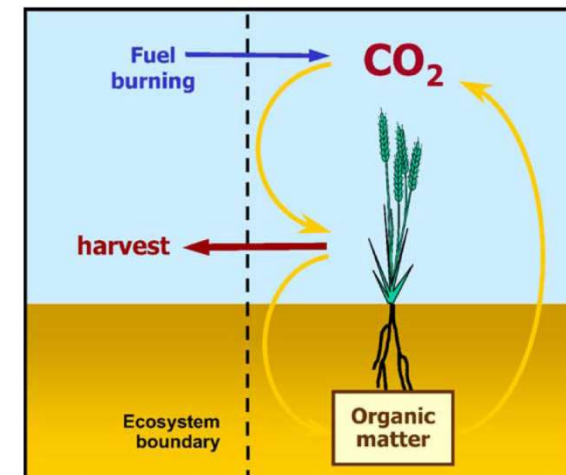
- **In landwirtschaftlichen Produktionsprozessen werden klimarelevante Spurengase freigesetzt.**
- **Die anthropogenen Klimaänderungen haben Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion.**
- **Die Landwirtschaft kann wesentlich zur CO₂-Vermeidung (Bioenergie) und C-Bindung (Böden, Biomasse) beitragen.**



- 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)





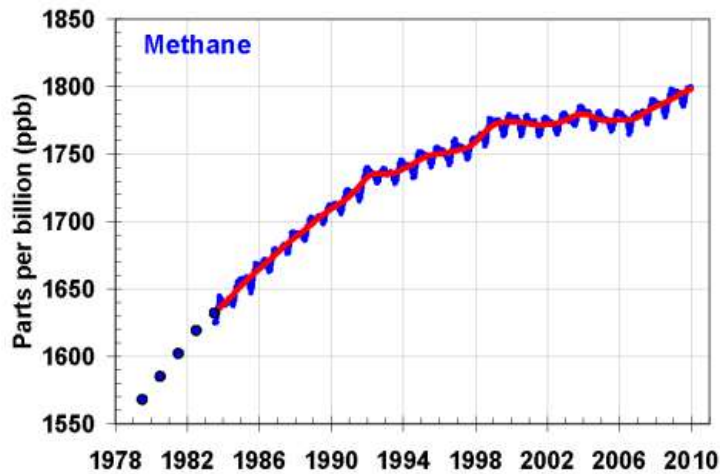
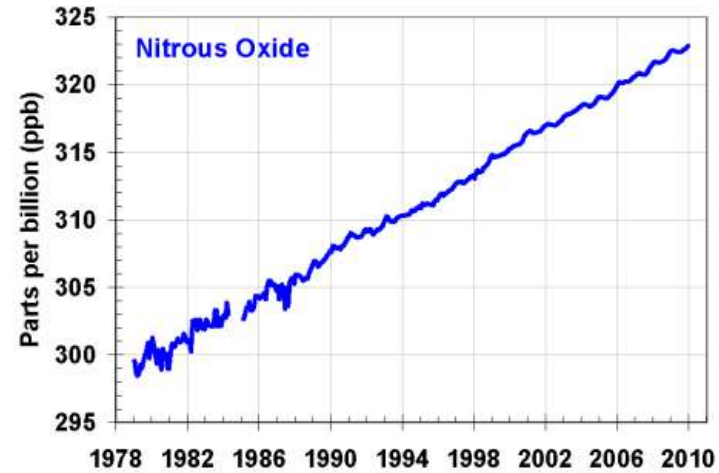
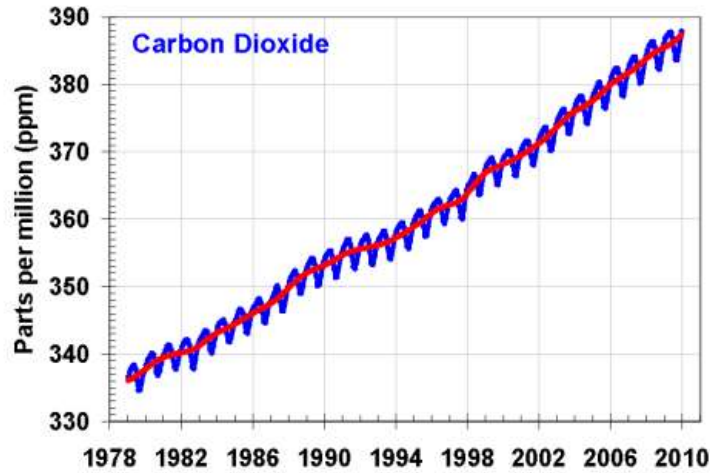
Treibhausgas	Konzentration (ppm)		Lebensdauer	GWP
	vor-industriell	2011		
				a
CO ₂	~ 280	390	variabel	1
CH ₄	0,70	1,80	12	25
N ₂ O	0,27	0,32	114	298

- 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 (2012)



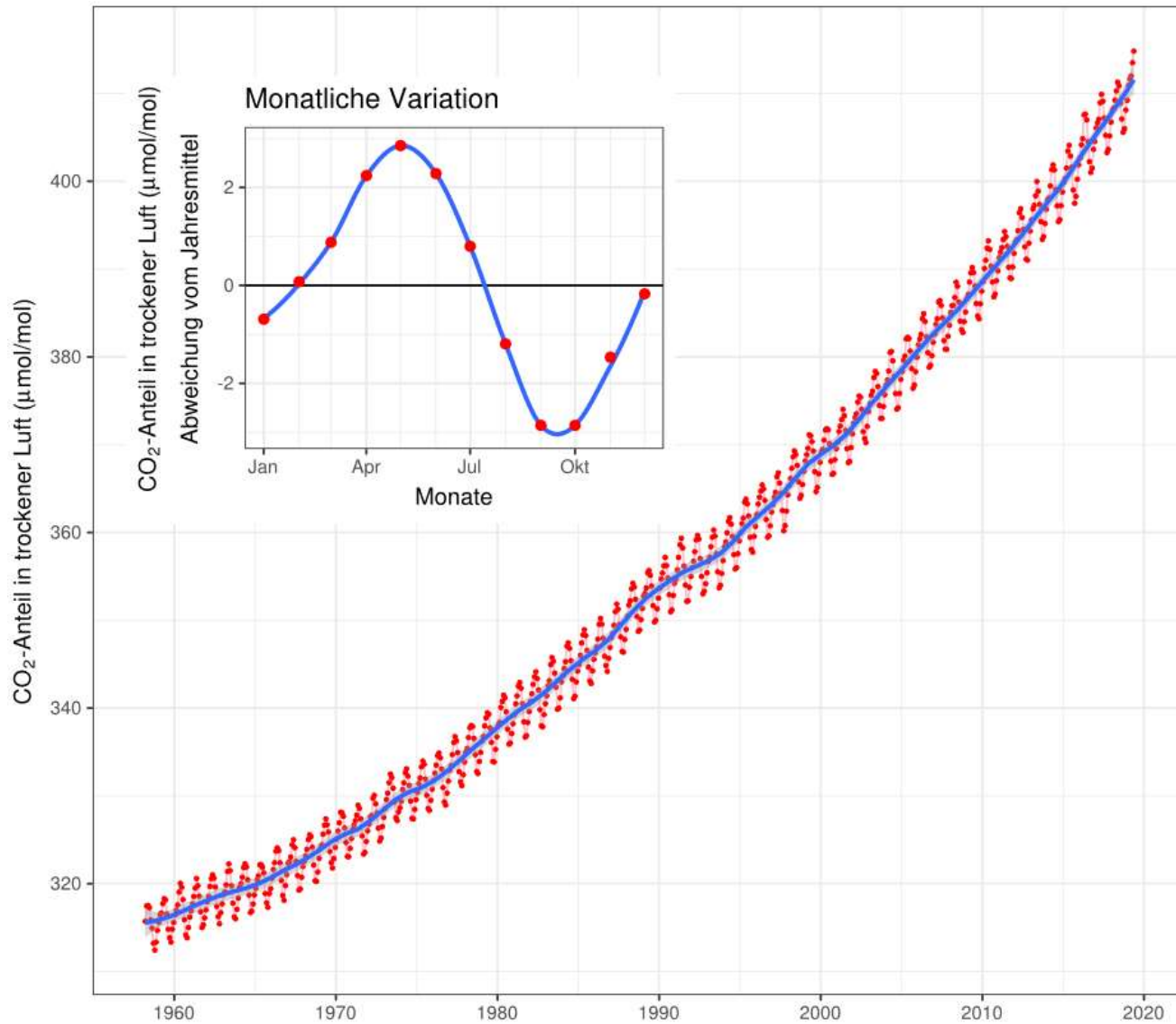
**Anteil der Landwirtschaft
und Landnutzungsänderungen:**

10 bis 30 % der THG-Emissionen



Entwicklung des gemessenen CO₂-Gehalts am Mauna Loa

Keeling et al. (2019)





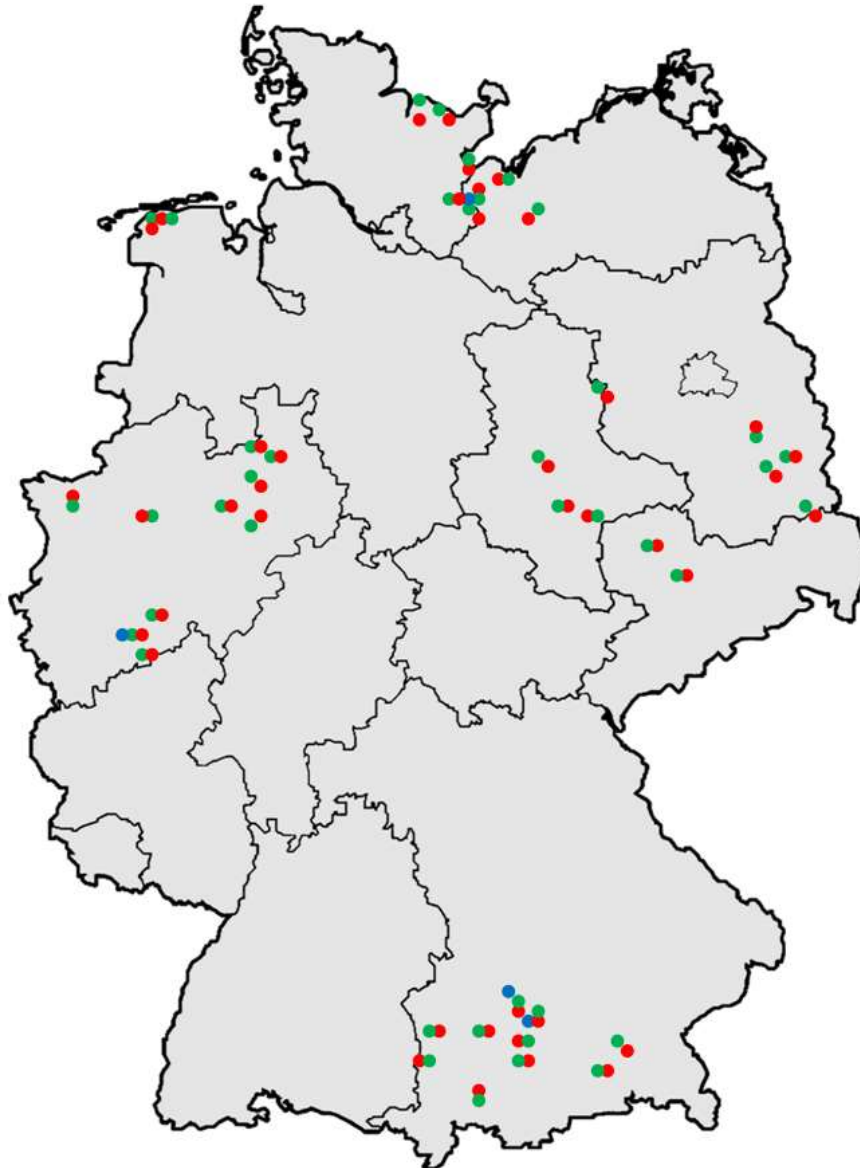
Analyse der Wirkungen von Pflanzenbausystemen auf Böden, Pflanzen und Umwelt





Ressourceneffizienz und Klimawirkungen 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

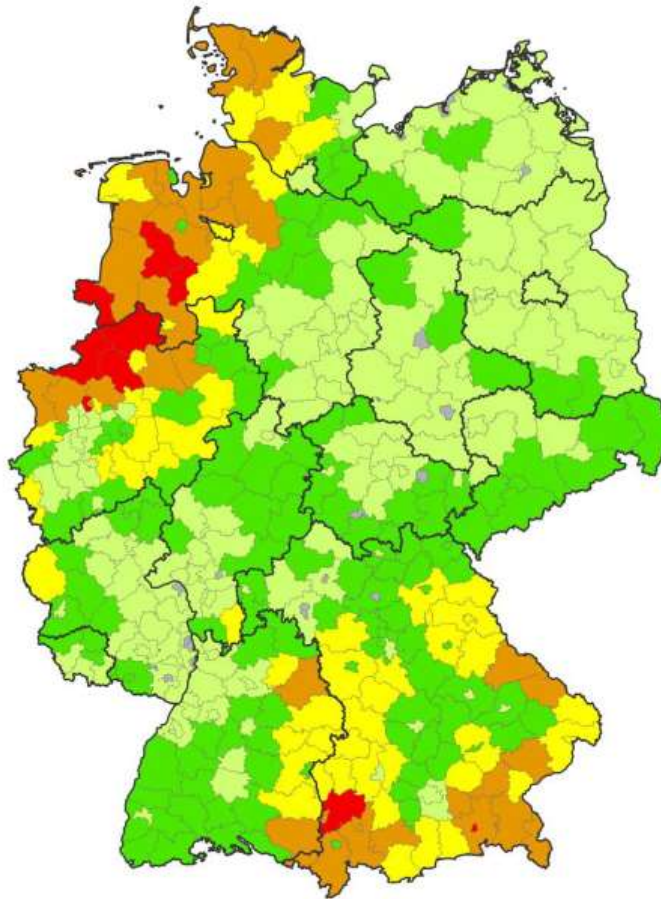
Stickstoffbilanz und N₂O-Flüsse



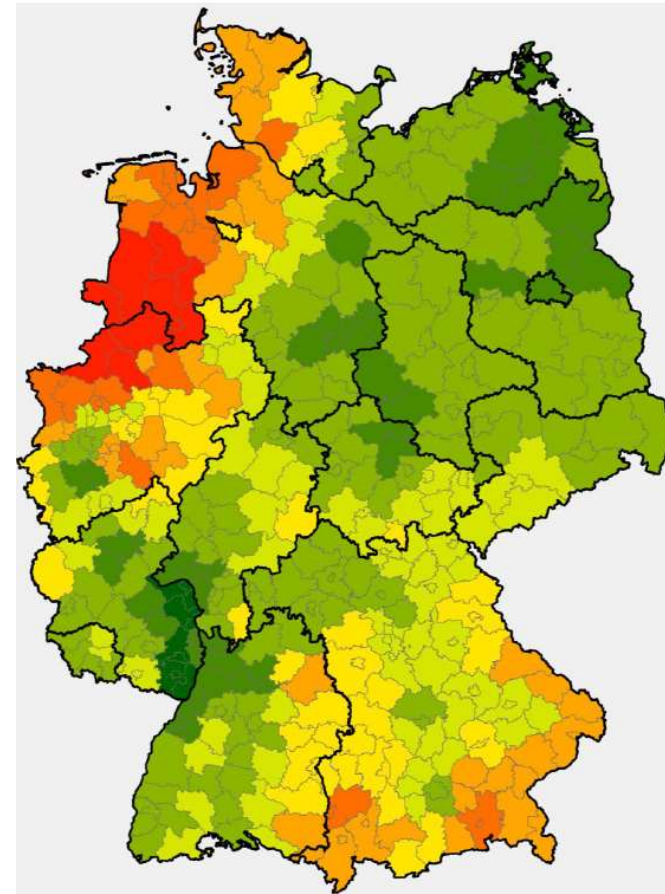


N-Anfall aus der Tierhaltung und N-Salden

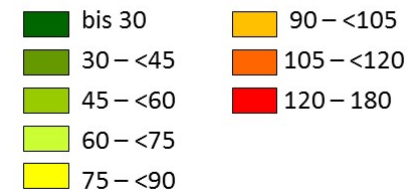
(BMELV 2013, Frede 2014)



N-Anfall Tierhaltung (kg/ha)



N-Saldo (kg/ha)





- **Stickstoff als „Motor“ des Pflanzenwachstums, oft ertragsbegrenzend
Proteinsynthese, Grundlage für Human- und Tierernährung**
- **Überlastete Stickstoffkreisläufe – global, national, regional, betrieblich
negative Umwelt- und Klimawirkungen: Nitrat, Ammoniak, Lachgas, ...**
- **Steigende gesellschaftliche Anforderungen, auch der Gesetzgebung
(novellierte Dünge-VO, Wasserrahmenrichtlinie, ...)**
- **High-Input-Systeme: hohes Ertrags- und Düngungsniveau
Low-Input-Systeme: ökologischer Marktfruchtbau**



Stickstoffkreislauf eines Pilotbetriebes (kg N ha⁻¹ a⁻¹)

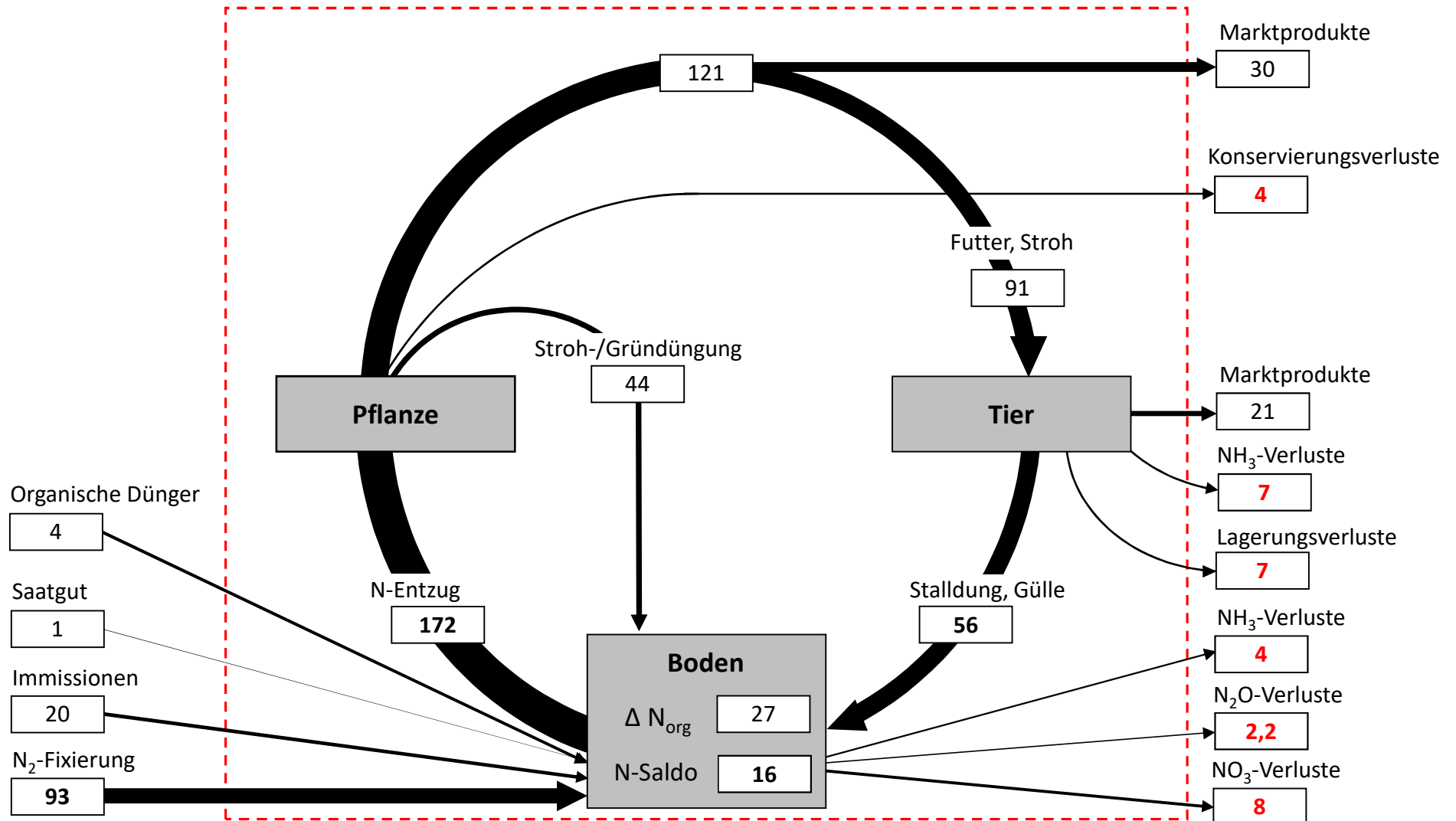
Ökologischer Gemischtbetrieb mit Milchvieh (Schmid, Frank & Hülsbergen 2013)



Inputs

Innerbetrieblicher Kreislauf

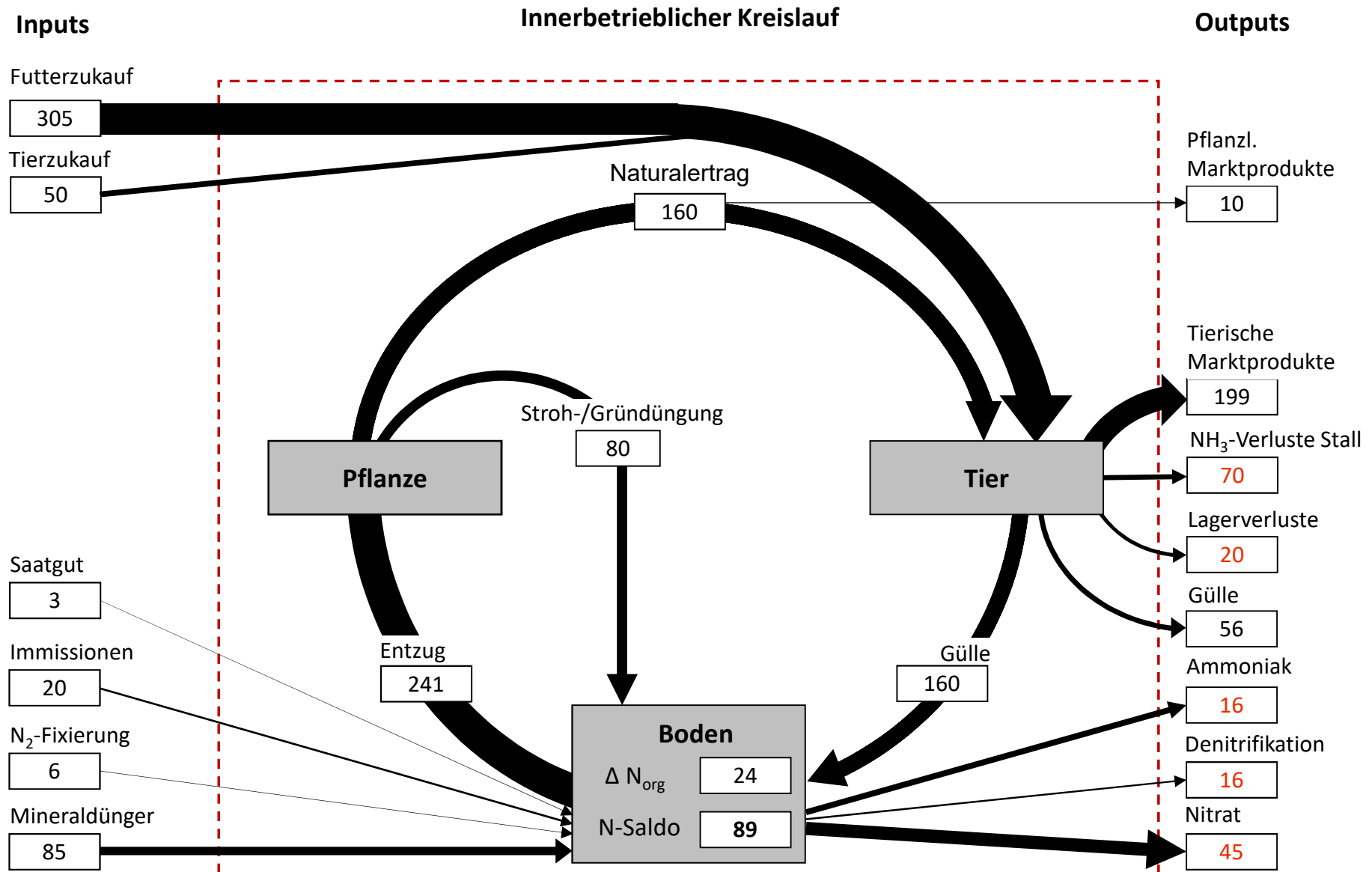
Outputs





Stickstoffkreislauf, Schweinemast, Hohenthann

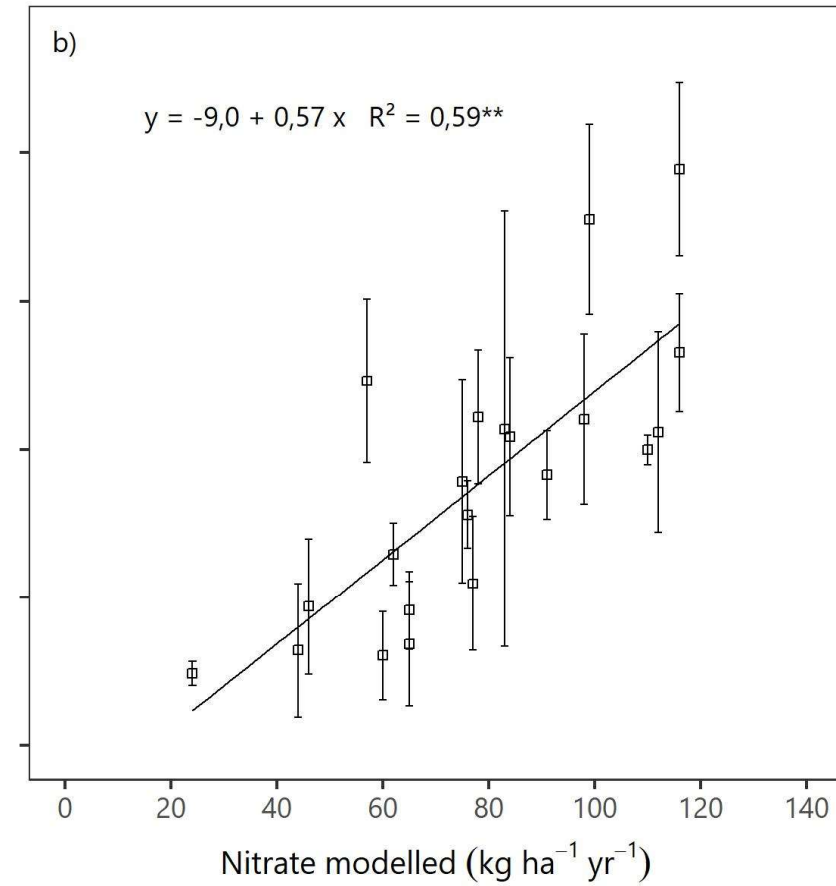
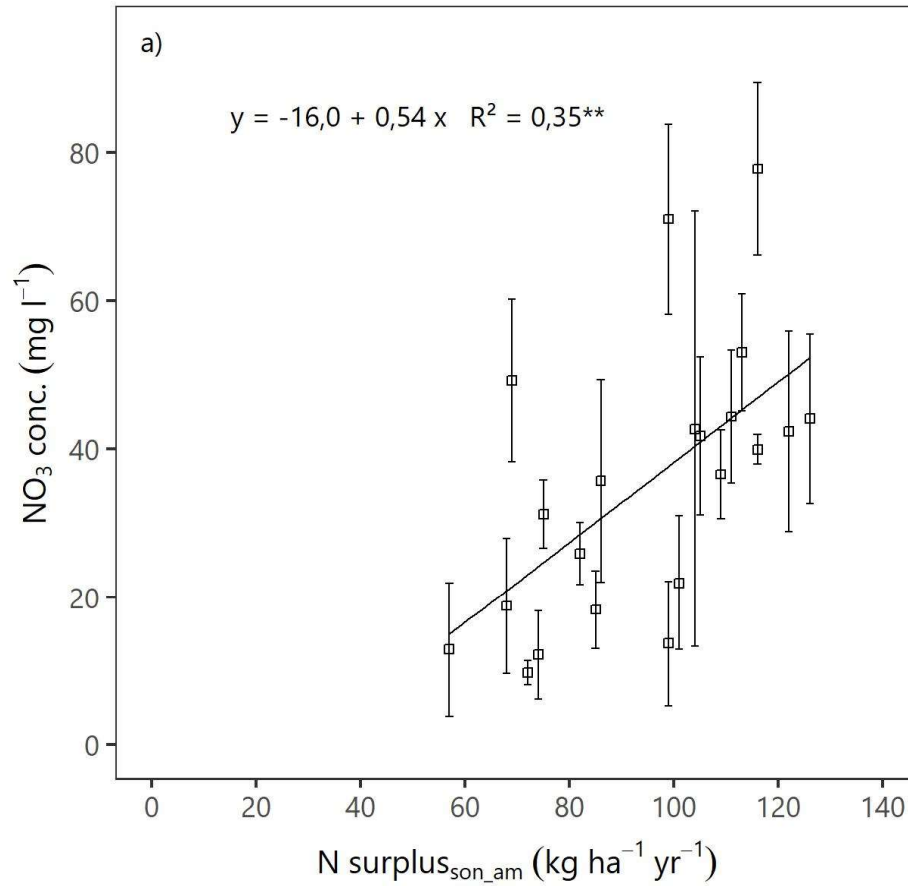
(kg N ha⁻¹ a⁻¹), Untersuchungsjahre 2013 – 2015, Forster (2017)





Beziehung zwischen N-Saldo und Nitratgehalt

ermittelt mit Tiefenbohrungen, Hohenthann (Forster 2019)





N-Bilanz ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe

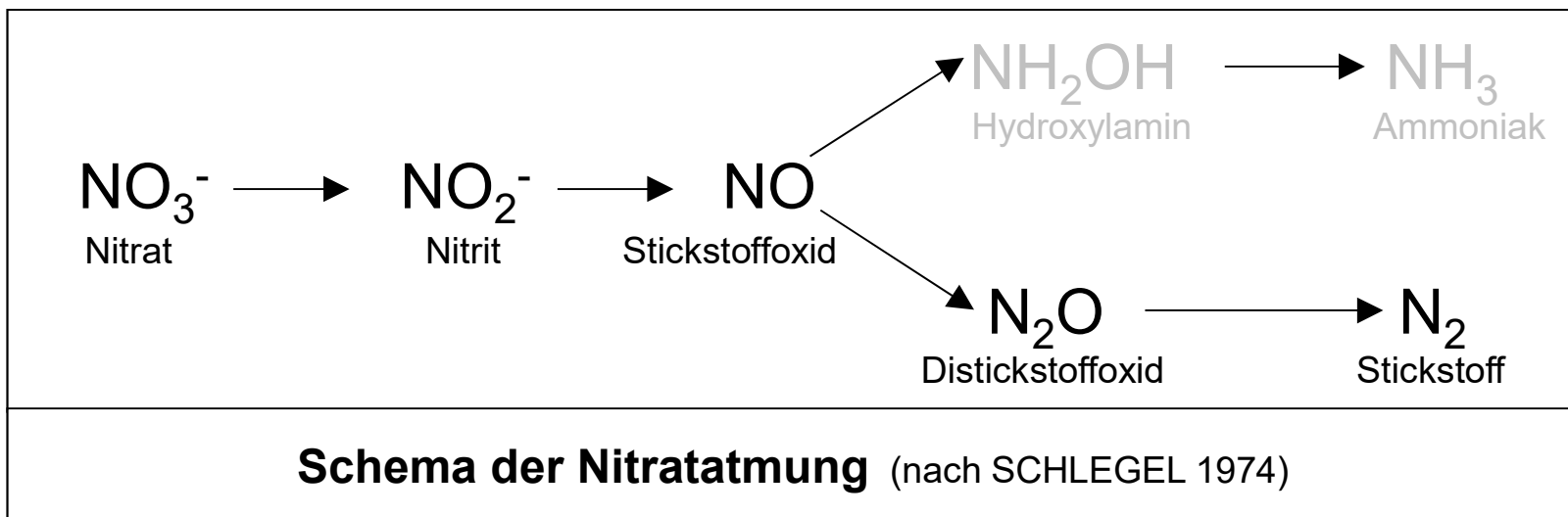
Chmelikova et al. (2019)

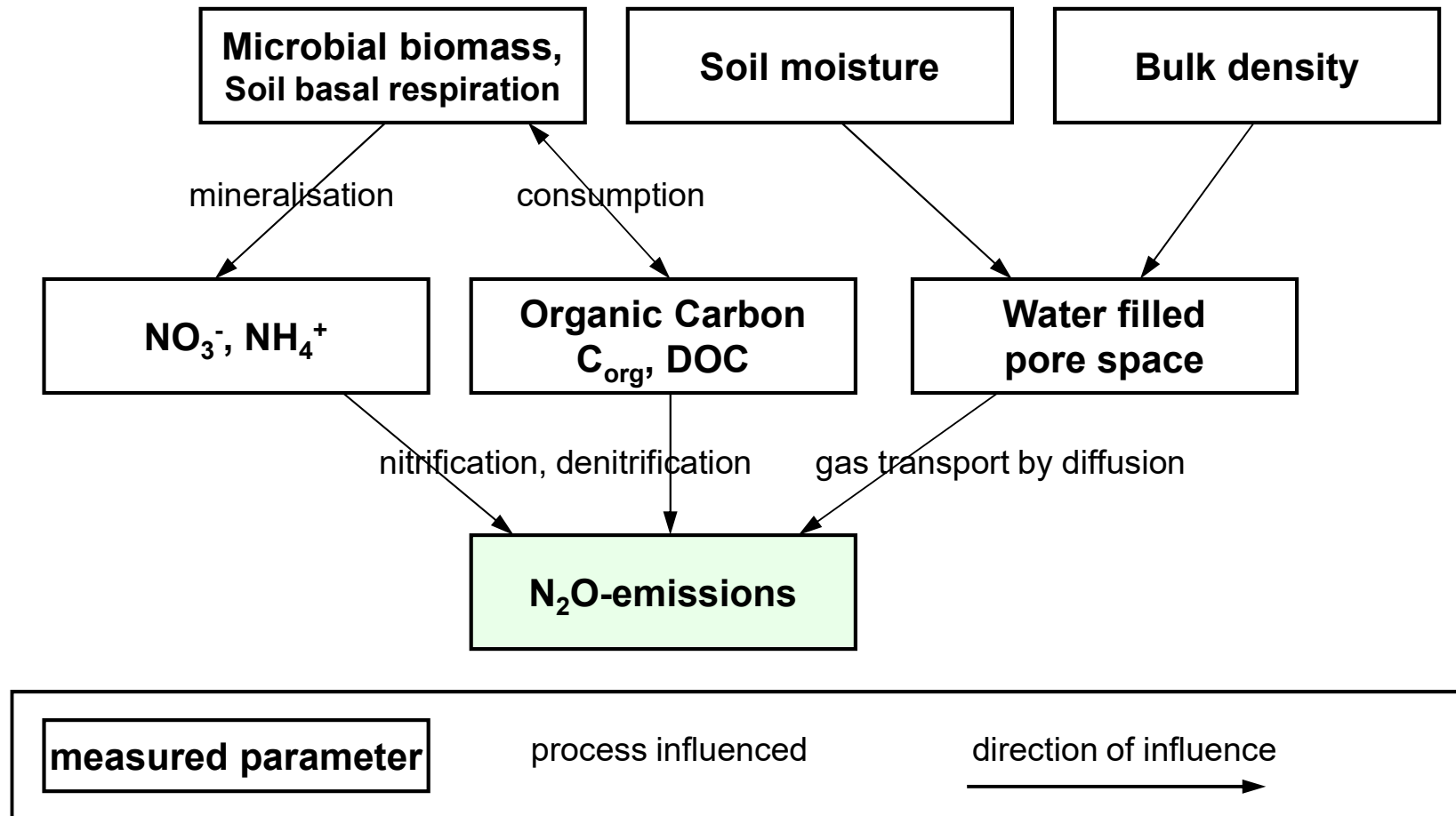


Parameter	Organic farming		Conventional farming	
	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)	Cash crop farm (n = 12)	Dairy farm (n = 19)
N Input (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	142 a	170 a	246 b	275 b
N ₂ fixation	44 c	52 c	3 a	21 b
Organic fertilizer	37 a	87 b	26 a	131 c
Mineral fertilizer	0 a	0 a	158 b	91 c
Straw/green manure	38 b	10 a	37 b	11 a
N output (kg ha⁻¹ yr⁻¹)	116 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



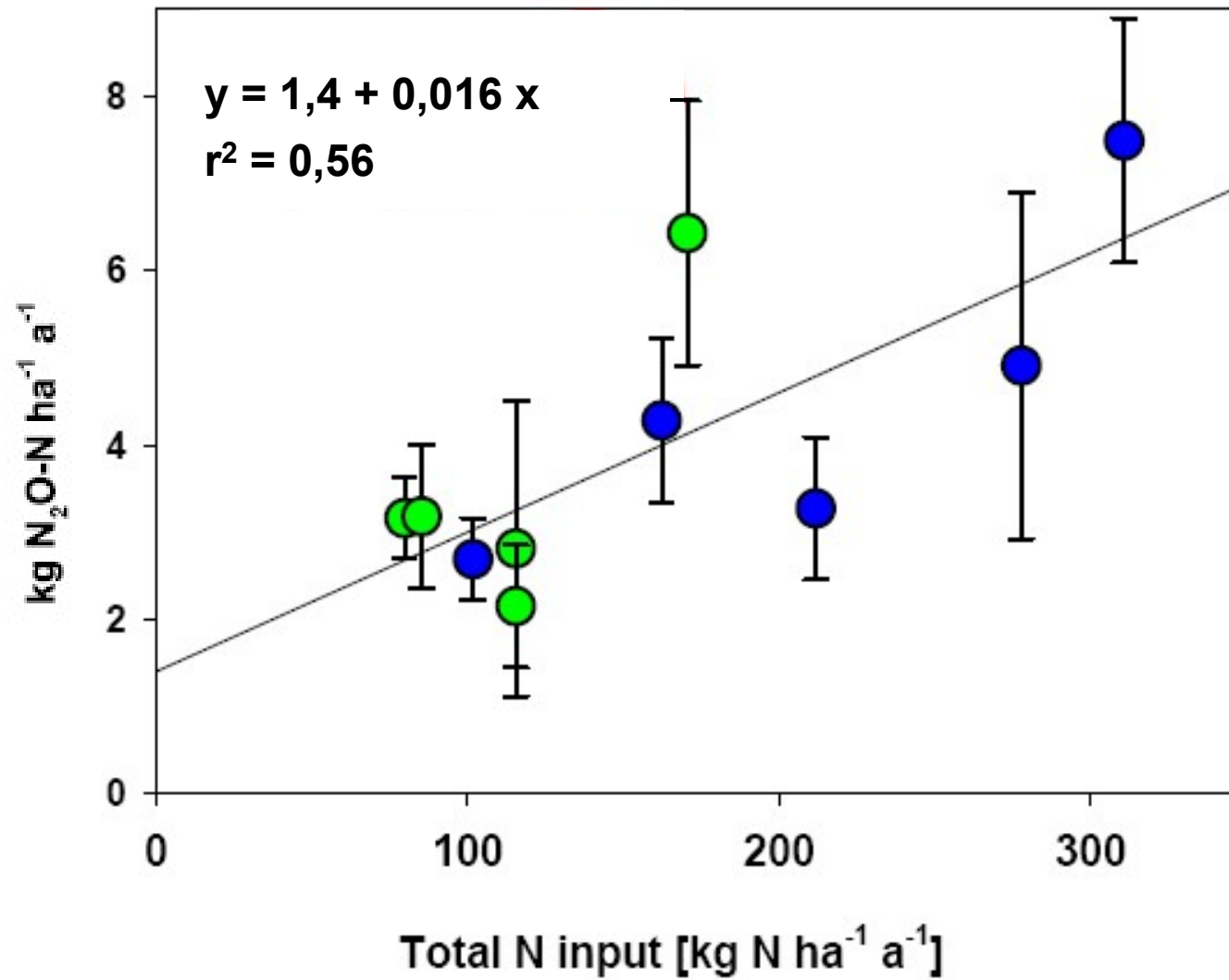
N_2O entsteht bei Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgängen im Boden





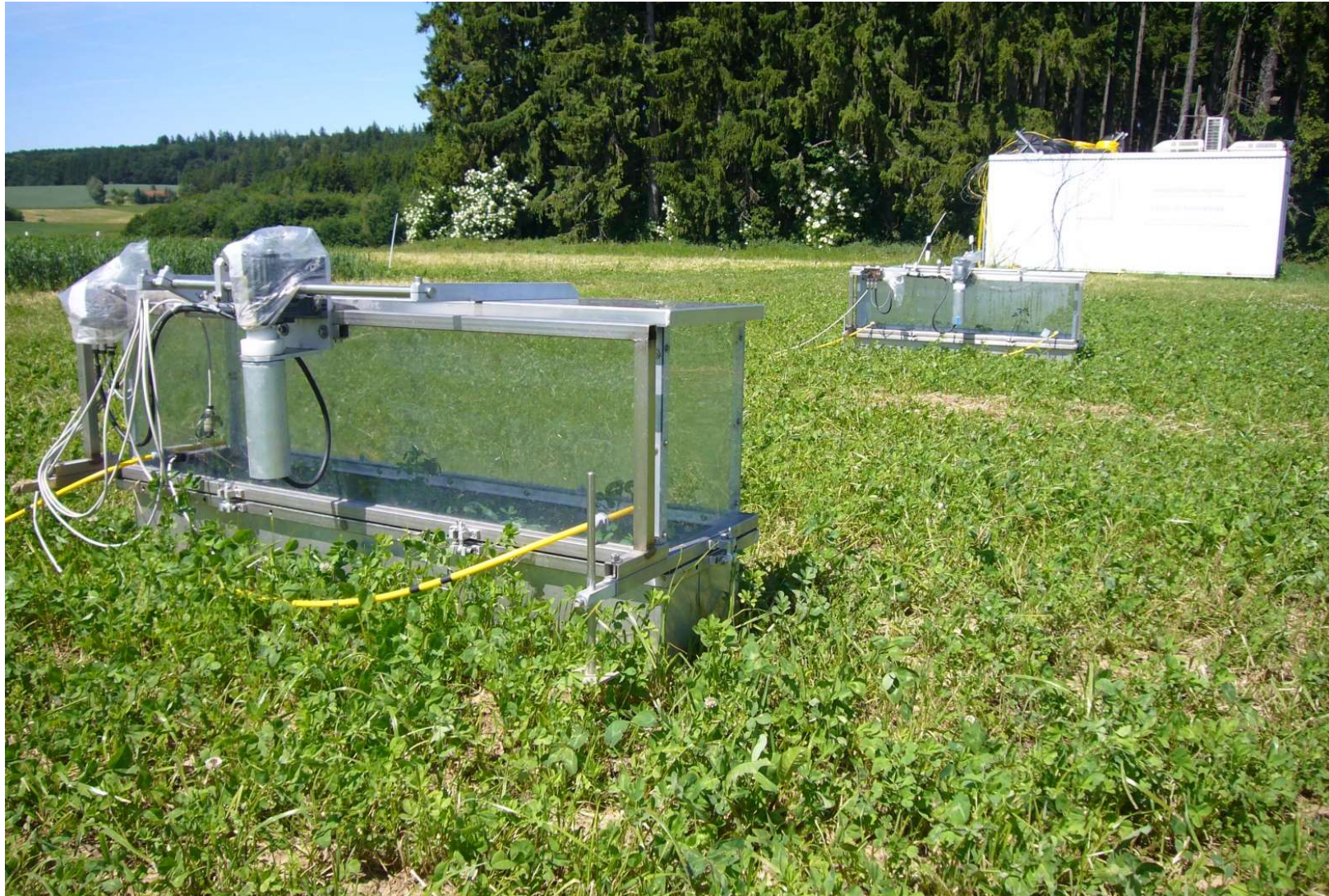


N₂O-Emissionen in Abhängigkeit vom N-Einsatz





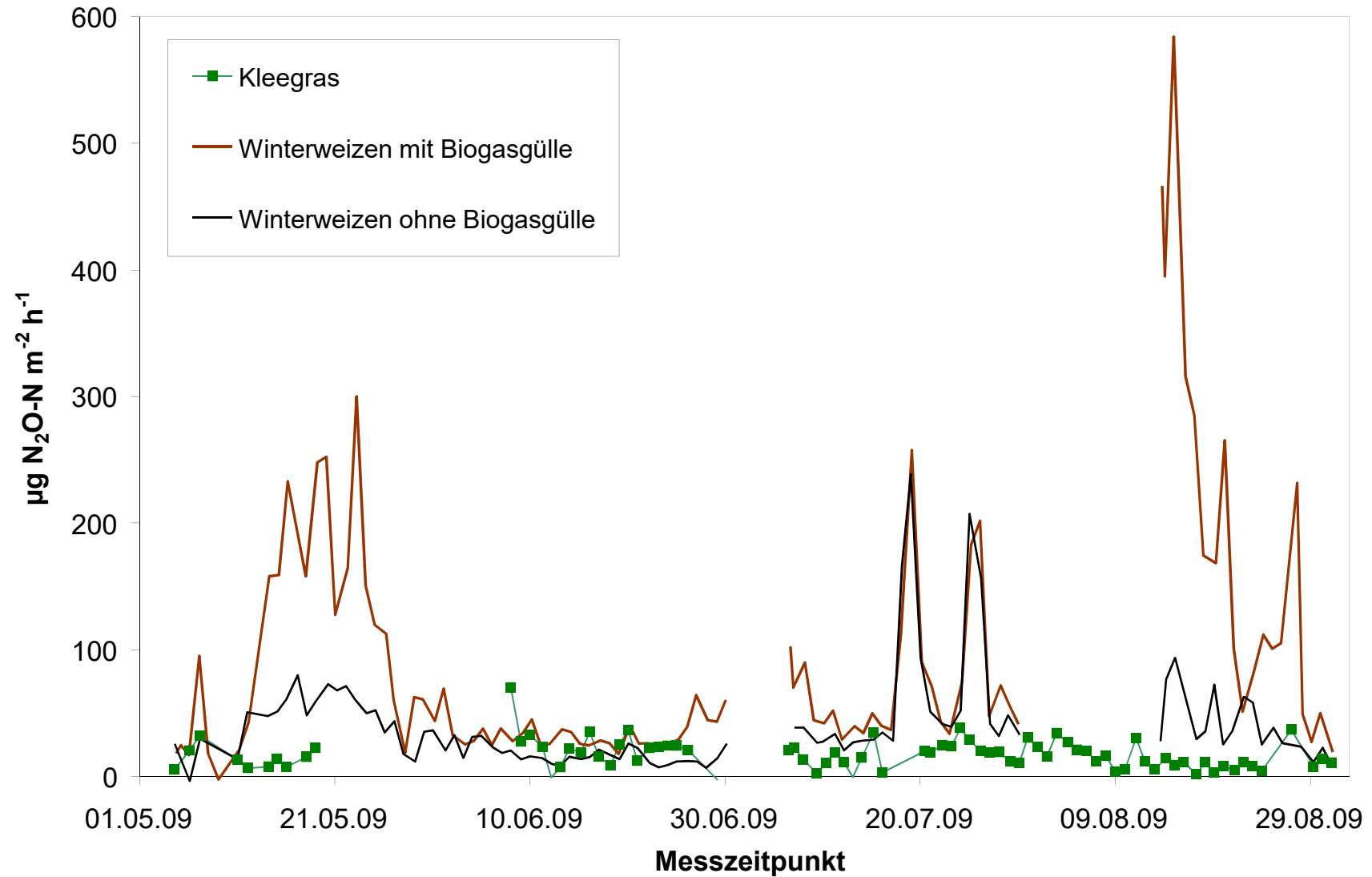
N₂O-Messungen mit automatischem Meßsystem





N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

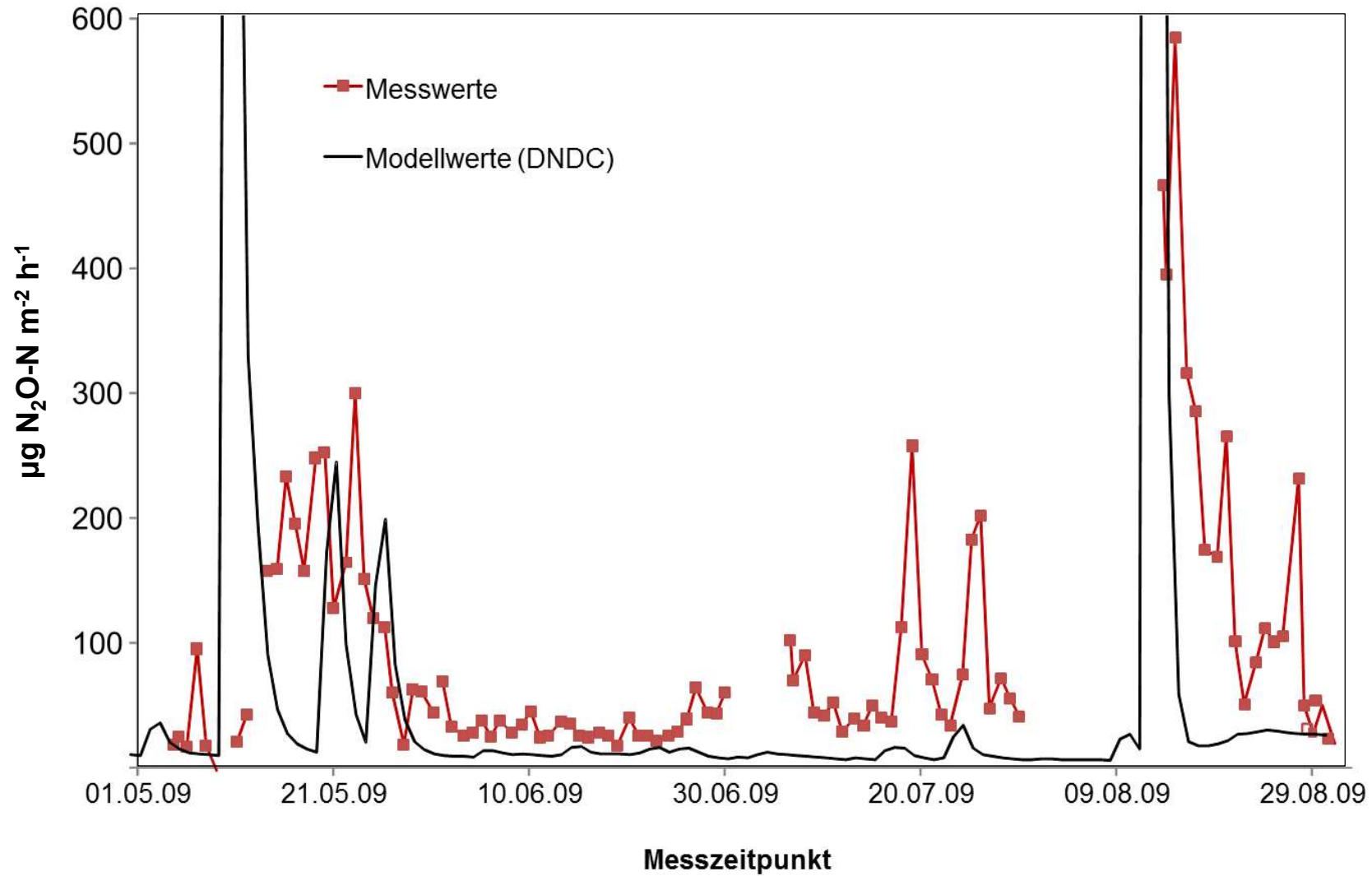
Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsbergen 2010)





N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

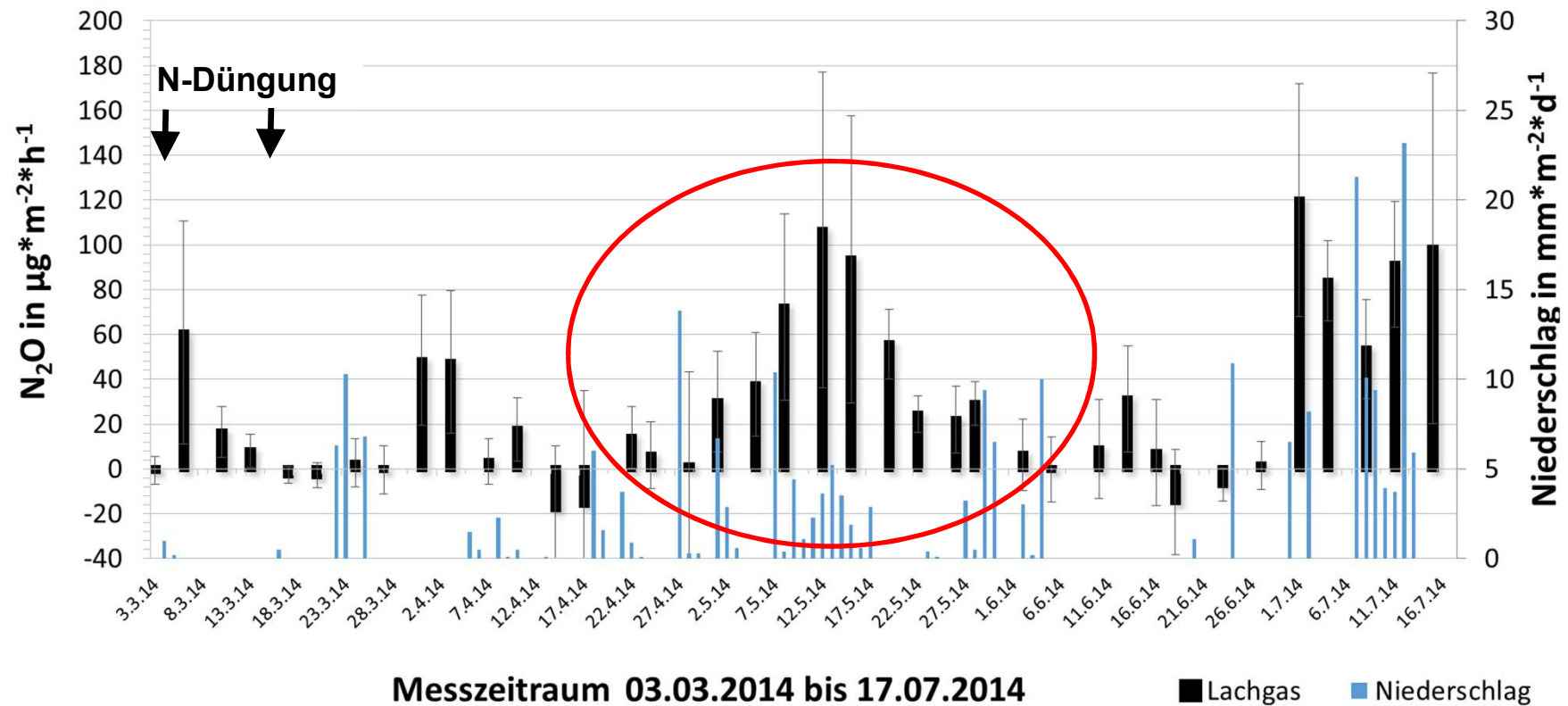
Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsergen 2010)





N₂O-Flüsse, Winterraps, 40/120/60 = 220 kg N ha⁻¹ (ASS)

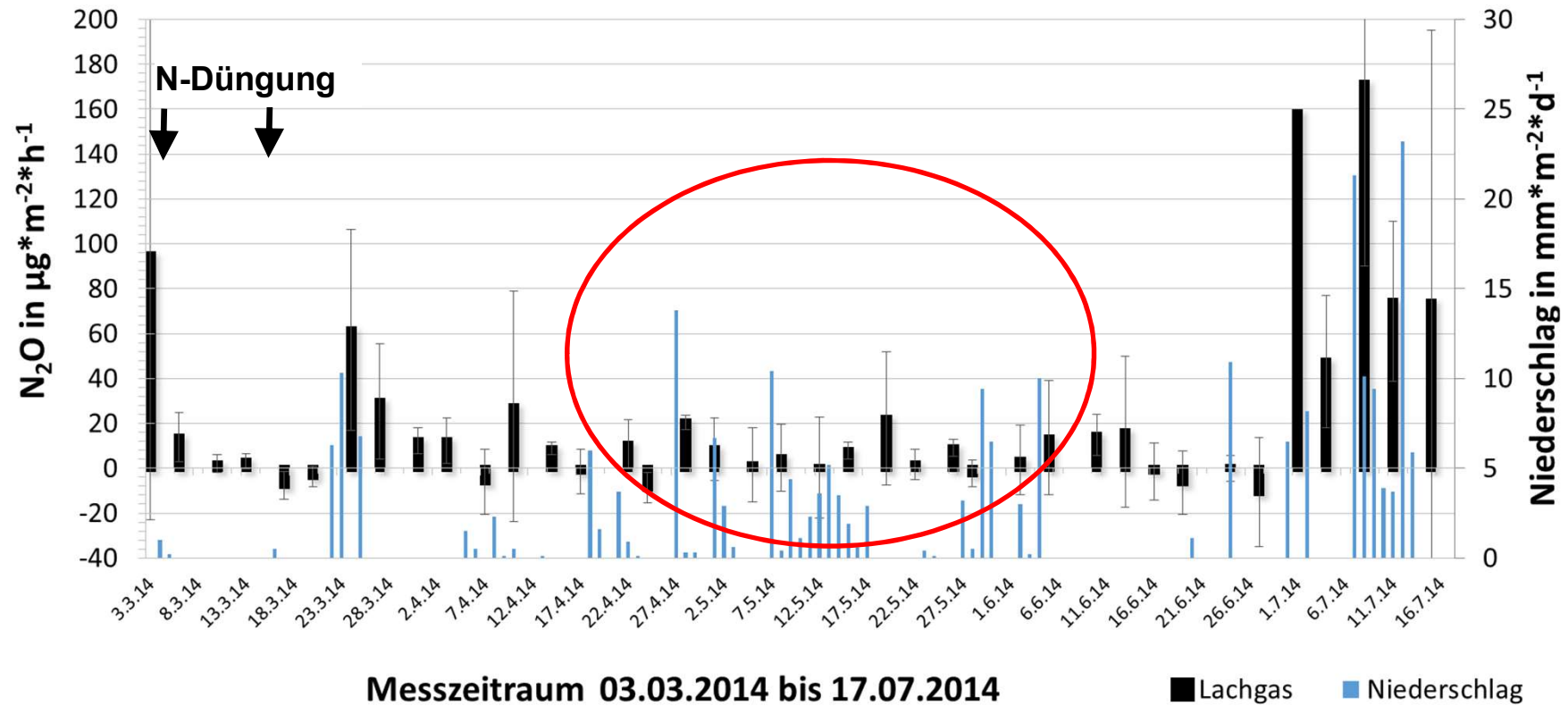
Versuchsstation Roggenstein (Vinzent, Maidl & Hülsbergen 2017)





N₂O-Flüsse, Winterraps, TUM 40/50/105 = 195 kg N ha⁻¹ (ASS)

Versuchsstation Roggenstein (Vinzent, Maidl & Hülsbergen 2017)





- **N-Saldo** = N-Input – N-Output = **potenzielle N-Verluste**
Ø Ökol. Pilotbetriebe: < 20 kg ha⁻¹ Ø Konv. Pilotbetriebe: > 50 kg ha⁻¹
- **N-Effizienz** = N-Output / N-Input = **N-Verwertung in den Produkten**
Einflussfaktoren: Betriebsstruktur, Düngungsintensität, Verfahrensgestaltung
- **Optimierungsansätze Ökologischer Landbau**
Stoffkreisläufe, N-Transfer in der Fruchtfolge, Klee gras-Management
- **Optimierungsansätze Konventioneller Landbau**
Technische Innovationen: Teilflächenspezifische N-Düngung
Betriebsstrukturen: Re-Integration von Pflanzenbau und Tierhaltung



Webbasiertes Nährstoff-Managementsystem (Web-Man)



Heron **Schläge** ?

DE | EN

Einstellungen
Abmelden

Betrieb
Lehr- und Versuchsgut R
Anbaujahr
2018

Filter ...

Start

Betrieb 3
Betriebsverwaltung
Schläge
Maßnahmen verwalten


Labor 1
Bodenproben Nmin

Auswertung 3
Humusbilanz
Düngeempfehlung
Gis Daten Überblick

<<

Schlagauswahl

Filter nach Feldstück | Schlag... Filter



Feldstück | Schlag: Lager rechts/links
Feldblock:
Flik: DEBYLI8461000077
Feldstück


Feldstück | Schlag: Tummelfeld
Feldblock:
Flik: DEBYLI8483000239
Feldstück

Feldstück | Schlag: Ochsenfeld
Feldblock:
Flik: DEBYLI8483000238
Feldstück

Feldstück | Schlag: Moosacker

Lager rechts/links

+ Neu Bearbeiten



Zuordnung

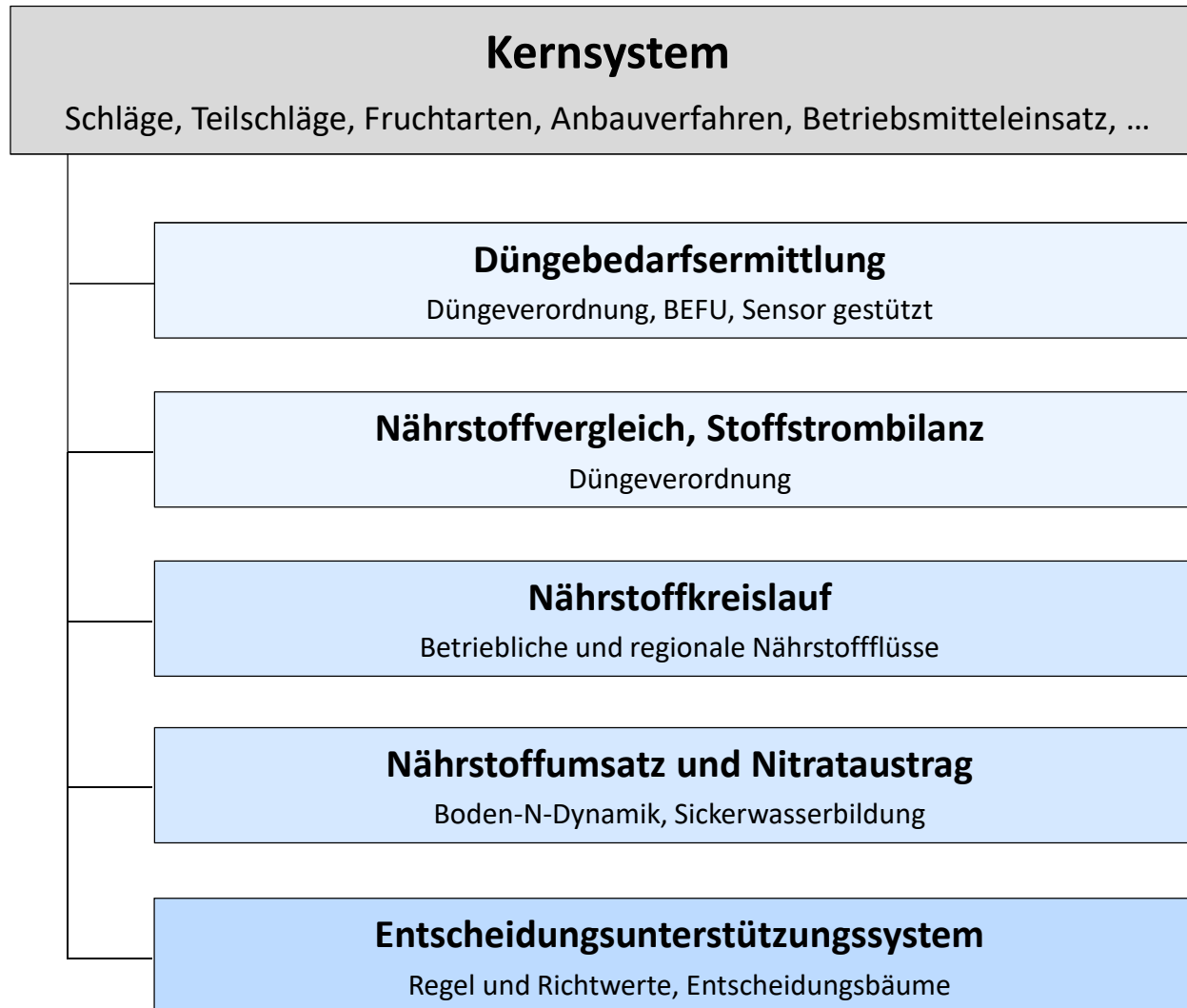
Name Lager rechts/links
Feldblock
Feldstück
Schlag Lager rechts/links
Flik DEBYLI8461000077

Bodeninformationen



Webbasiertes Nährstoff-Managementsystem

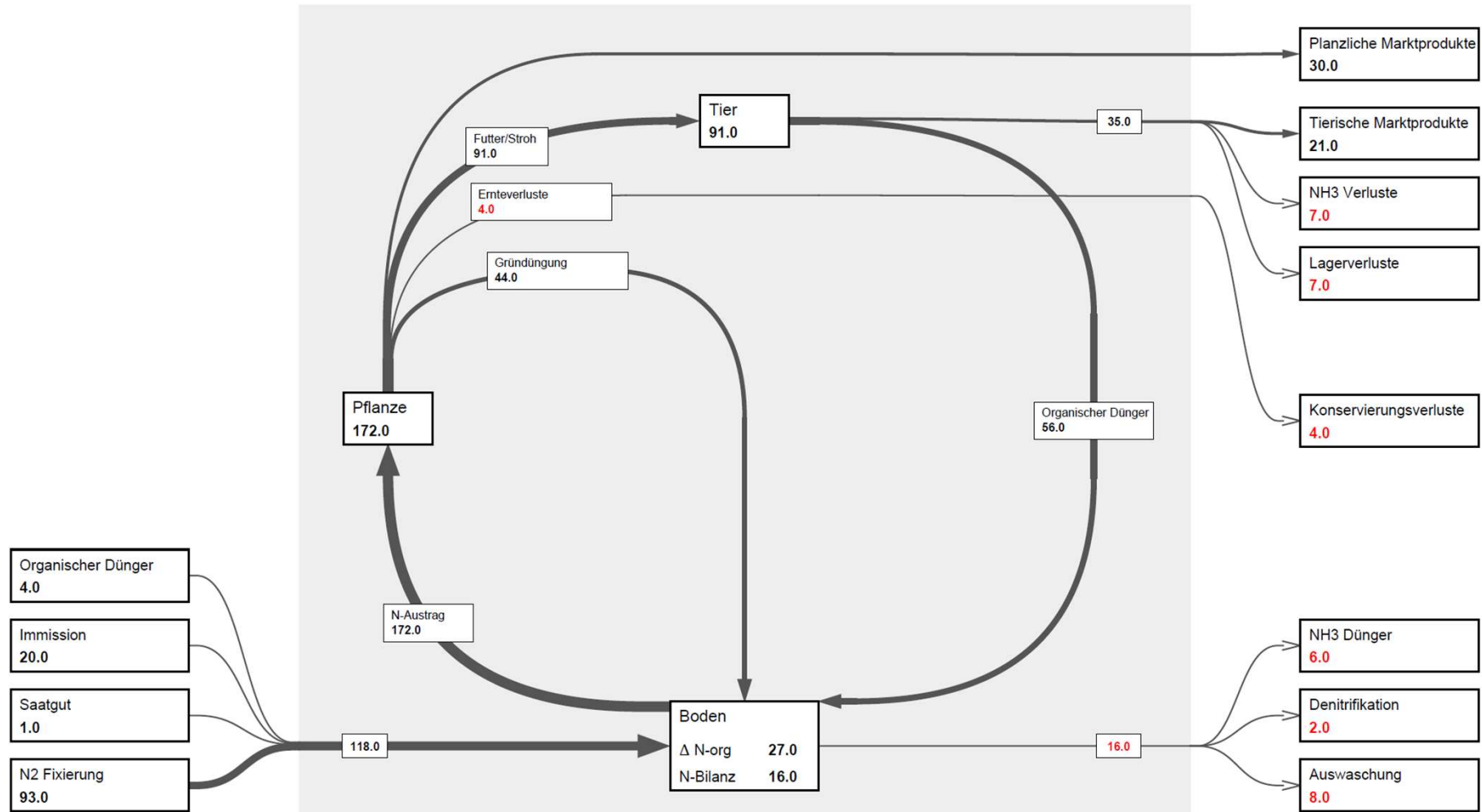
Modularer Aufbau – Komponenten





Stickstoffkreislauf im Nährstoff-Managementsystem

Beispiel eines ökologischen Betriebes mit Rinderhaltung



Energieflüsse und CO₂-Emissionen





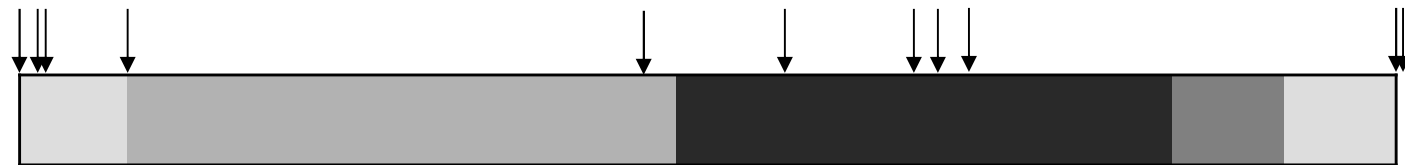
Einsatz fossiler Energie beim Anbau von Winterweizen

Hülsbergen et al. (2001): Agric., Ecosyst. & Environ. 86, 303-321.



Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug
------	-----	-----	-----	-----	------	------	-------	-----	------	------	-----

Seedbed preparation Sowing Emergence 1st N-Appl 1st PA 2nd N-Appl 2nd PA 3rd PA Harvest Transport



Diesel direct energy	I/ha	25.2	7.0	3.4
	GJ/ha	1.00	0.28	0.13

Machines indirect energy	GJ/ha	0.18	0.07	0.05
------------------------------------	-------	------	------	------

Other resources indirect energy	kg/ha	230
	GJ/ha	1.27

Seed

1.6	1.7	1.7	1.5	1.7
0.06	0.07	0.07	0.06	0.07

0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
------	------	------	------	------

80.0	4.0	2.0	40.0	1.5
2.82	0.64	0.12	1.41	0.10

N Herb Fung N Fung

22.6	17.1	Σ 83.50
0.90	0.68	

0.53	0.19	1.18
------	------	------

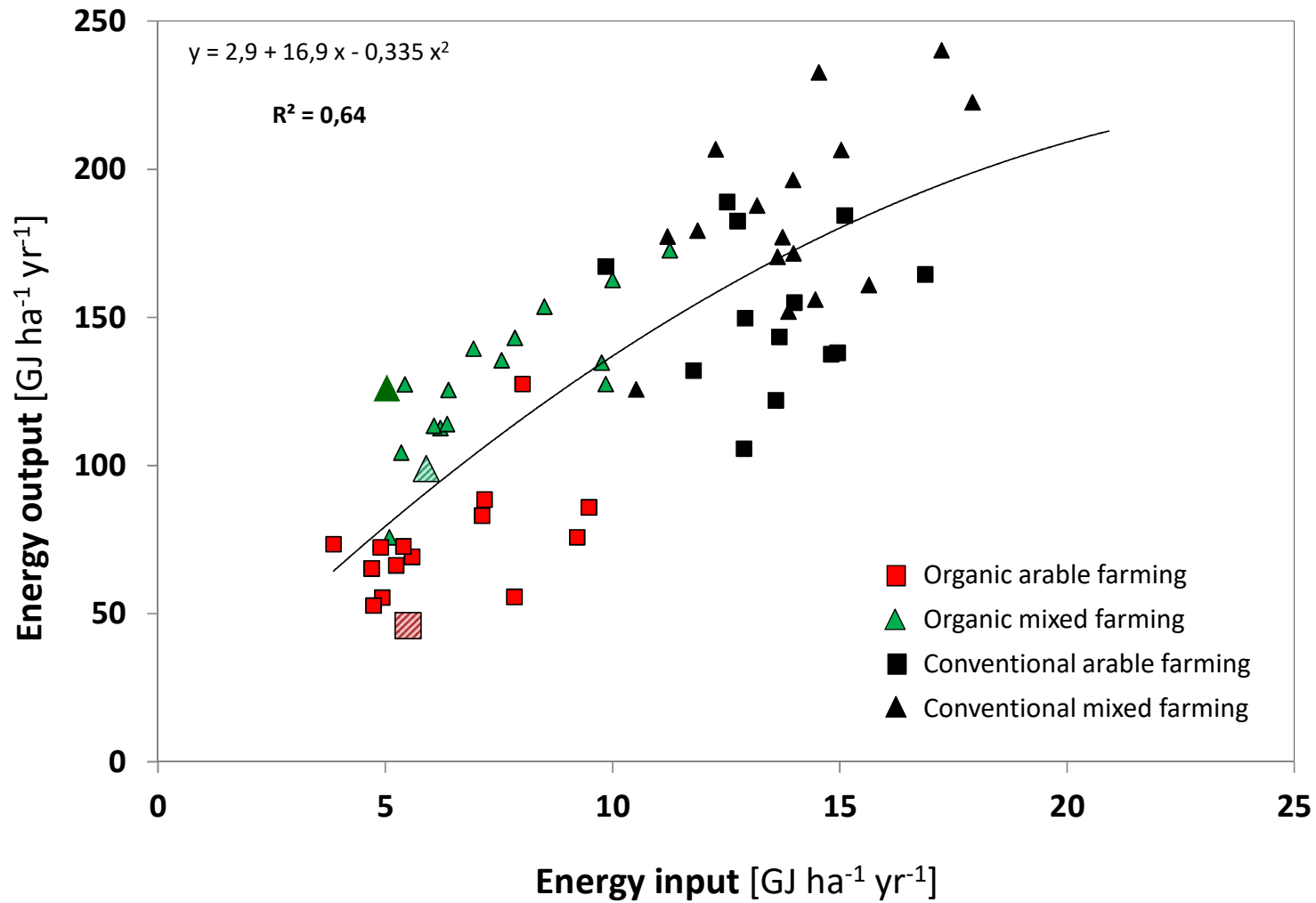
6.36

$\Sigma\Sigma$ 10.86



Beziehung zwischen Energieinput und -output im Pflanzenbau

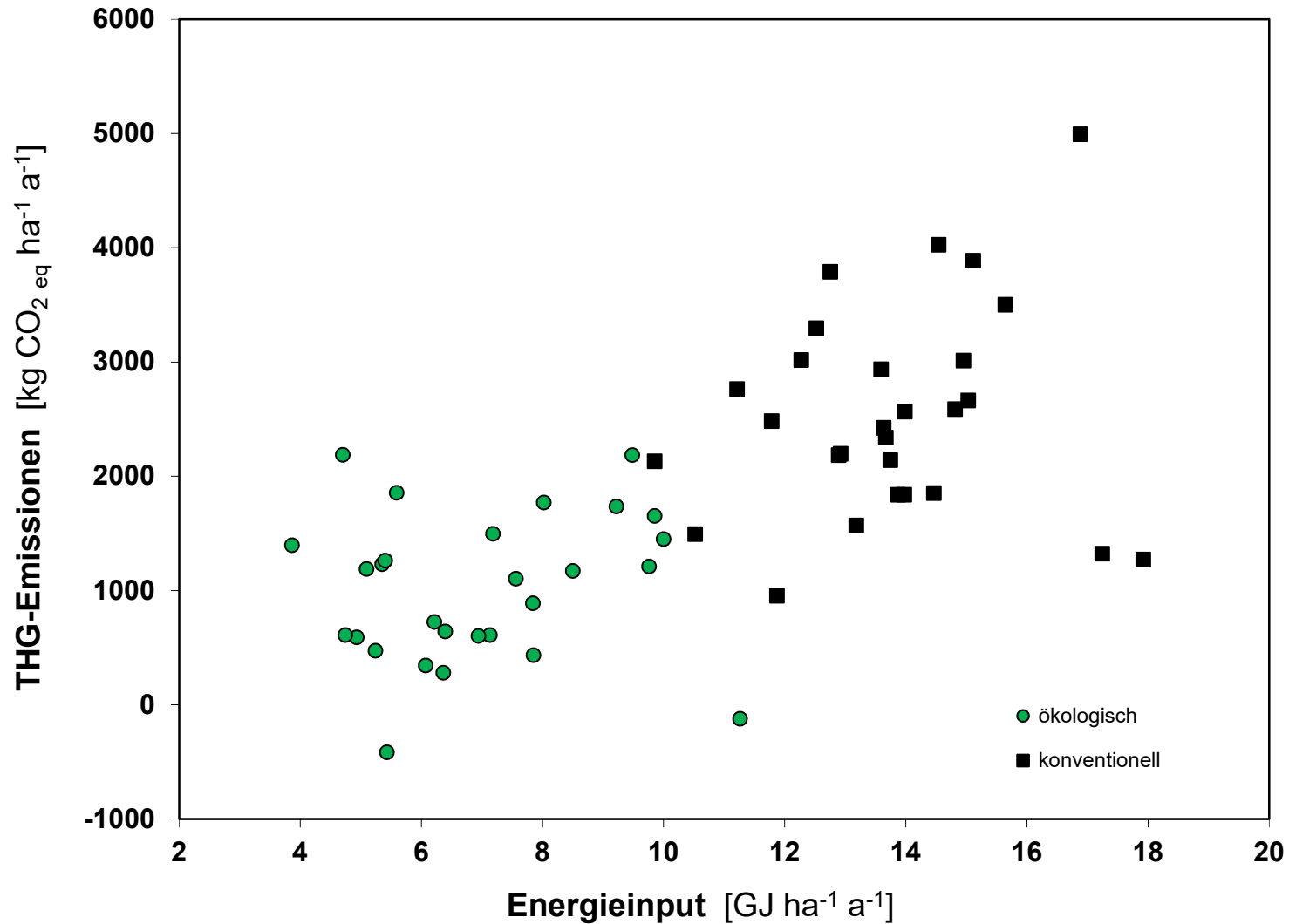
Netzwerk der Pilotbetriebe (Schmid et al. 2013, Lin & Hülsbergen 2016)





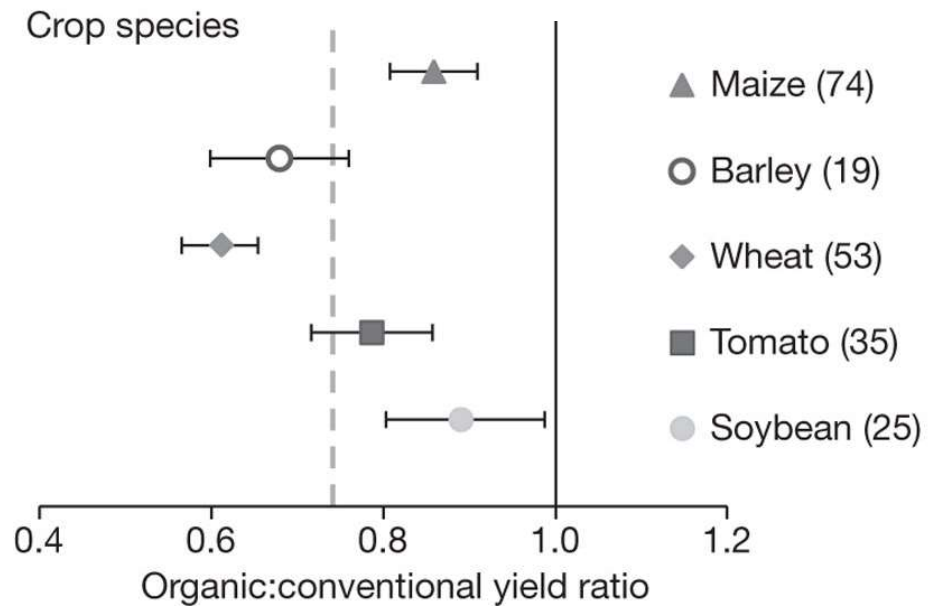
Beziehung zwischen Energieinput und THG-Emissionen

Netzwerk der Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülsbergen 2012)

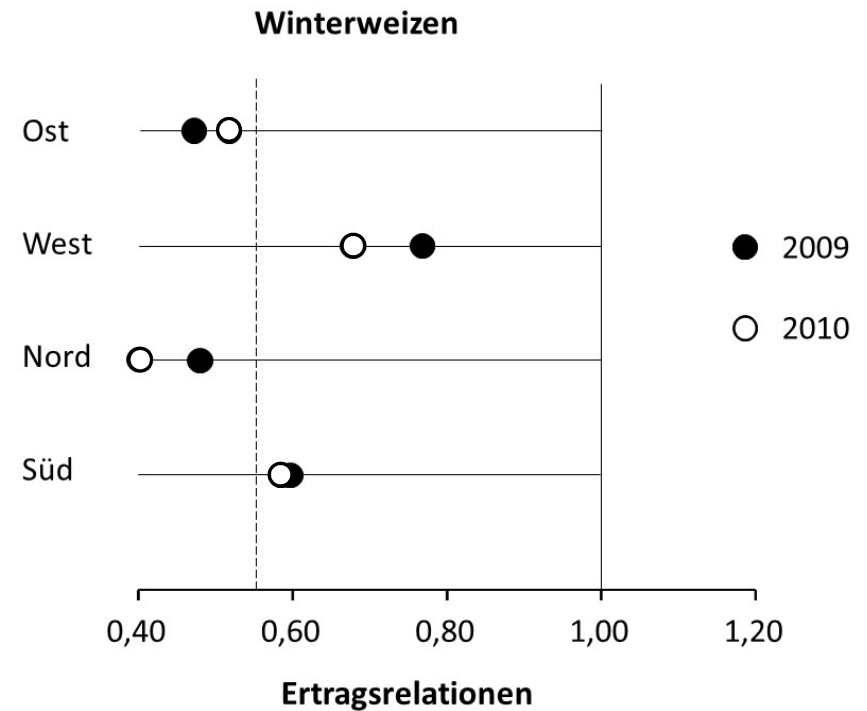




Ertragsvergleich, ökologisch : konventionell



Seufert et al. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature 485, 229-234

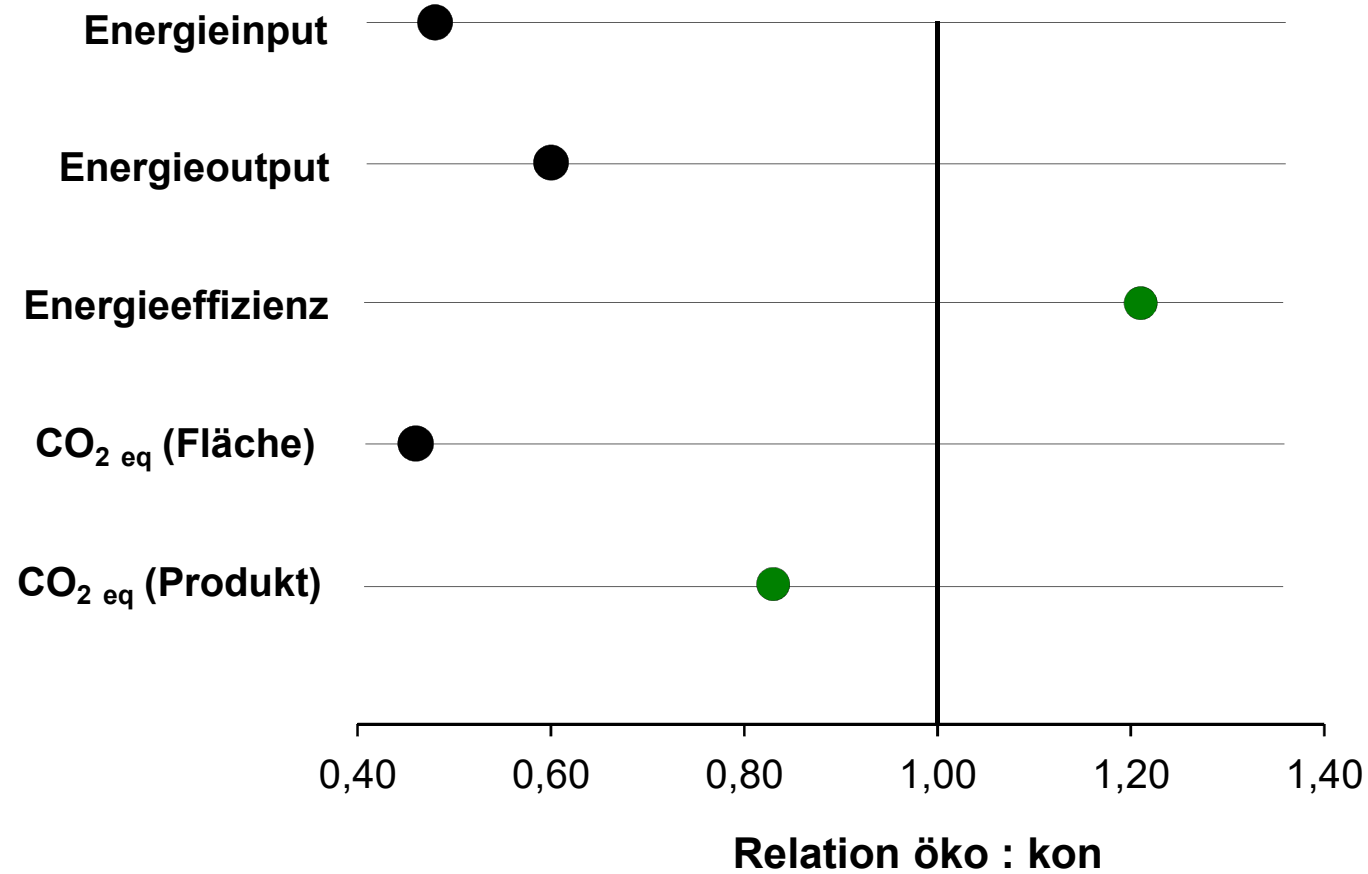


Hülsbergen K-J, Rahmann G (eds.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. Thünen Report 8



Energieeffizienz und CO₂-Emissionen im Pflanzenbau

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



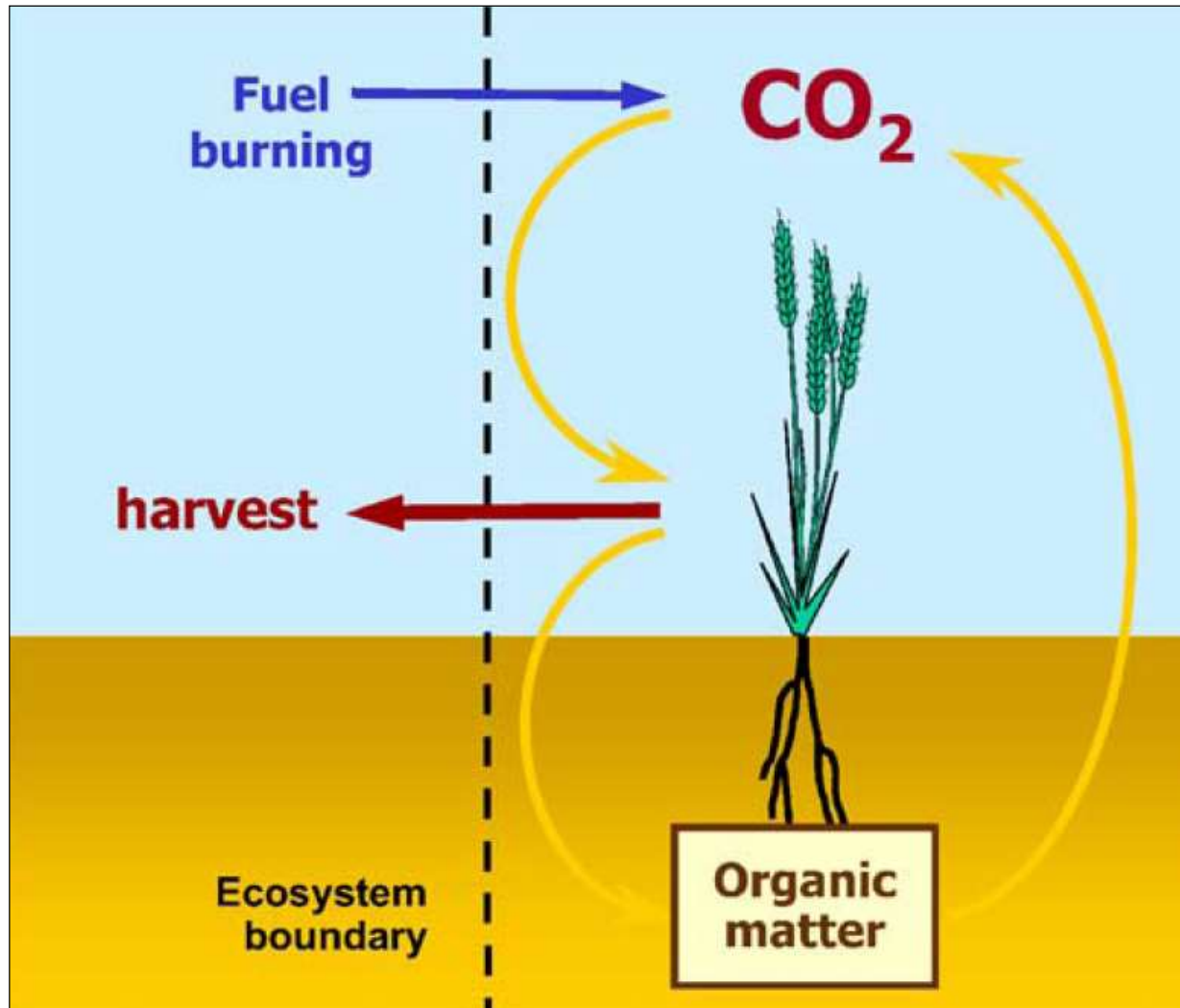
● flächenbezogen ● produktbezogen



- **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 Beratung und Betriebsoptimierung**
– Optimierung des Stickstoffeinsatzes, Ertragssteigerung, ...

Kohlenstoffkreislauf und Treibhausgasflüsse







Definition des Begriffes „Humus“:

„Humus ist die in oder auf dem Boden befindliche abgestorbene organische Substanz, die einem stetigen Ab-, Um- und Aufbauprozess unterworfen ist.“

Bei 58 % C im Humus:

1 % C entspricht 1,72 % Humus,

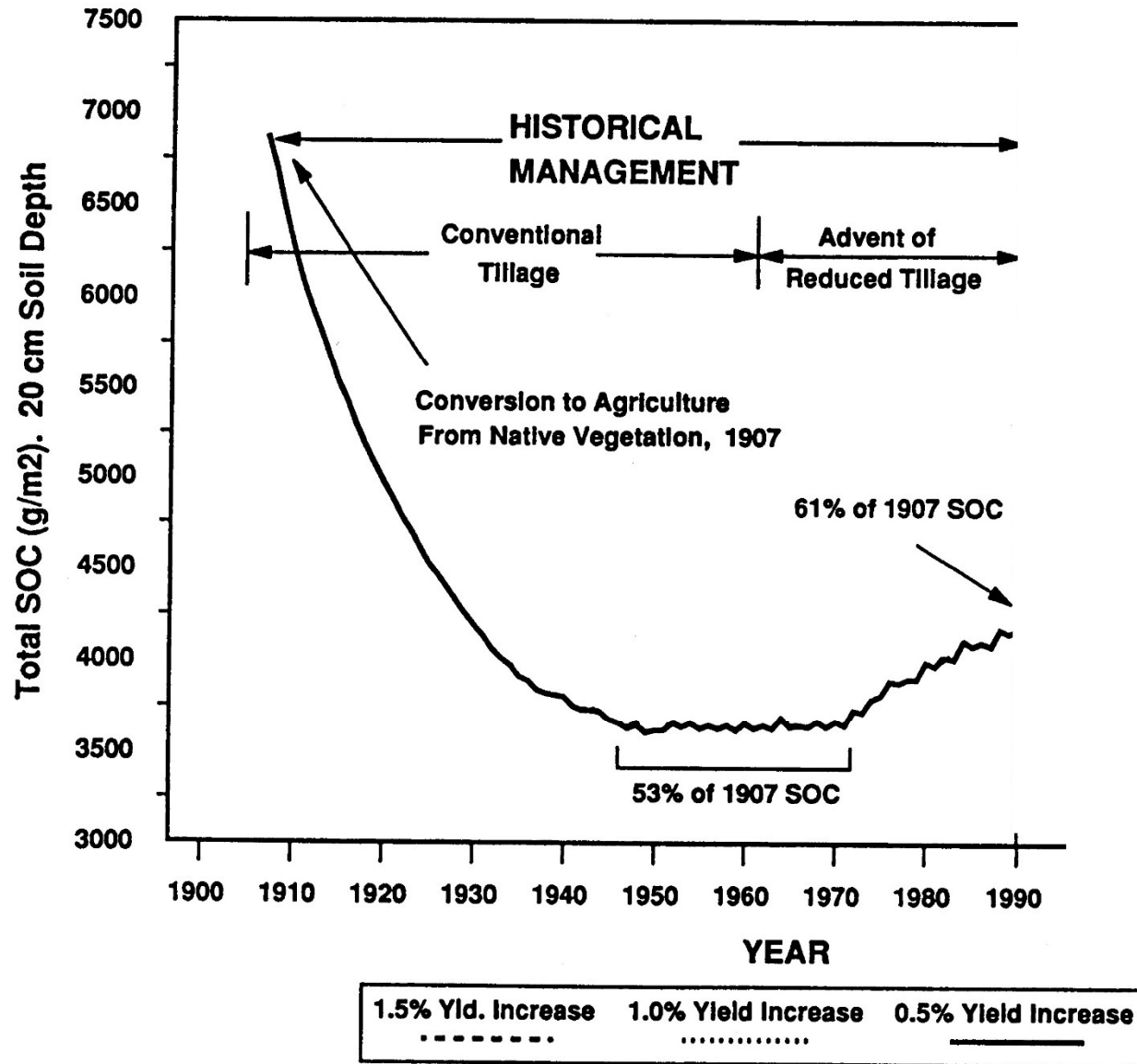
1 % C entspricht $\approx 45 \text{ t C ha}^{-1} = 78 \text{ t Humus ha}^{-1}$

Bei einem C : N - Verhältnis von 10 : 1 = $4500 \text{ kg N ha}^{-1}$



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

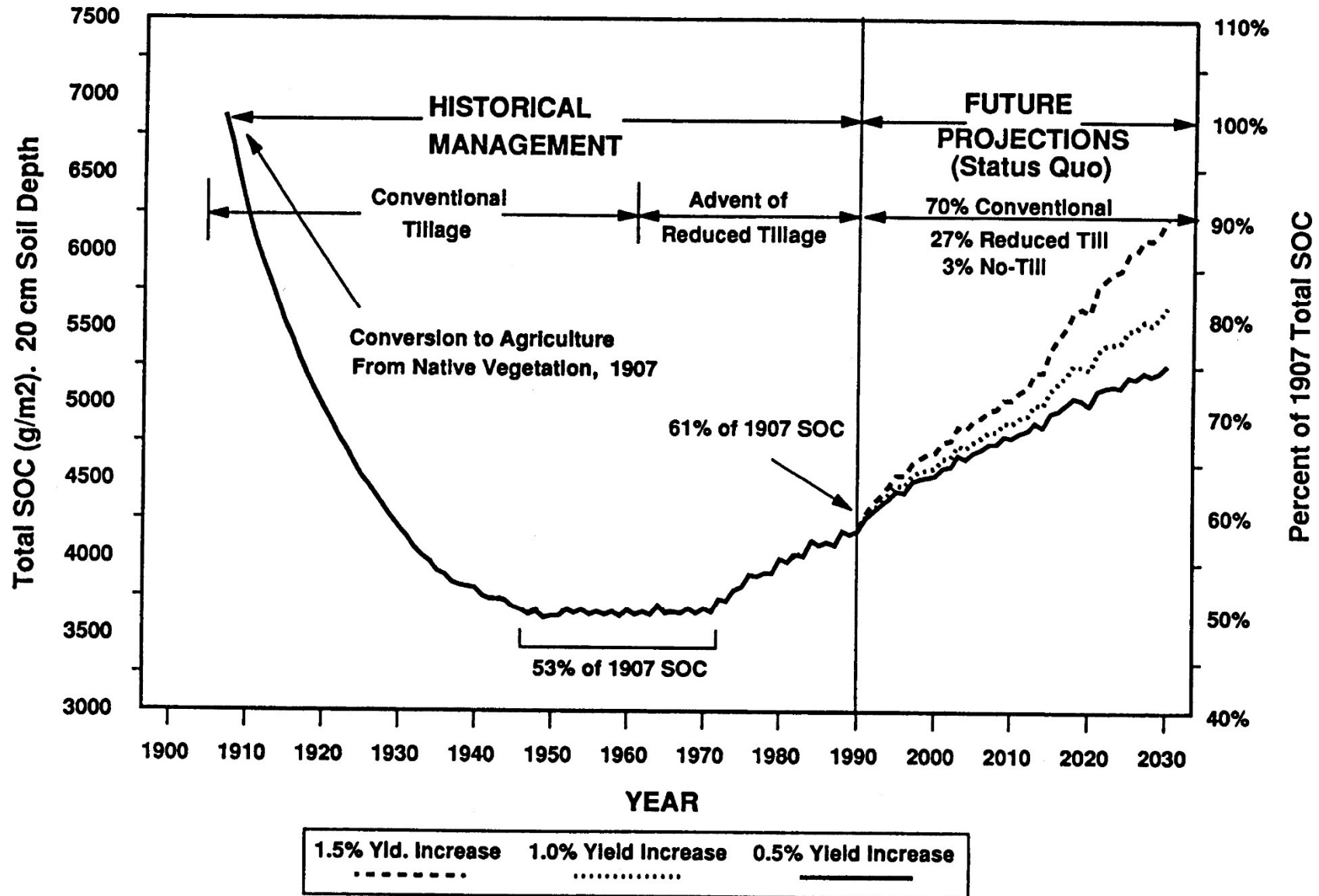
scenario for three levels of yield increases (DONIGIAN et al. 1994)





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

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





Potentiale der C-Bindung in Böden

zusammengestellt anhand eigener Messungen und der Literatur

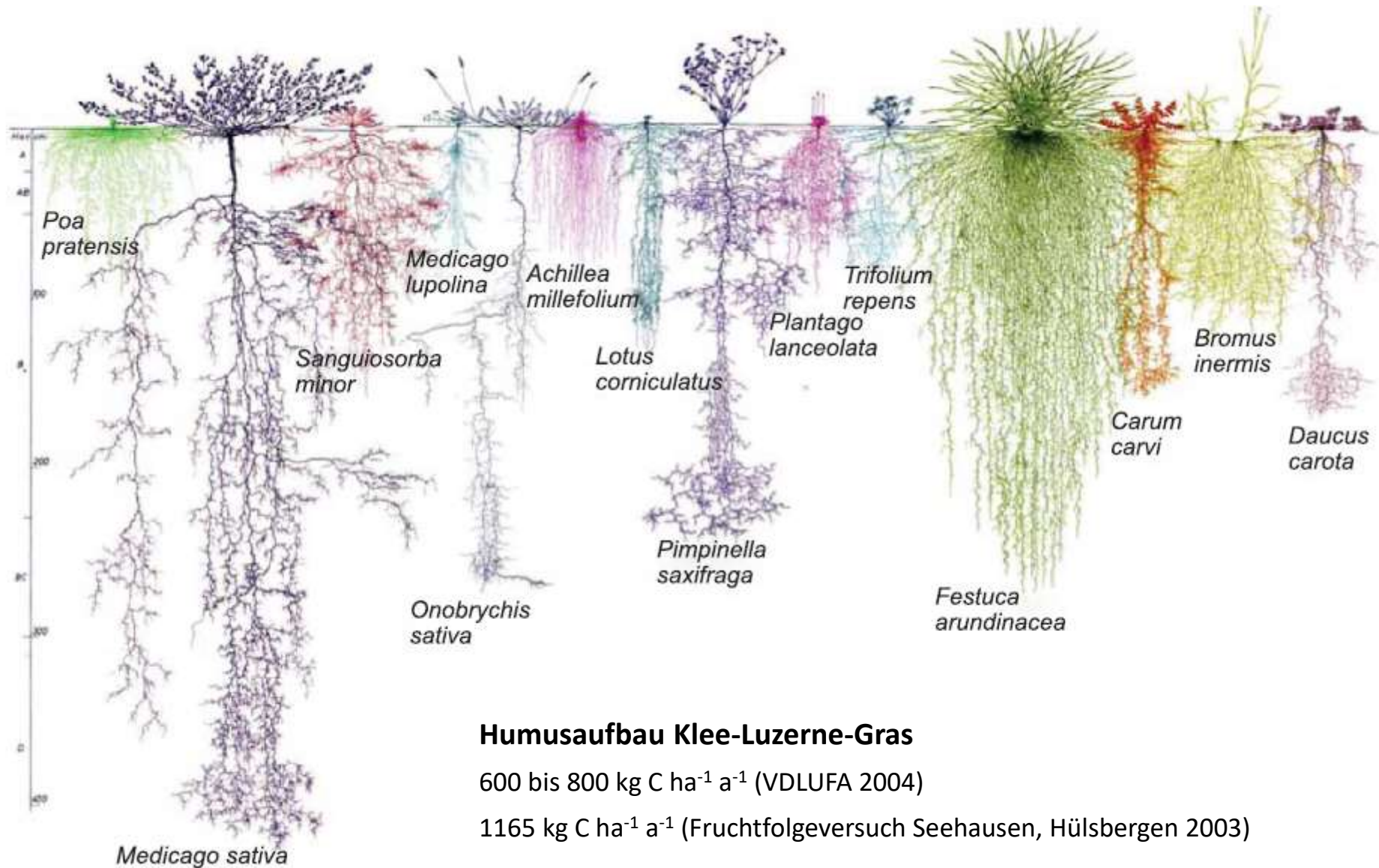


Maßnahme	C-Bindung t ha ⁻¹ a ⁻¹
Umwandlung von Grünland in Ackerland, Umbruch begrünter Dauerbrache	> - 1,0
Umwandlung von Ackerland in Grünland, begrünte Dauerbrache	> 1,0
Anbau mehrjähriger Leguminosen/-Gräser	0,6 bis > 1,0
Anbau von Silomais	- 0,4 bis - 0,8
Organische Düngung (Stalldung, Gärreste, Kompost)	> 0,5
Reduzierte Bodenbearbeitung (pfluglos, Direktsaat)	0 bis 0,25



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

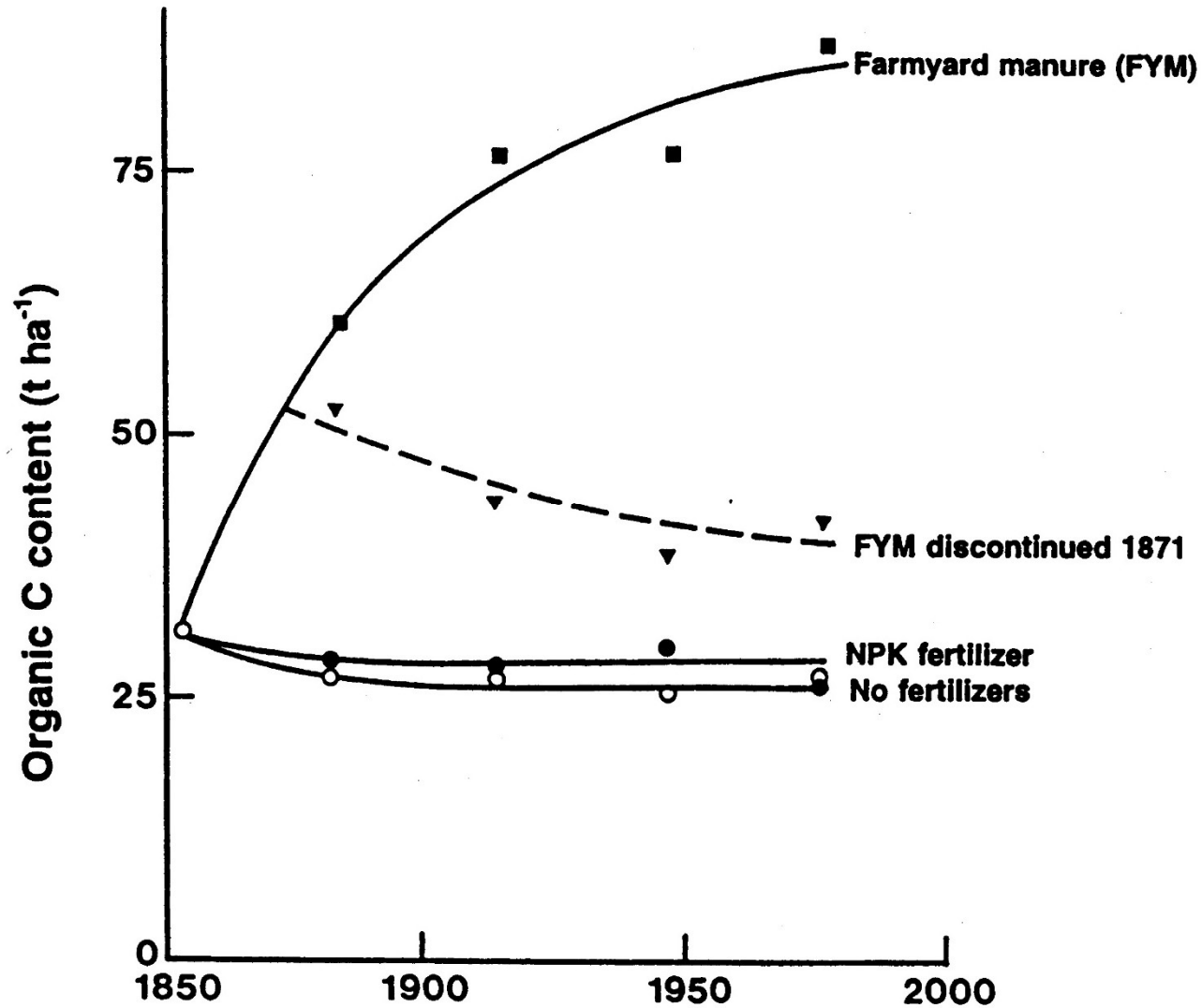
Braun M., Schmid H., Grundler T. & Hülsbergen, K.-J. (2010): Plant Biosystems 144, 414-419.





Changes of soil organic C content in the Hoosfield

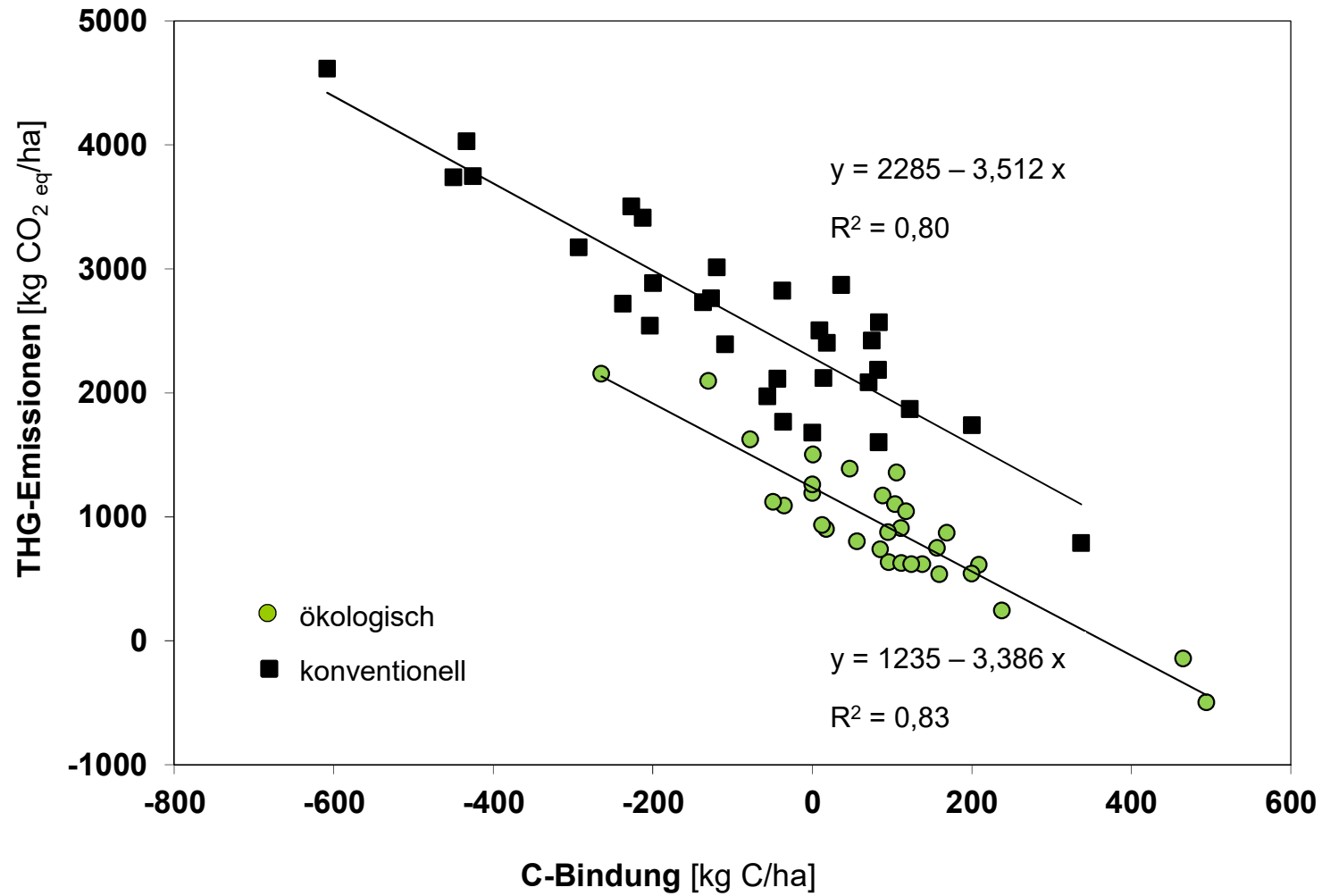
Continuous barley experiment (JOHNSTON 1986)





C-Sequestrierung und flächenbezogene THG-Emissionen

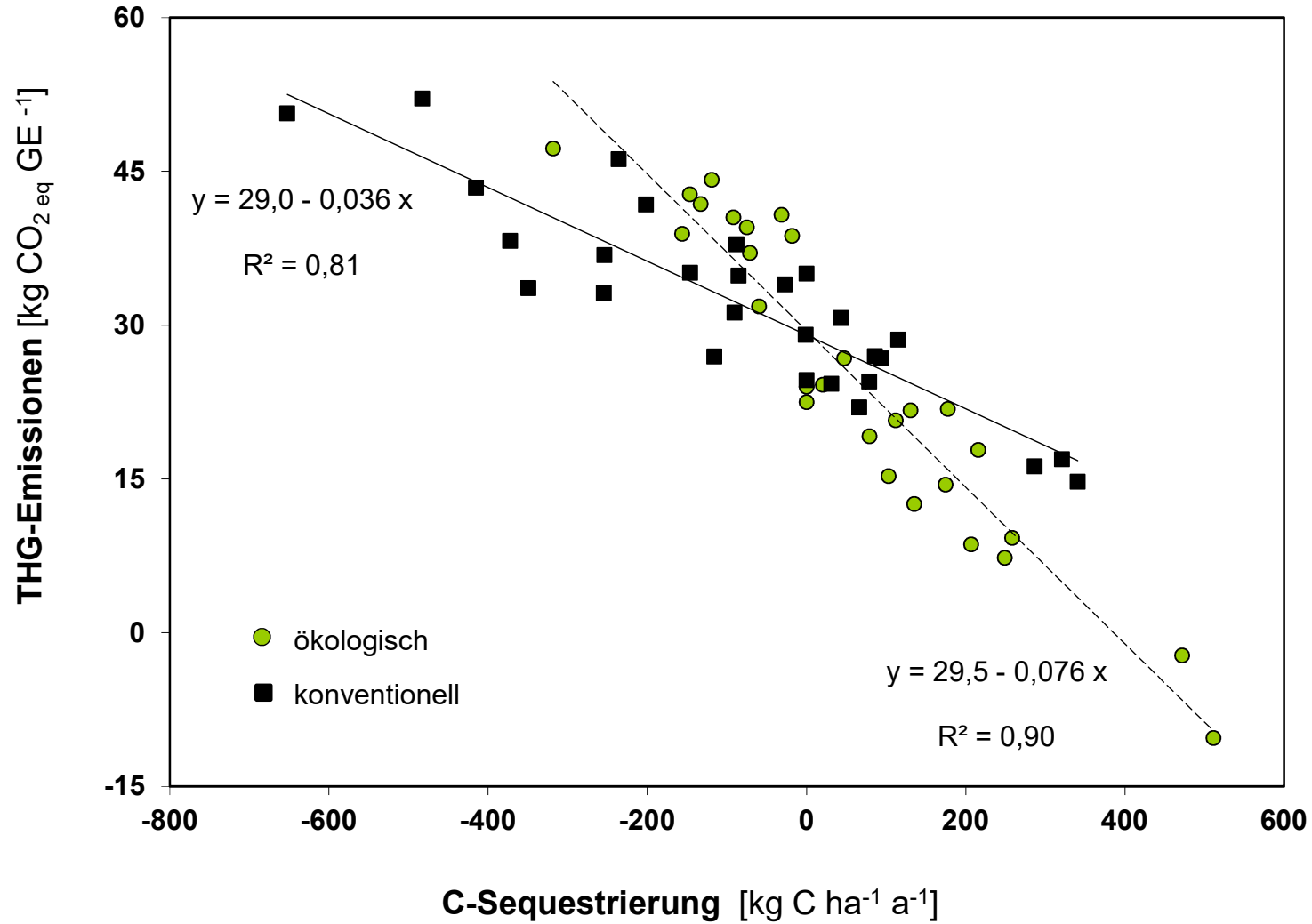
Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülsbergen 2012)





C-Sequestrierung und produktbezogene THG-Emissionen

Pilotbetriebe (Schmid, Braun & Hülshbergen 2012)





- **Humus-C-Saldo** = potenzielle Änderung des Humus- und C-Vorrates
Böden als CO₂-Quelle und Senke
- **Humusversorgung** abhängig von
Anbaustruktur und Fruchtfolge, Organischer Düngung, Bodenbearbeitung
- **Optimierungsansätze** Ökologischer Landbau
Kleegras-Management, Fruchtfolge, Betriebliche Stoffkreisläufe
- **Optimierungsansätze** Konventioneller Landbau
Konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaaten, Zwischenfrüchte
Ertragsverwendung (Strohdüngung, C-Harvestindex)



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



Reduzierung von Methanemissionen

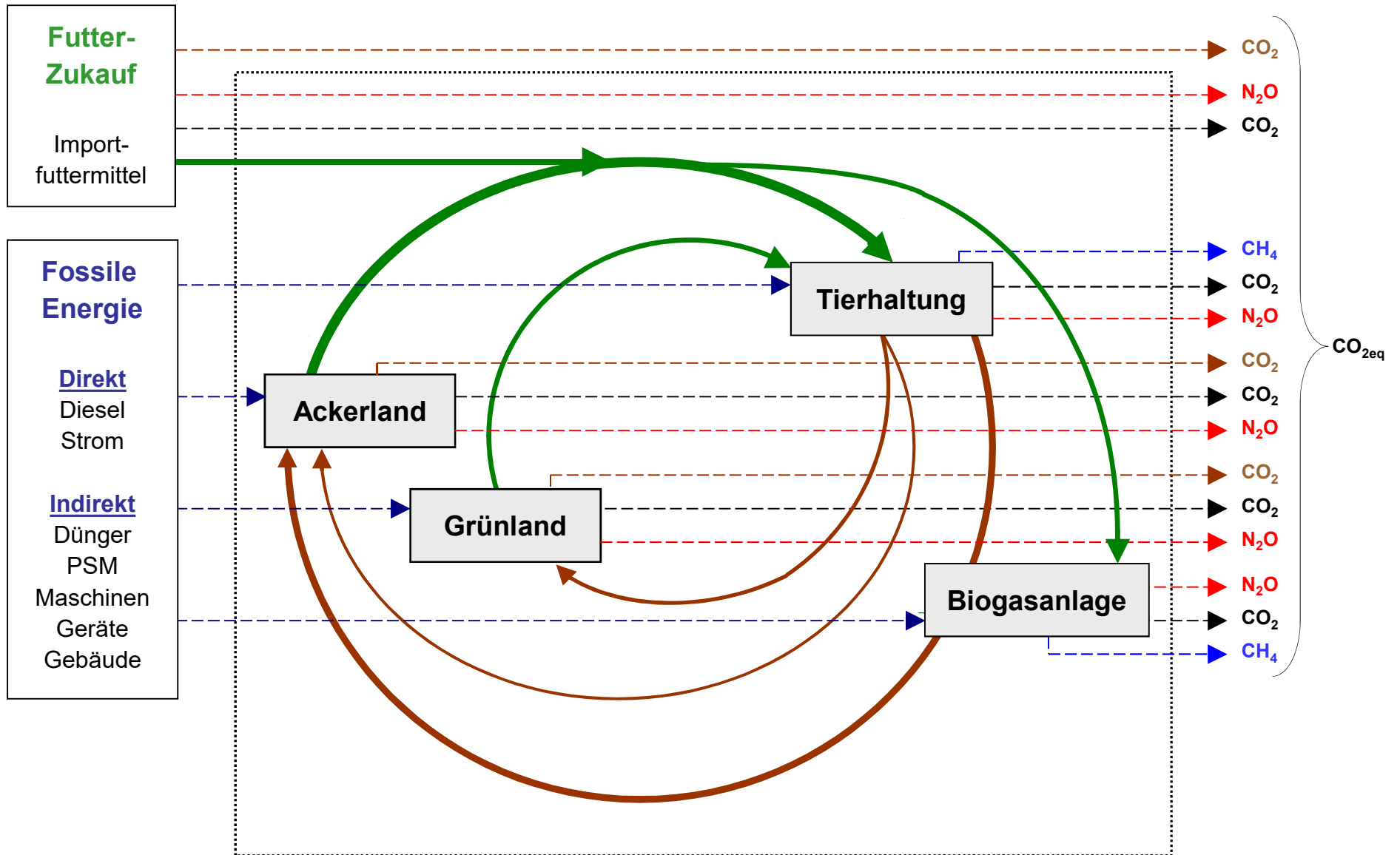
Systemoptimierung der Milchviehhaltung

von der Futtererzeugung bis zur Düngerverwertung





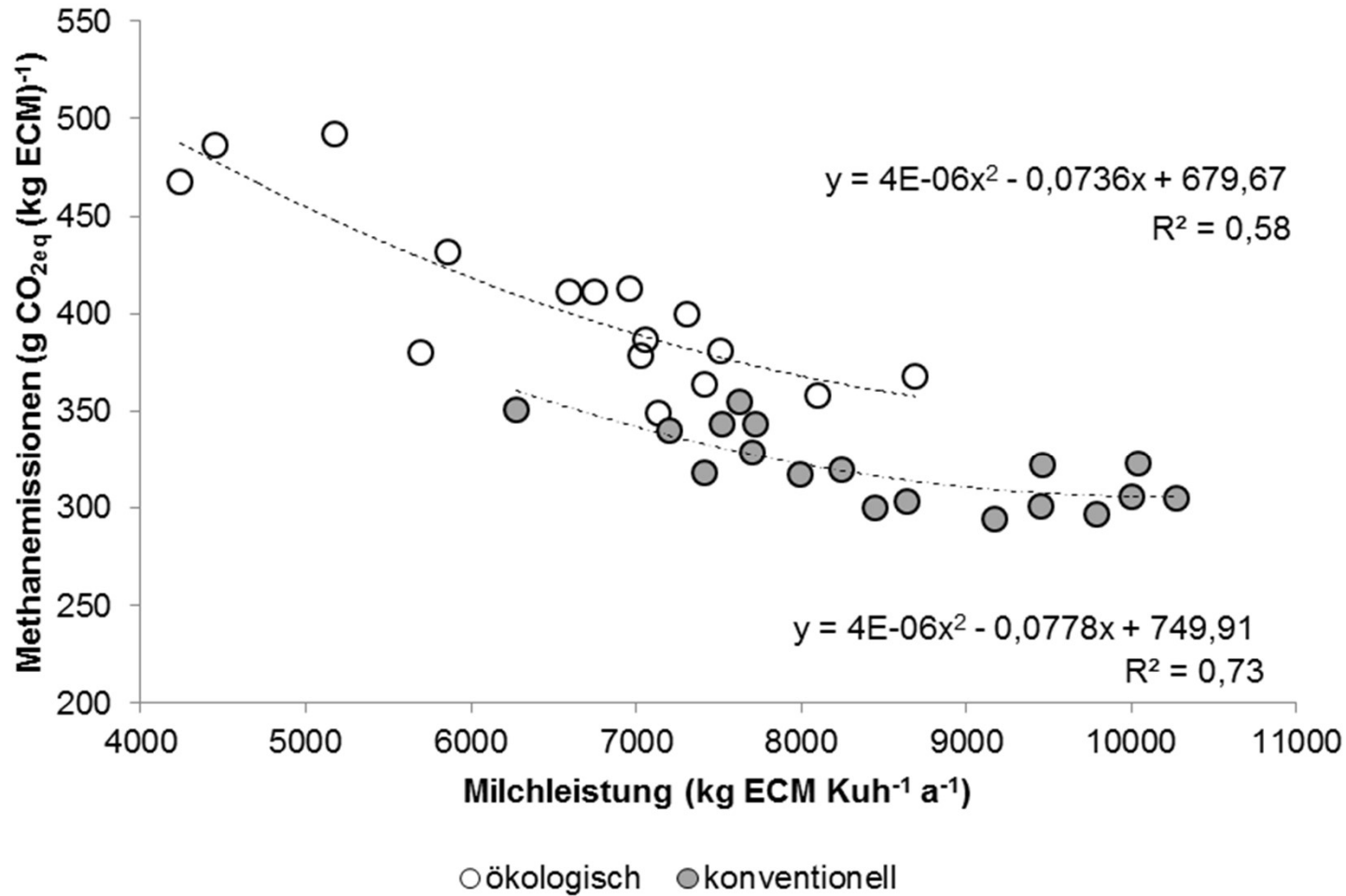
Treibhausgasbilanz: Relevante Stoff- und Energieflüsse





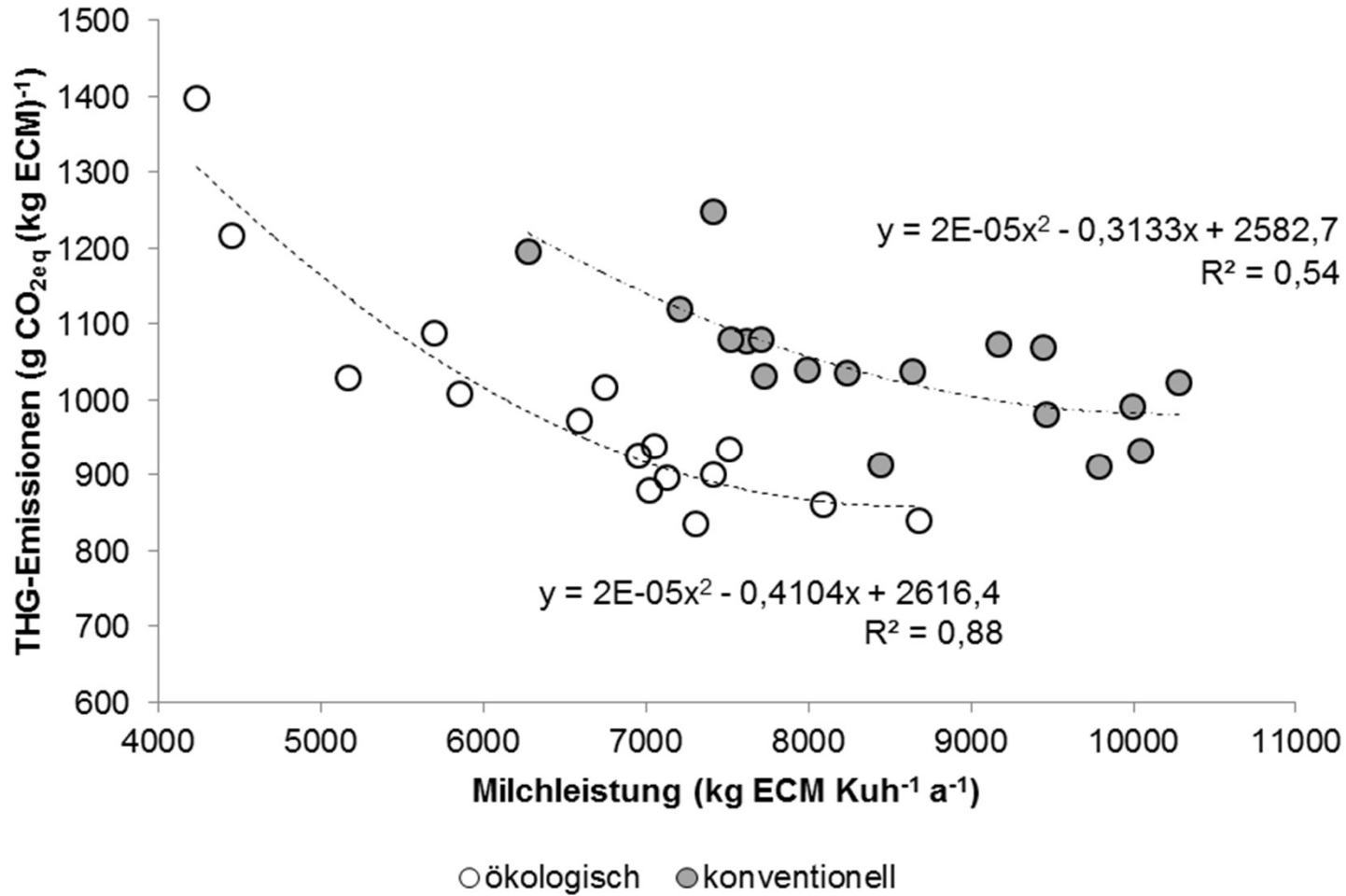


Beziehung zwischen der Milchleistung und den Methanemissionen je kg Milch (Frank, Schmid & Hülsbergen 2014)





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





- **Methodische Innovation:** Vollständige Energie- und Treibhausgasbilanz der Milchviehhaltung (Prozessanalyse)
- **Futtererzeugung als wesentlicher Energieinput** prägt die Gesamteffizienz (Grundfutter, Kraftfutter, Weidegang, Zukauffutter: Soja!)
- **Milchleistung als wichtiger Einflussfaktor auf die THG-Emissionen**
Geringere THG-Emissionen im Ökolandbau bei gleicher Leistung
- Extrem große **Schwankungsbereite der Milchleistung** (4.000 bis > 10.000 kg)
Standorteinflüsse (Region Süd – Region West)

**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?