

Nährstoffkreisläufe und Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau

Fachtagung Nährstoffmanagement im Ökolandbau, Nossen, 30.10.2019



- **Problemstellung und Forschungsbedarf**
- **Nährstoffkreisläufe ökologischer Betriebssysteme**
- **Strategien zur nachhaltigen Nährstoffversorgung**
- **Schlussfolgerungen und Ausblick**

ÖKOLOGIE & LANDBAU

ÖKOLOGIE & LANDBAU

 **SÖL FiBL**

DEUTSCHLAND 10,20 € | ÖSTERREICH 11,20 € | SCHWEIZ 16,60 CHF **AUSGABE 04/2019**



NÄHRSTOFFE

Kreisläufe schließen!



Es ist Zeit für innovative Konzepte im Biolandbau: Stoffkreisläufe müssen überbetrieblich geschlossen und neue Nährstoffquellen erschlossen werden. Es geht um nicht weniger als die Optimierung des Systems Biolandbau.

Von Kurt-Jürgen Hülsbergen, Lucie Chmelíková und Harald Schmid

Ein „weitgehend“ geschlossener Stoffkreislauf in einem vielseitig organisierten Betriebssystem ist ein Grundprinzip des ökologischen Landbaus. Allerdings sind Nährstoff-Kreisläufe in landwirtschaftlichen Betrieben nie vollkommen geschlossen – mit pflanzlichen und tierischen Marktprodukten werden Nährstoffe abgegeben, zudem sind Nährstoffverluste in die Umwelt nicht ganz zu vermeiden. Je nach Produktionsrichtung und Betriebsstruktur unterscheiden sich aber Nährstoffzukauf und -verkauf sowie innerbetriebliches Nährstoffrecycling sehr deutlich.



Die organisch-biologische Landbaumethode beruht auf einer genauen Beachtung biologischer **Wirkungszusammenhänge zwischen Boden – Pflanze – Tier und Mensch**, mit dem Ziel einer optimalen **Pflege biologischer Regelsysteme** im landwirtschaftlichen Bereich.

Landwirtschaftliche Produkte werden innerhalb des **möglichst geschlossenen Betriebskreislaufes** ... erzeugt.

NATURLAND RICHTLINIEN

ERZEUGUNG

Stand 06/2018

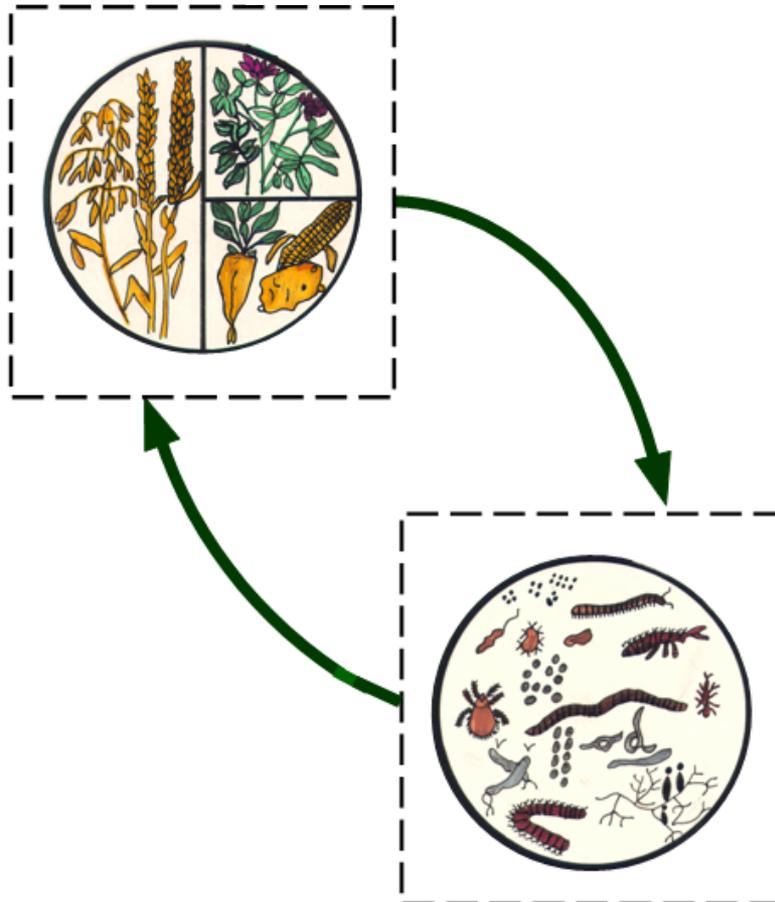


Die **Fruchtfolge ist die Grundlage im Ackerbau**, auf der der **Betriebskreislauf** im ökologischen Landbau aufbaut.

Die **Humusbilanz** muss im Rahmen einer vielseitigen Fruchtfolge **mindestens ausgeglichen** gestaltet sein.

Der **Zukauf von organischen Düngern** dient neben der Düngung vor allem der Verbesserung der Humusversorgung, der Förderung des Bodenlebens und dem **Ausgleich von Nährstoffverlusten aus dem Betriebskreislauf**. Eine Intensivierung über das standortverträgliche Maß hinaus muss vermieden werden.

Die **Rückführung von Nährstoffen über Komposte** ist im Sinne des Kreislaufgedankens zu begrüßen, wenn deren Unbedenklichkeit in Bezug auf Rückstände garantiert ist.

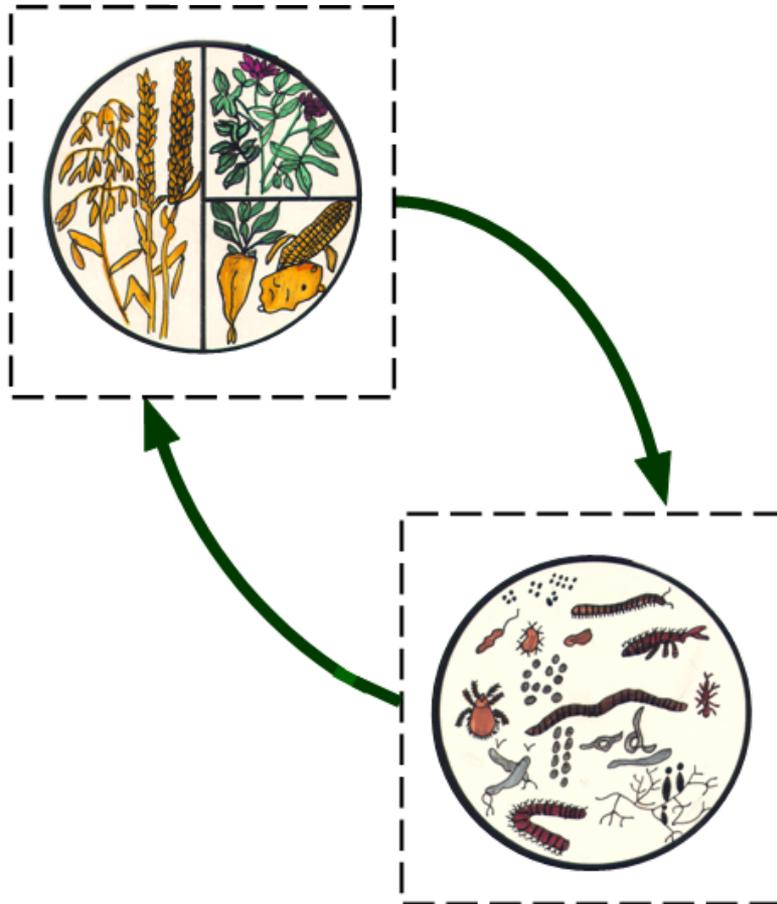


Spezialisierung Marktfruchtbetriebe

- C- und N-Kreislauf, Emissionen
- Bodenfruchtbarkeit, Humus
- Fruchtfolge, Fruchtartendiversität
- Ertrag, Qualität



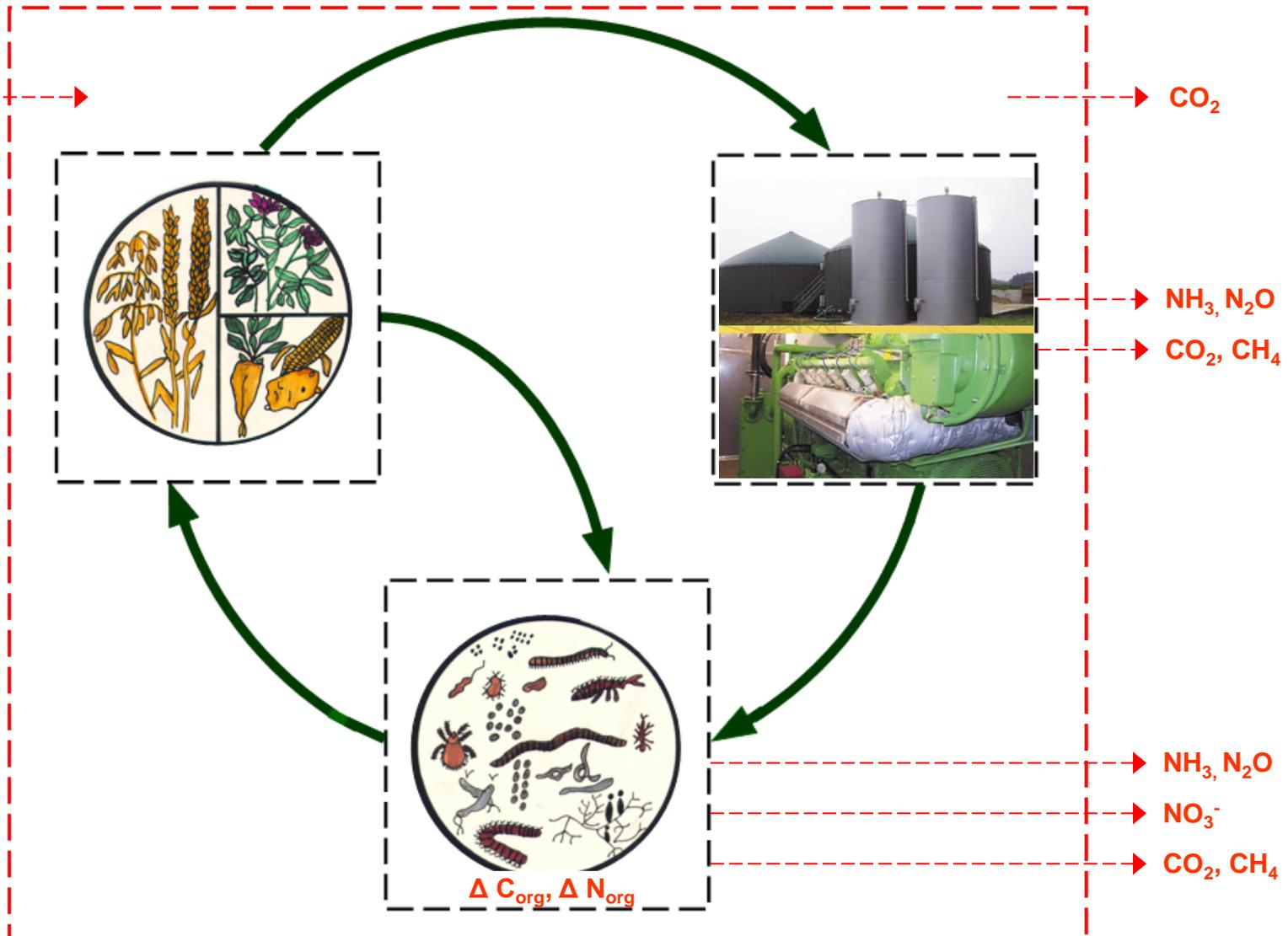
Stoffkreisläufe im Landwirtschaftsbetrieb





Betriebliche Emissionsinventur

Fossile
Energie





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

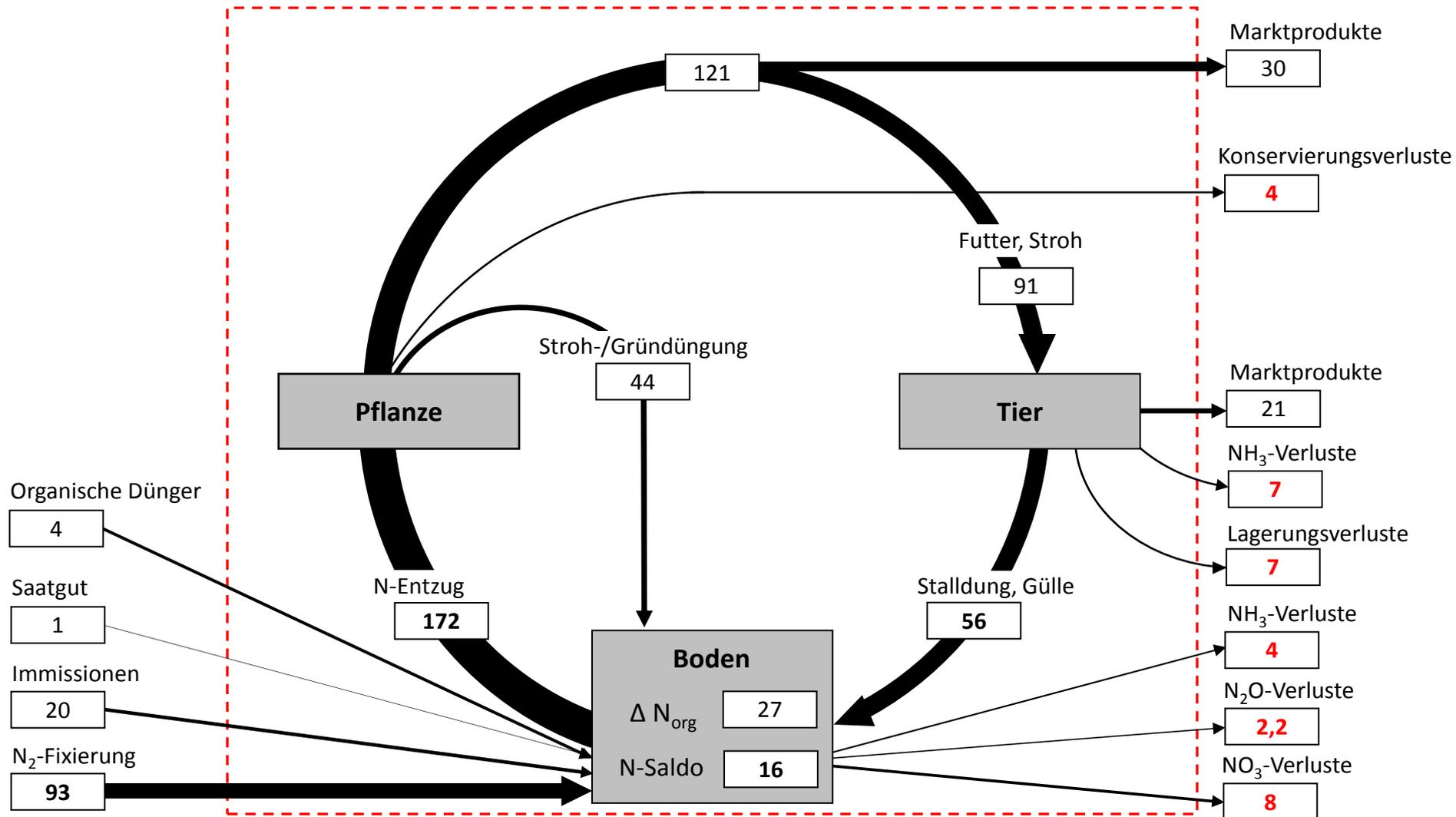
Ökologischer Gemischtbetrieb mit Milchvieh (Schmid, Frank & Hülsergen 2013)



Inputs

Innerbetrieblicher Kreislauf

Outputs





Stickstoffkreislauf Ökologischer Marktfruchtbau

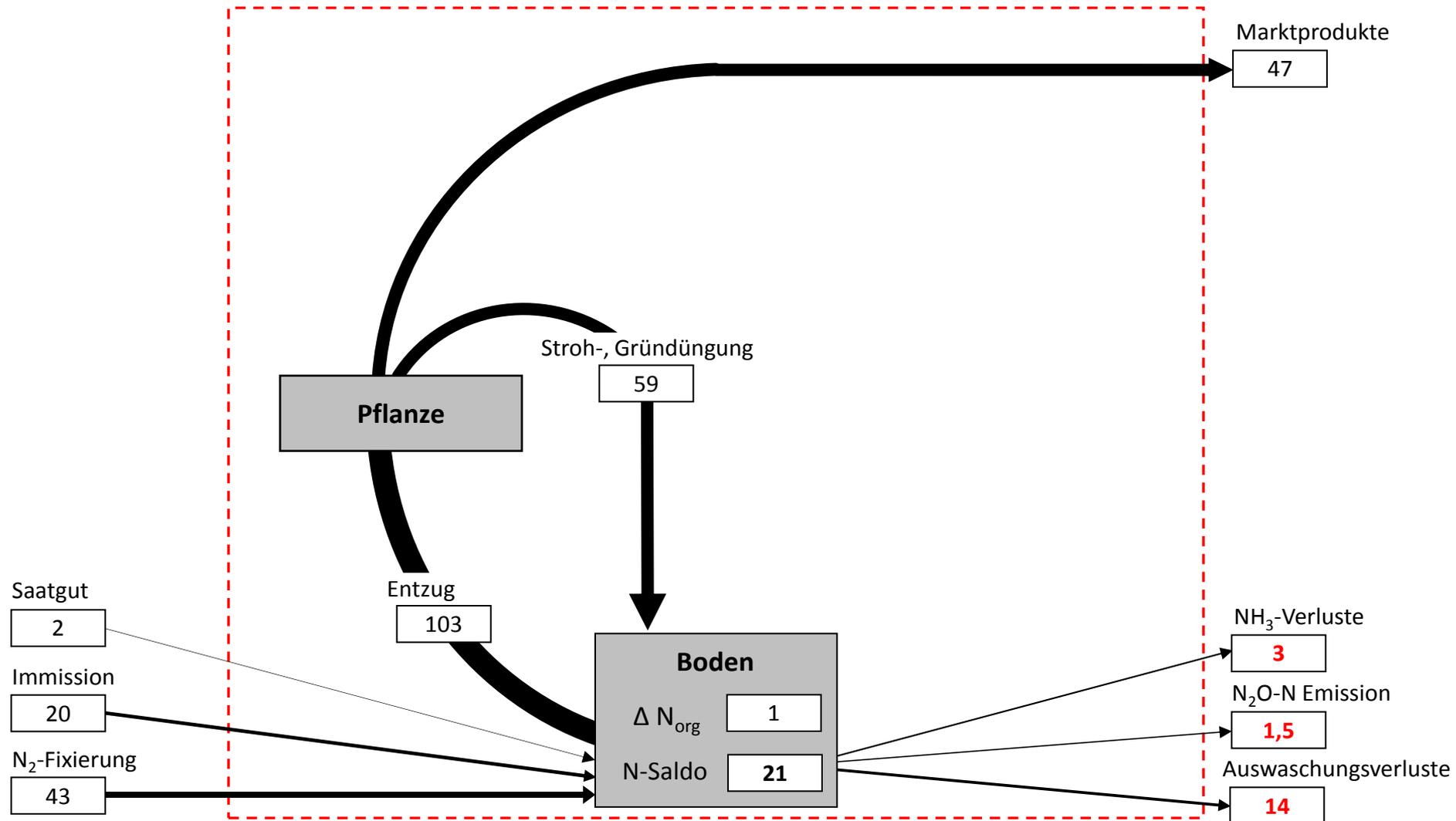
(N in kg ha⁻¹ a⁻¹)



Inputs

Innerbetrieblicher Kreislauf

Outputs





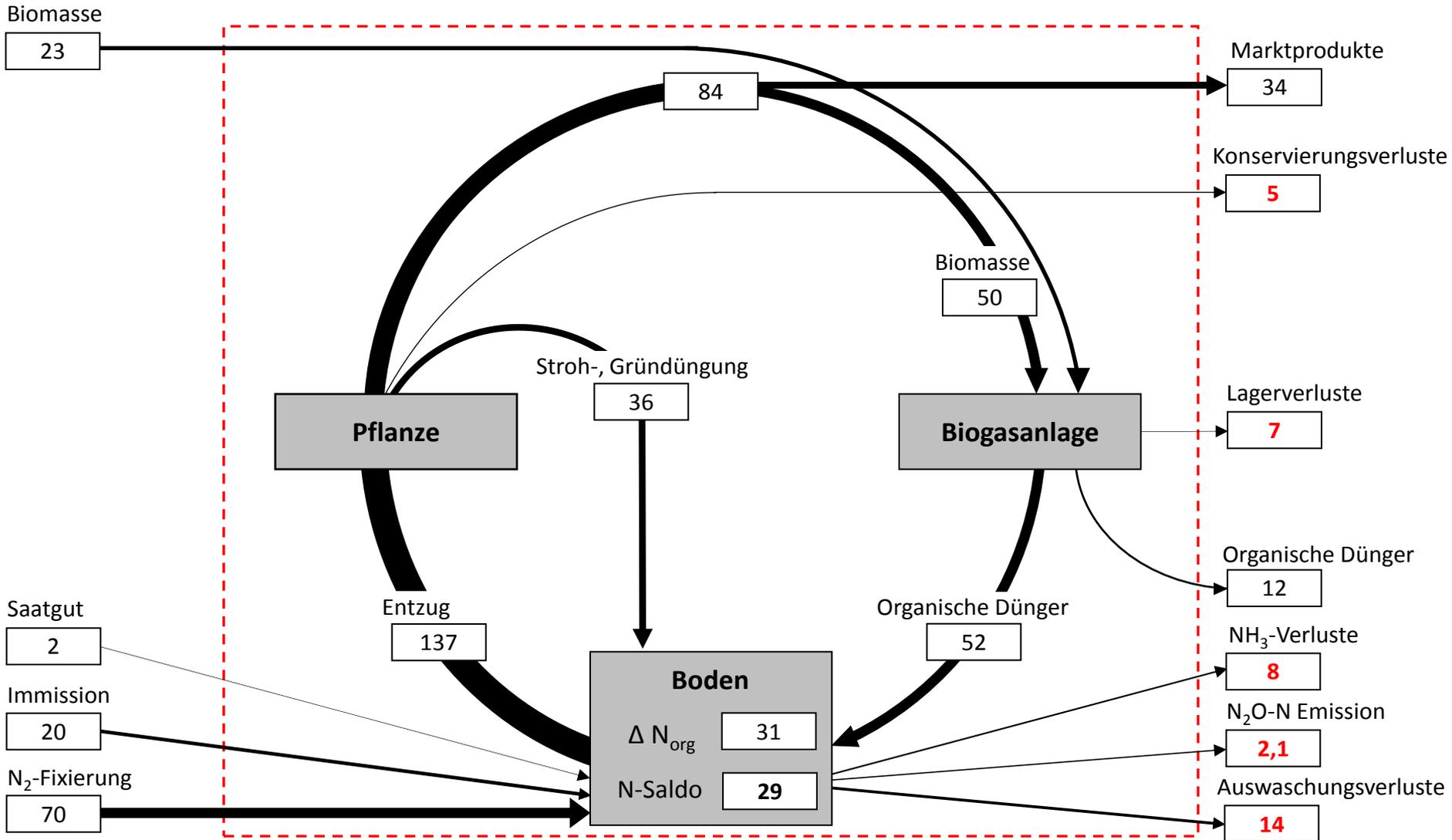
Stickstoffkreislauf Ökologischer Marktfruchtbau mit Biogasanlage (N in kg ha⁻¹ a⁻¹)



Inputs

Innerbetrieblicher Kreislauf

Outputs





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

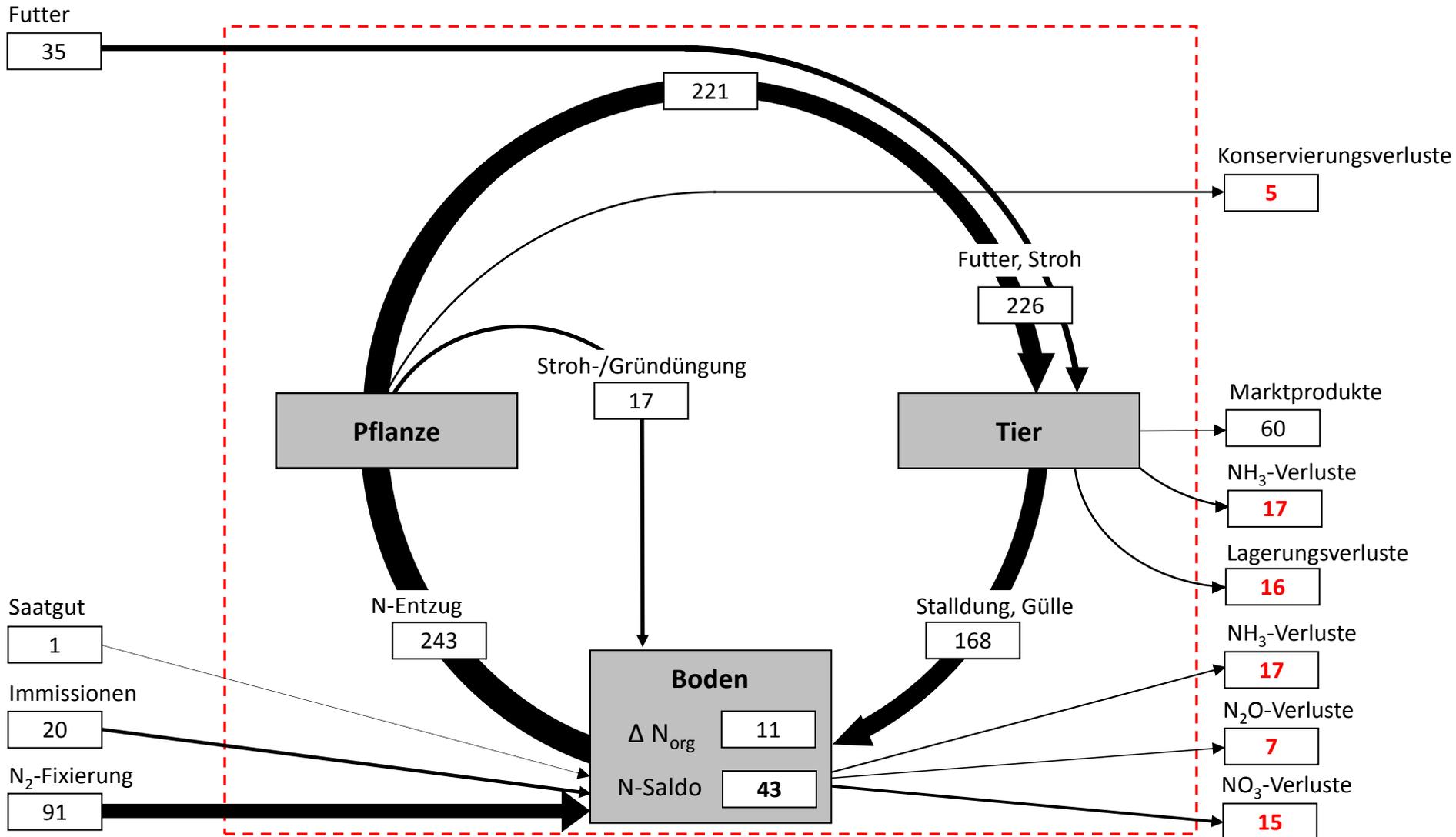
Ökologischer Milchviehbetrieb, Alpenvorland (Schmid, Frank & Hülsbergen 2013)

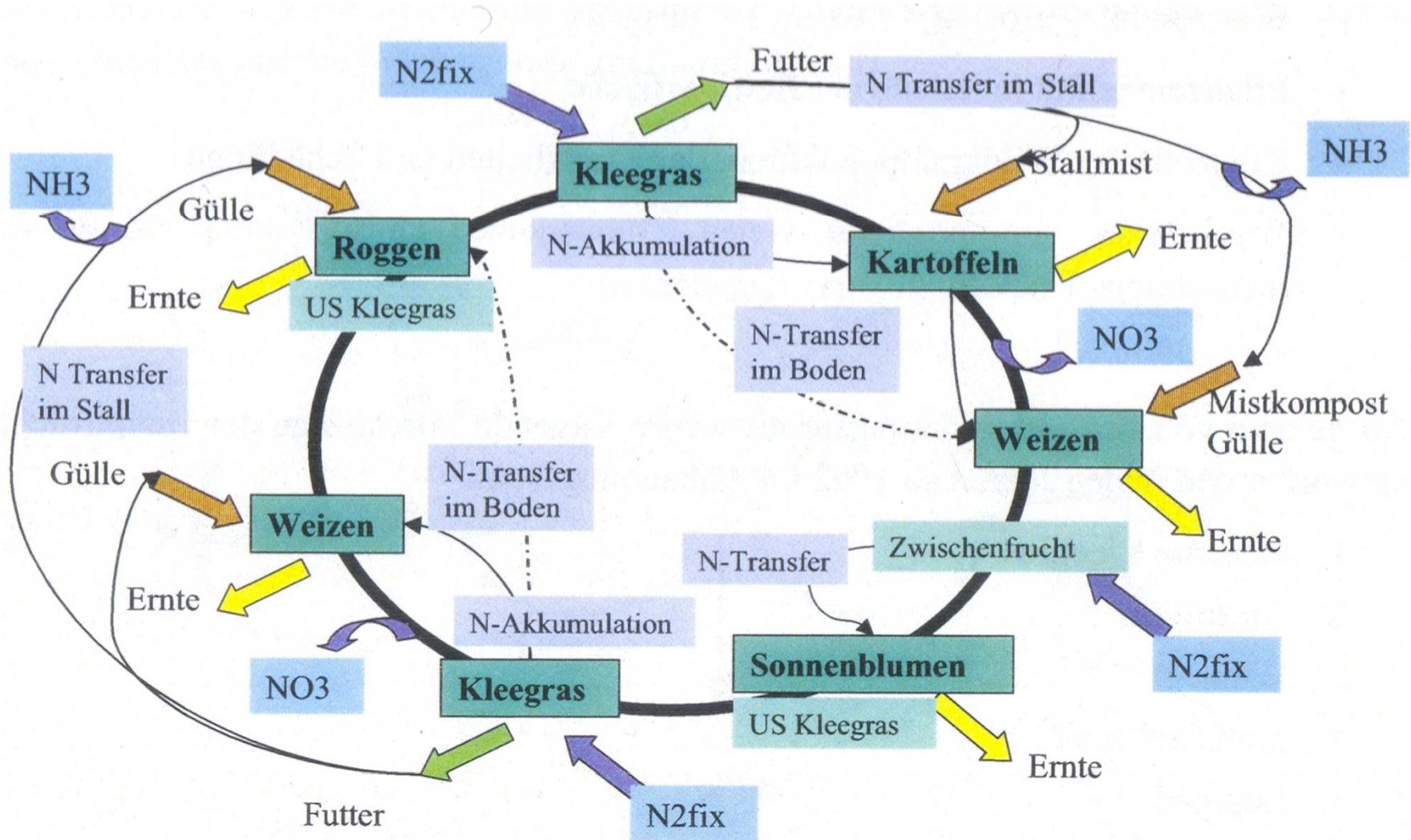


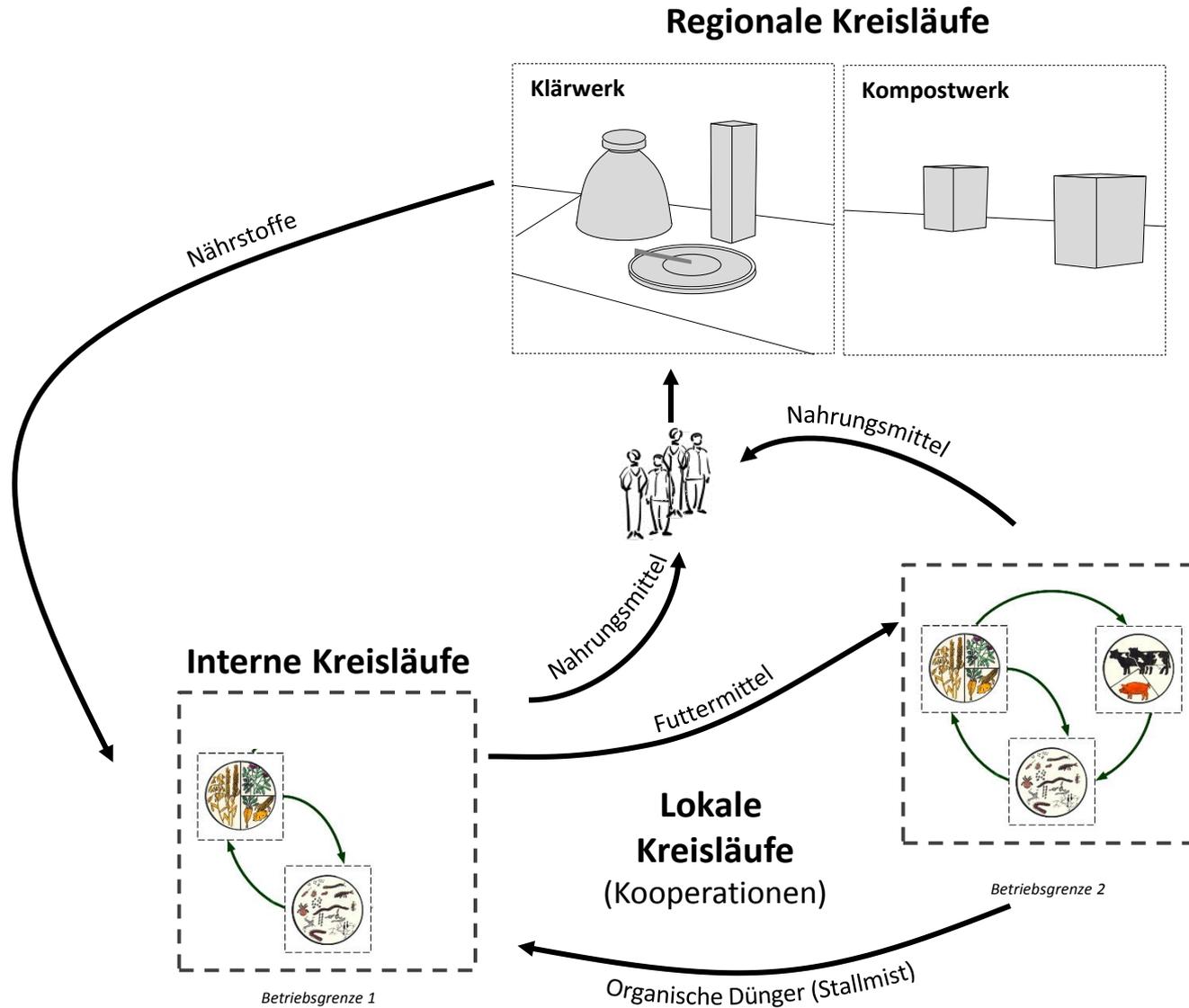
Inputs

Innerbetrieblicher Kreislauf

Outputs







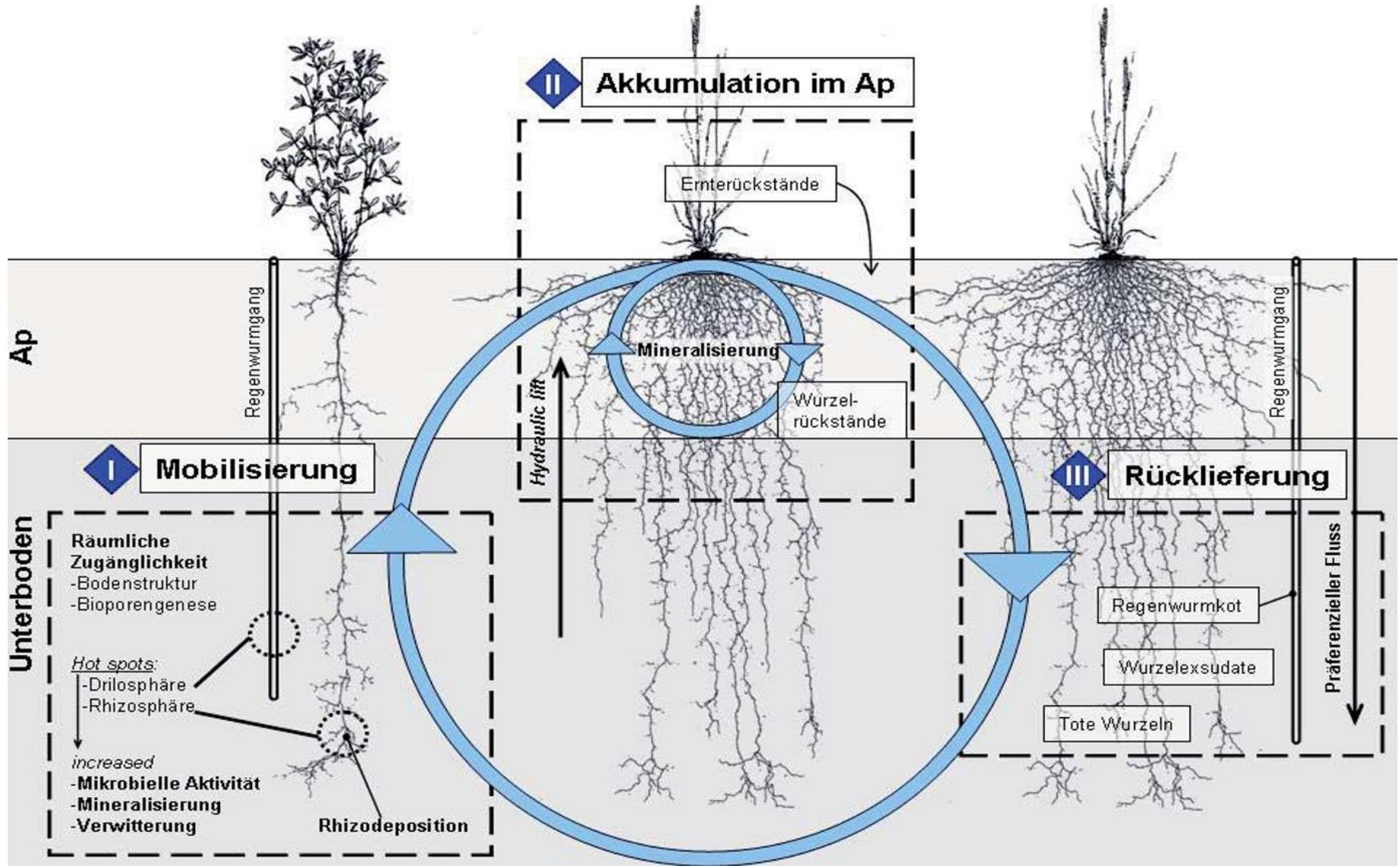


Strategien und Lösungsansätze zur Nährstoffversorgung

(Siebrecht 2016, ergänzt)



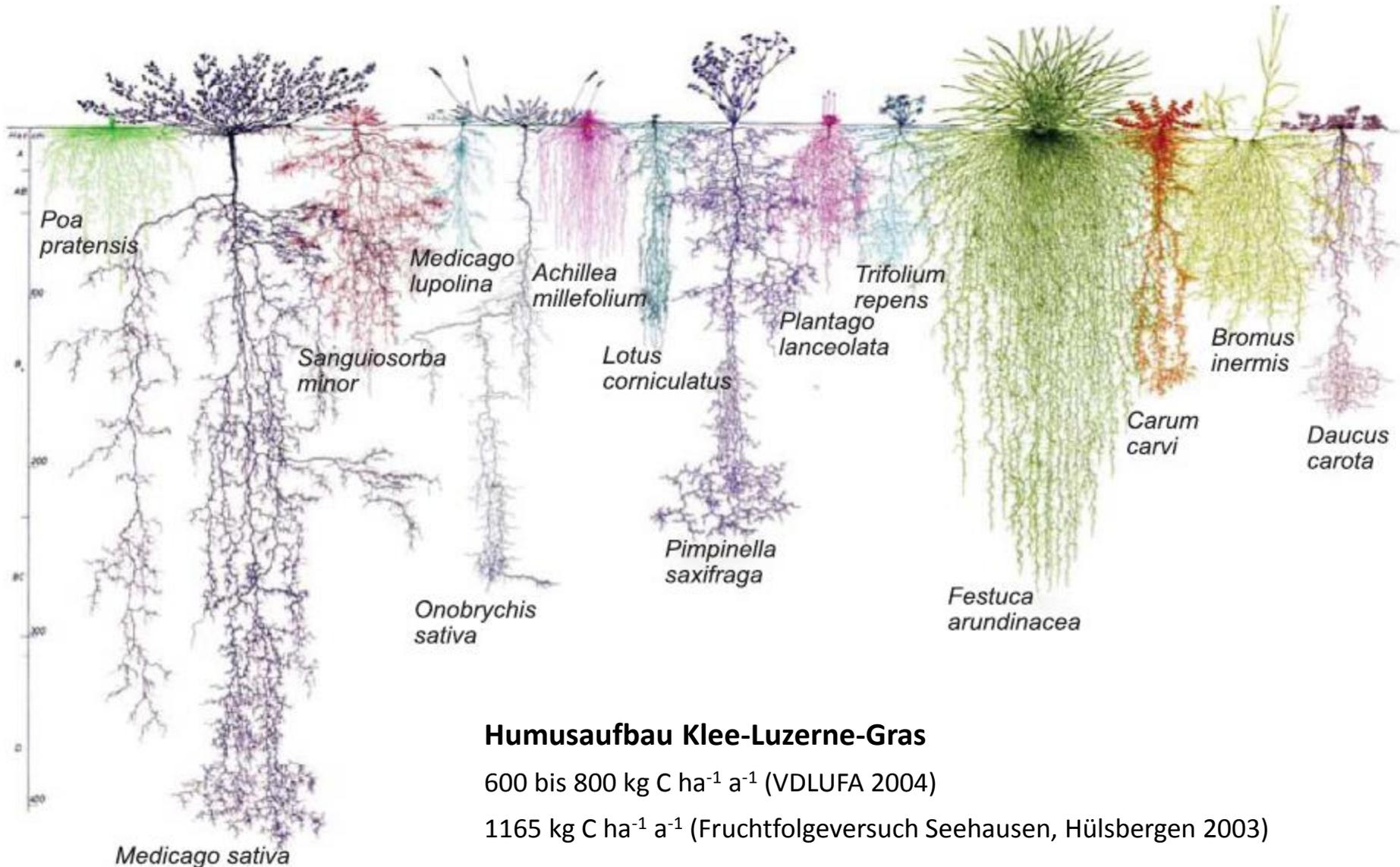
Betriebsstrukturen und Stoffkreisläufe	Fruchtfolge Leguminosen	Tierhaltung Stallung, Kompost, Gülle	Biogas Feste + flüssige Gärreste	Sekundär Nährstoffquellen Biokompost (Humanernährung)
	Cut & Carry			
Nährstoffzufuhr Bodenverbesserungs- und Düngemittel	Zugelassene Mineraldünger Weicherdiges Rohphosphat (P), Kieserit (Mg), Kaliumsulfat (K)...		Zugelassene organische Handelsdünger Haarmehlpellets, Leguminosenschrot, ...	
Nährstoffaufnahme und -mobilisierung	Aktive Nährstoff- mobilisierung Pflanze und Wurzelsystem	Bodengefüge Unterboden Wurzellängendichte Durchwurzelungstiefe	Genotypen Nährstoffaneignung Züchtung Sorten	





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.



Humusaufbau Klee-Luzerne-Gras

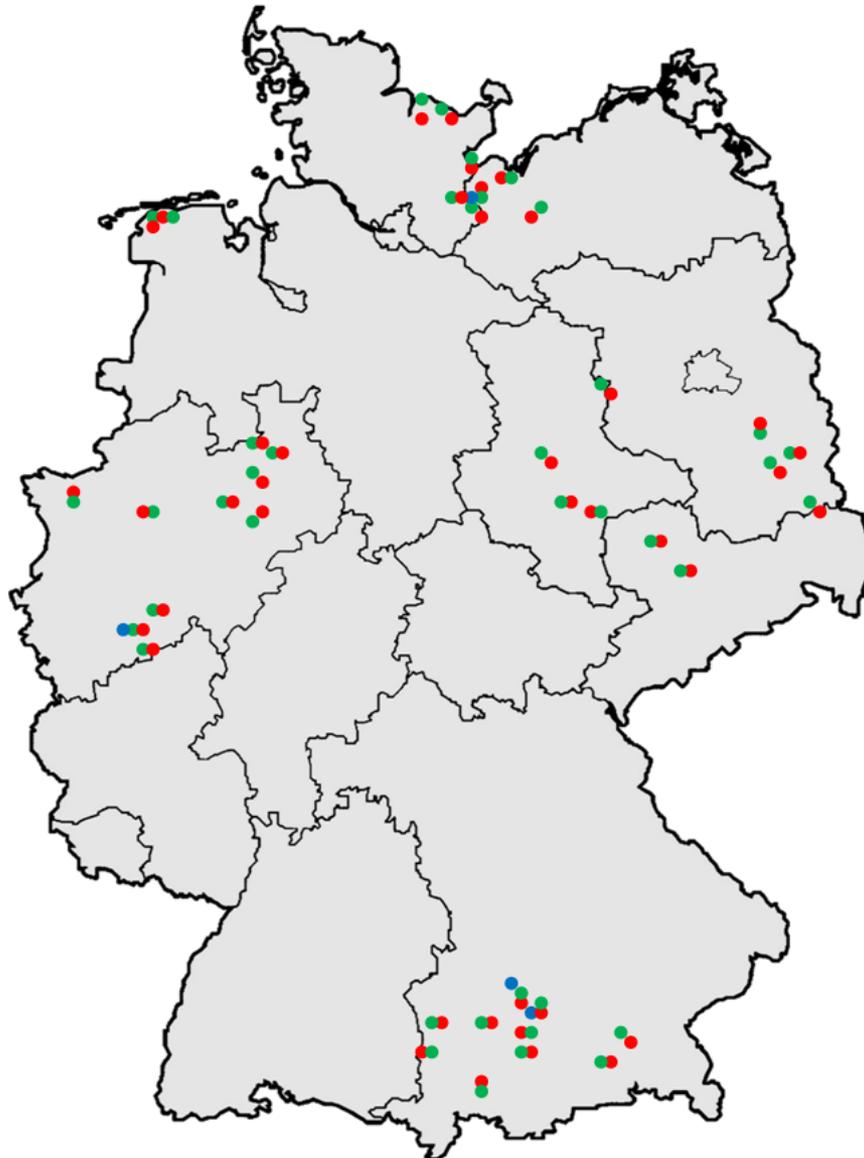
600 bis 800 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (VDLUFA 2004)

1165 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (Fruchtfolgeversuch Seehausen, Hülsbergen 2003)



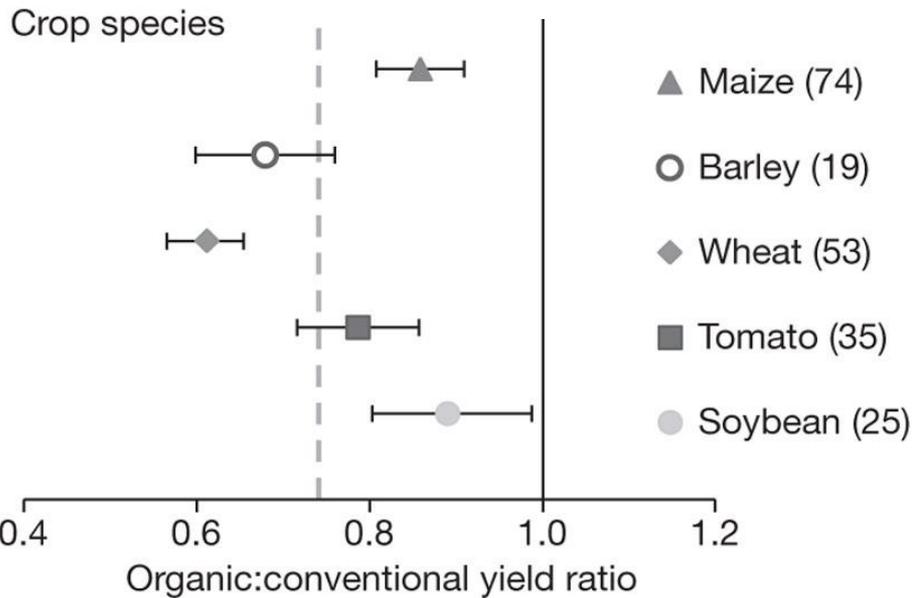
Netzwerk der Pilotbetriebe

Lage der Untersuchungsbetriebe in Agrarregionen

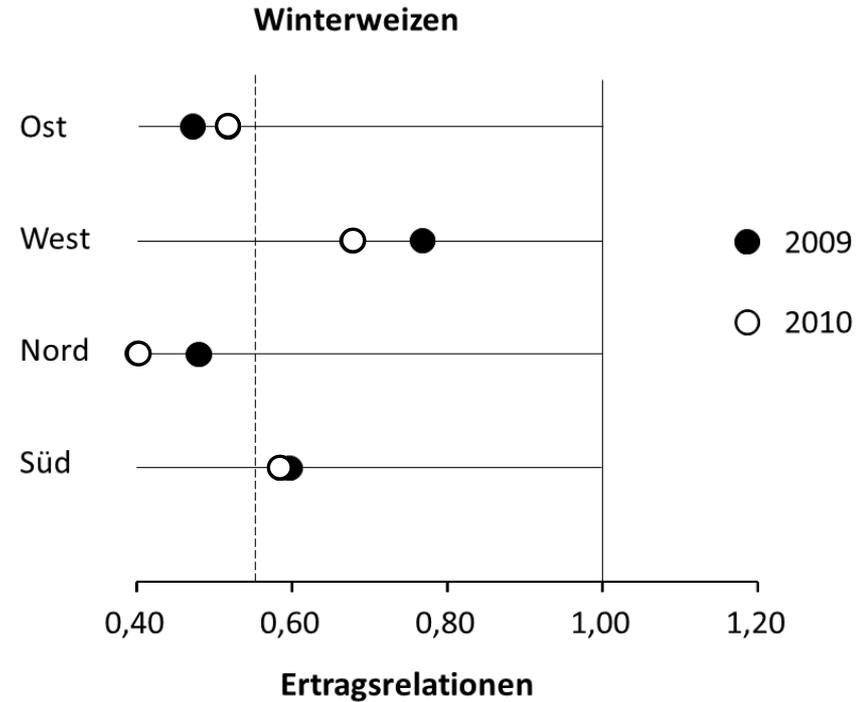


80 Pilotbetriebe

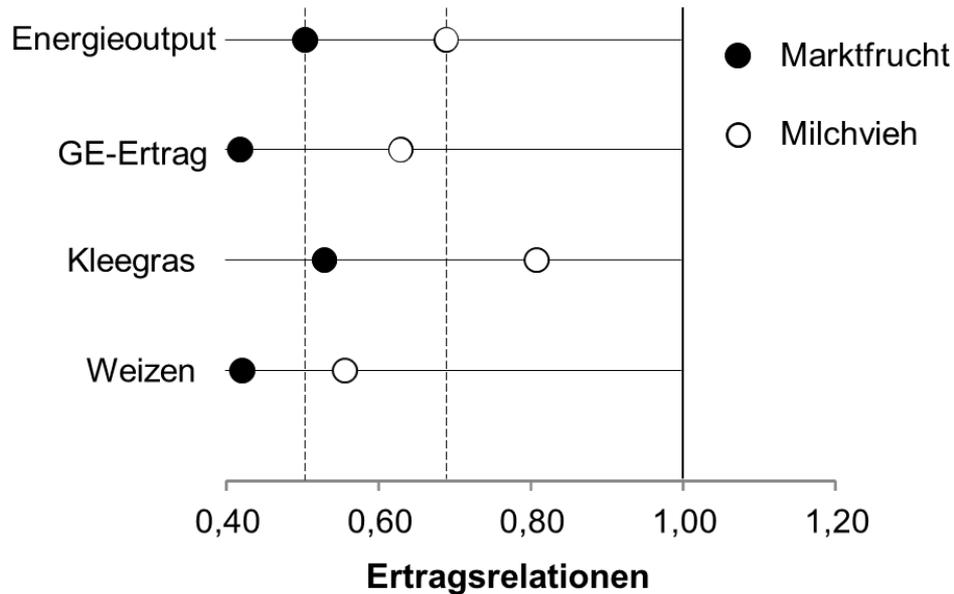
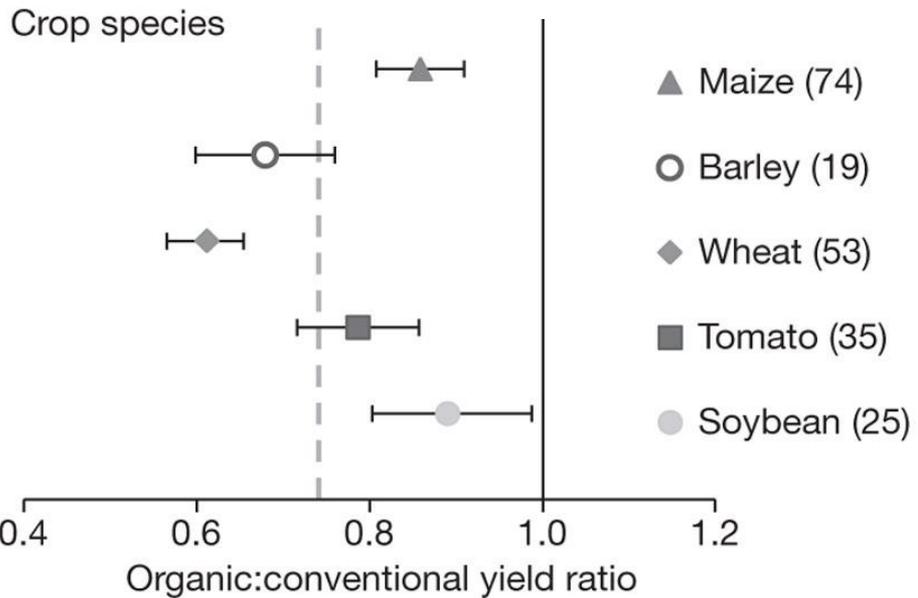
- Pilotbetrieb, ökologischer Landbau
- Pilotbetrieb, konventioneller Landbau
- Versuchsstation



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

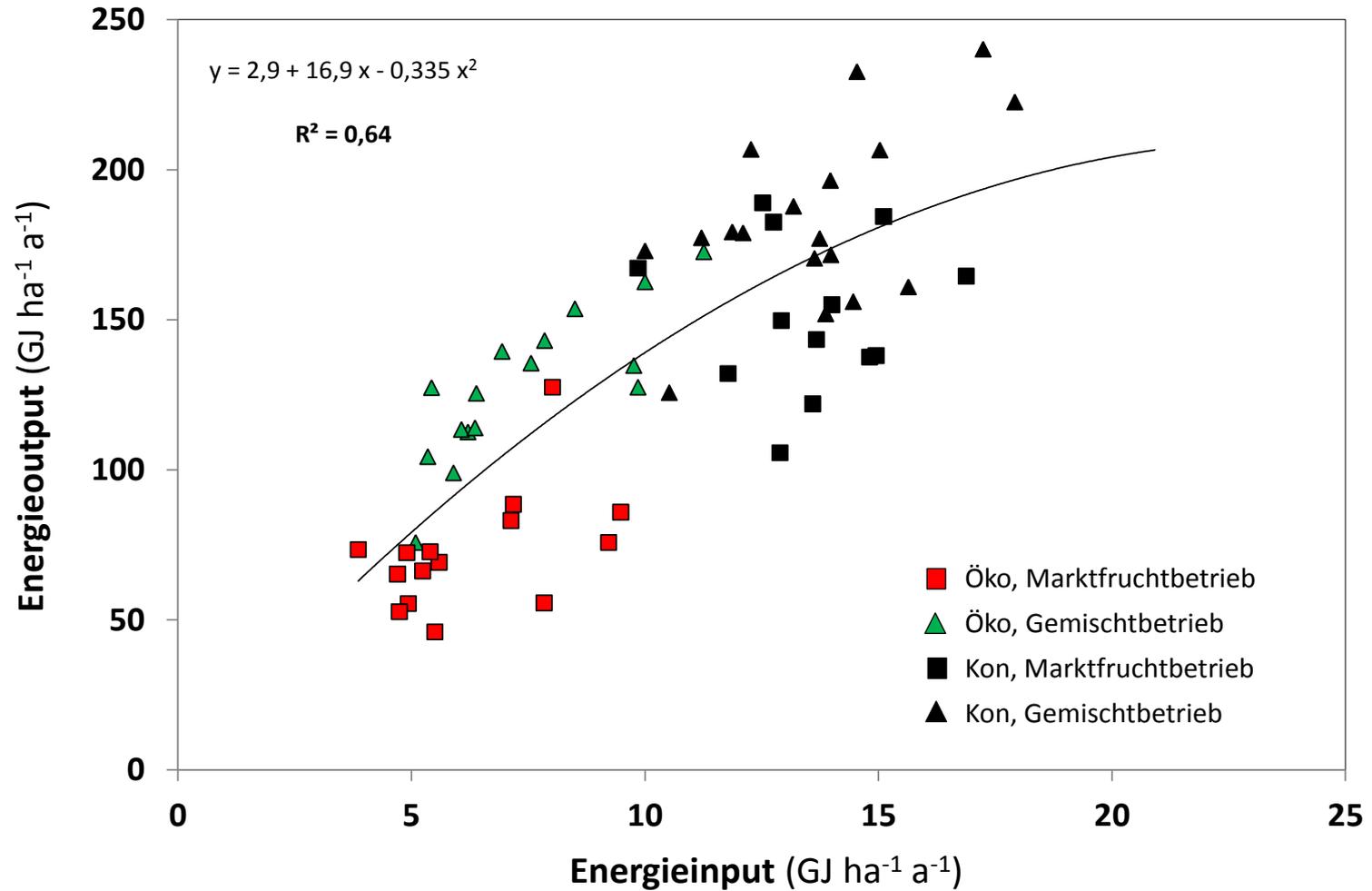


Hülsbergen K-J, Rahmann G (eds.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. Thünen Report 8



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



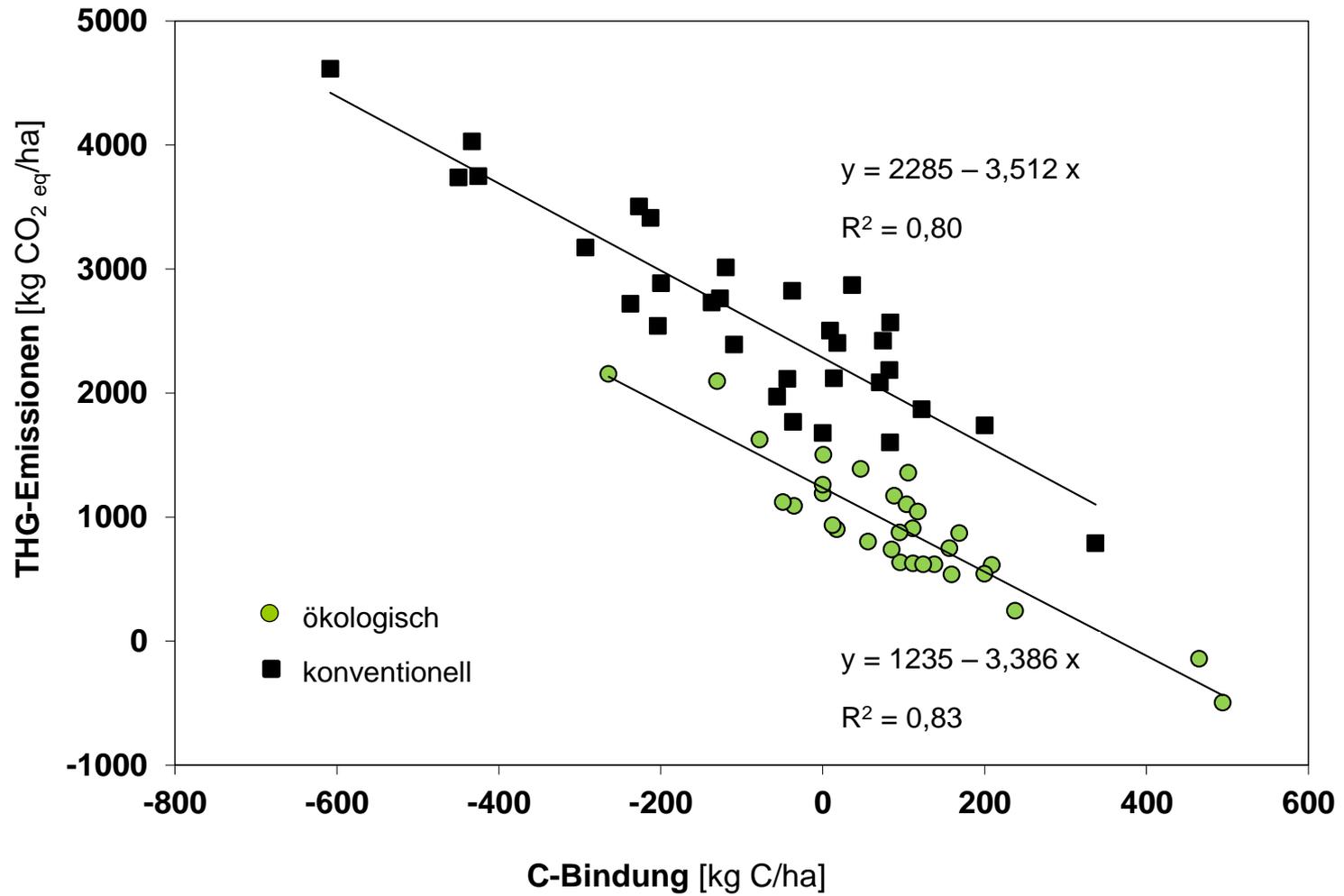


N-Bilanz ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe

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)	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



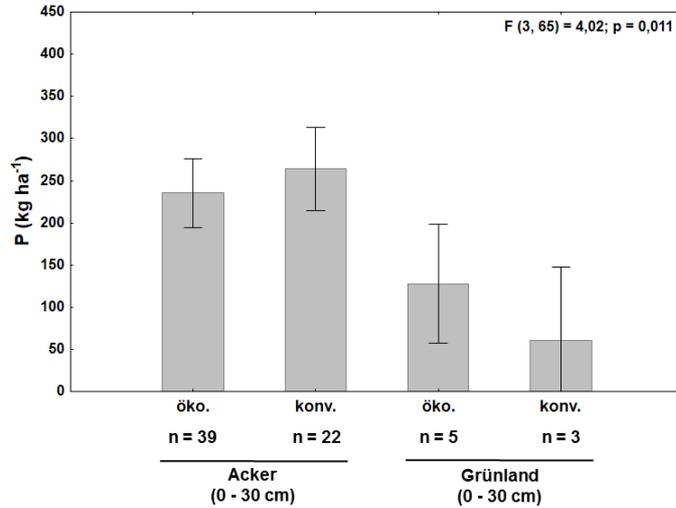


P₂O₅-Vorräte (CAL), Acker- und Grünlandböden

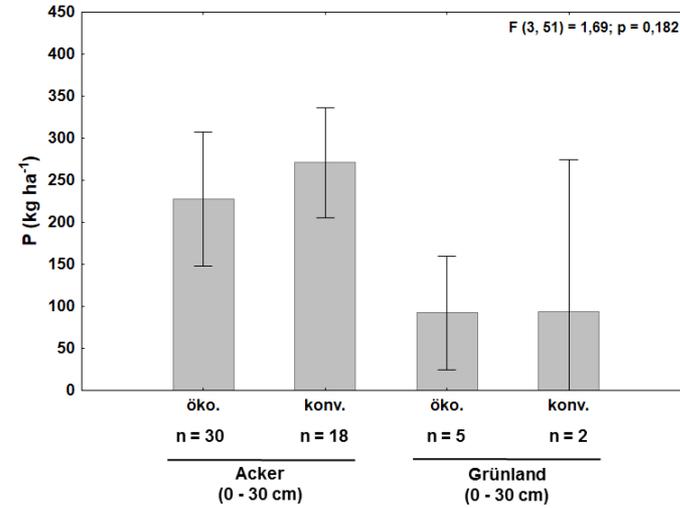
Chmelikova et al. (2019)



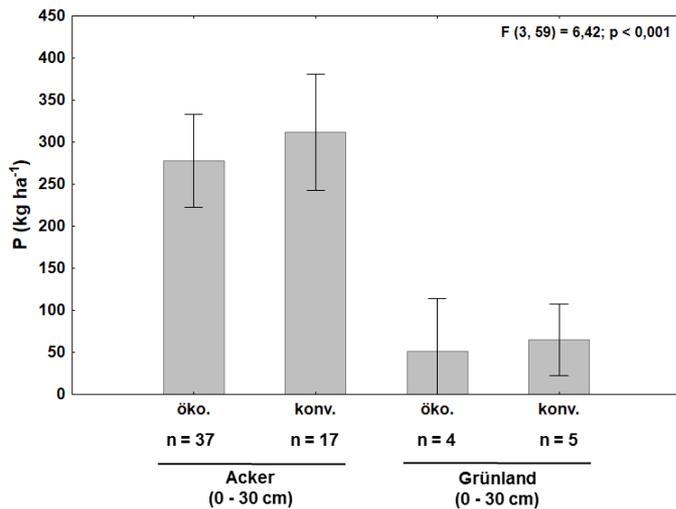
Region Norden



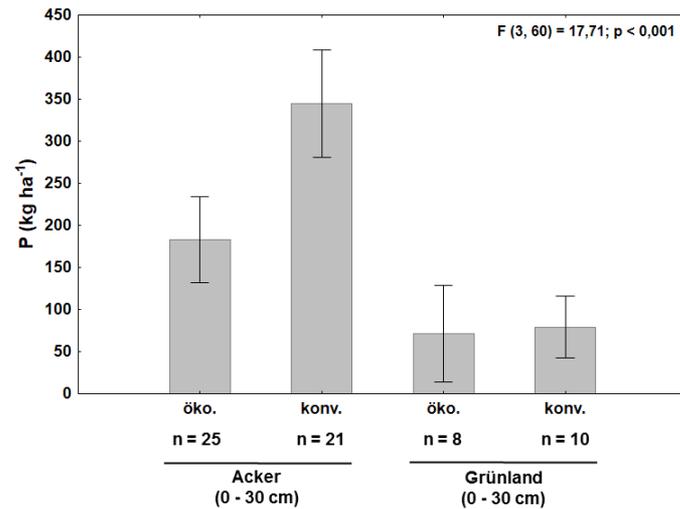
Region Osten



Region Westen



Region Süden





**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 Zukunft aussehen





	Marktfrucht	Milchvieh- Gülle	Milchvieh- Stalldung	Biogas
1				
2				
3				
4				
5				



	Marktfrucht	Milchvieh- Gülle	Milchvieh- Stalldung	Biogas
1	Klee gras			
2	Winterweizen			
3	Triticale			
4	Ackerbohnen			
5	Winterroggen			



	Marktfrucht	Milchvieh- Gülle	Milchvieh- Stalldung	Biogas
1	Klee gras	Klee gras		
2	Winterweizen	Winterweizen		
3	Triticale	Silomais		
4	Ackerbohnen	Ackerbohnen		
5	Winterroggen	Winterroggen		



	Marktfrucht	Milchvieh-Gülle	Milchvieh-Stalldung	Biogas
1	Klee gras	Klee gras	Klee gras	
2	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	
3	Triticale	Silomais	Silomais	
4	Ackerbohnen	Ackerbohnen	Ackerbohnen	
5	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	



	Marktfrucht	Milchvieh-Gülle	Milchvieh-Stalldung	Biogas
1	Klee gras	Klee gras	Klee gras	Klee gras
2	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
3	Triticale	Silomais	Silomais	Triticale
4	Ackerbohnen	Ackerbohnen	Ackerbohnen	Ackerbohnen
5	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen



Weizenertrag (t ha⁻¹) ökologischer Anbausysteme

Systemversuch Viehhausen



	Markt- frucht	Milchvieh- Gülle	Milchvieh- Stalldung	Biogas
2011	4,3 ^a	5,5 ^b	5,3 ^{ab}	5,4 ^{ab}
2012	3,7 ^a	4,5 ^{ab}	3,7 ^a	5,4 ^b
2013	4,6 ^a	5,6 ^{ab}	5,3 ^{ab}	6,6 ^b
Mittel	4,2^a	5,2^{ab}	4,8^a	5,8^b
Relation	1,00	1,24	1,14	1,38



Fruchtart	Marktfruchtbau Ertrag (TM t ha⁻¹)	Biogassystem Ertrag (TM t ha⁻¹)	Ertragsrelation
Kleegras	13,3	14,3	1,07
Winterweizen	3,9	5,3*	1,36
Triticale	4,4	6,5*	1,47
Ackerbohnen	2,8	3,1	1,13
Winterroggen	5,3	6,7*	1,27



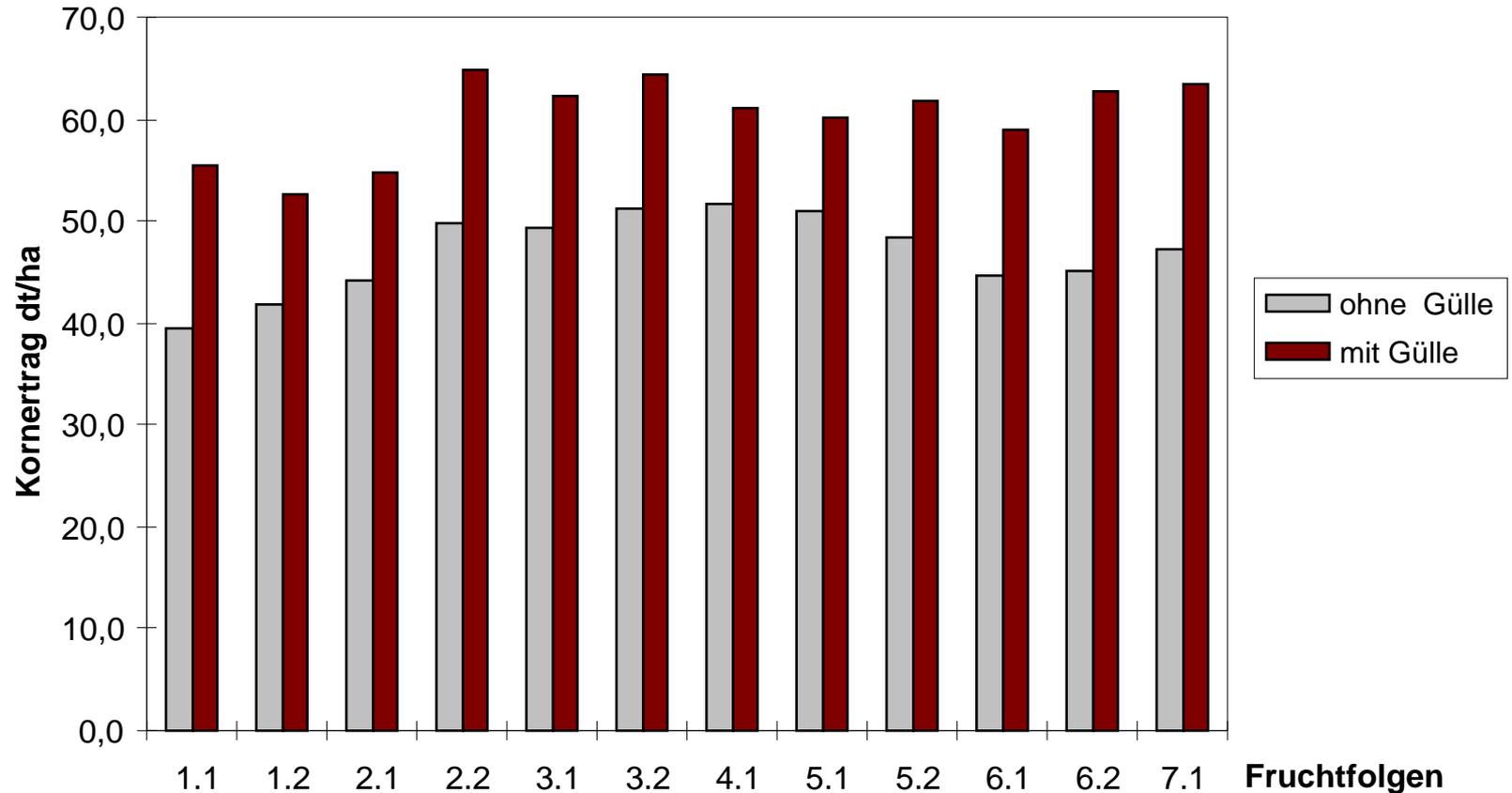
Ertrag von Ackerbohnen (dt/ha)

Marktfrucht	Milchvieh Gülle	Milchvieh Stalmist	Biogas
27,4 ^b	28,1 ^b	33,4 ^a	31,0 ^{ab}



Ertrag von Winterroggen (dt/ha)

Marktfrucht	Milchvieh Gülle	Milchvieh Stallmist	Biogas
59,0 ^d	66,3 ^c	73,1 ^{bc}	73,8 ^b

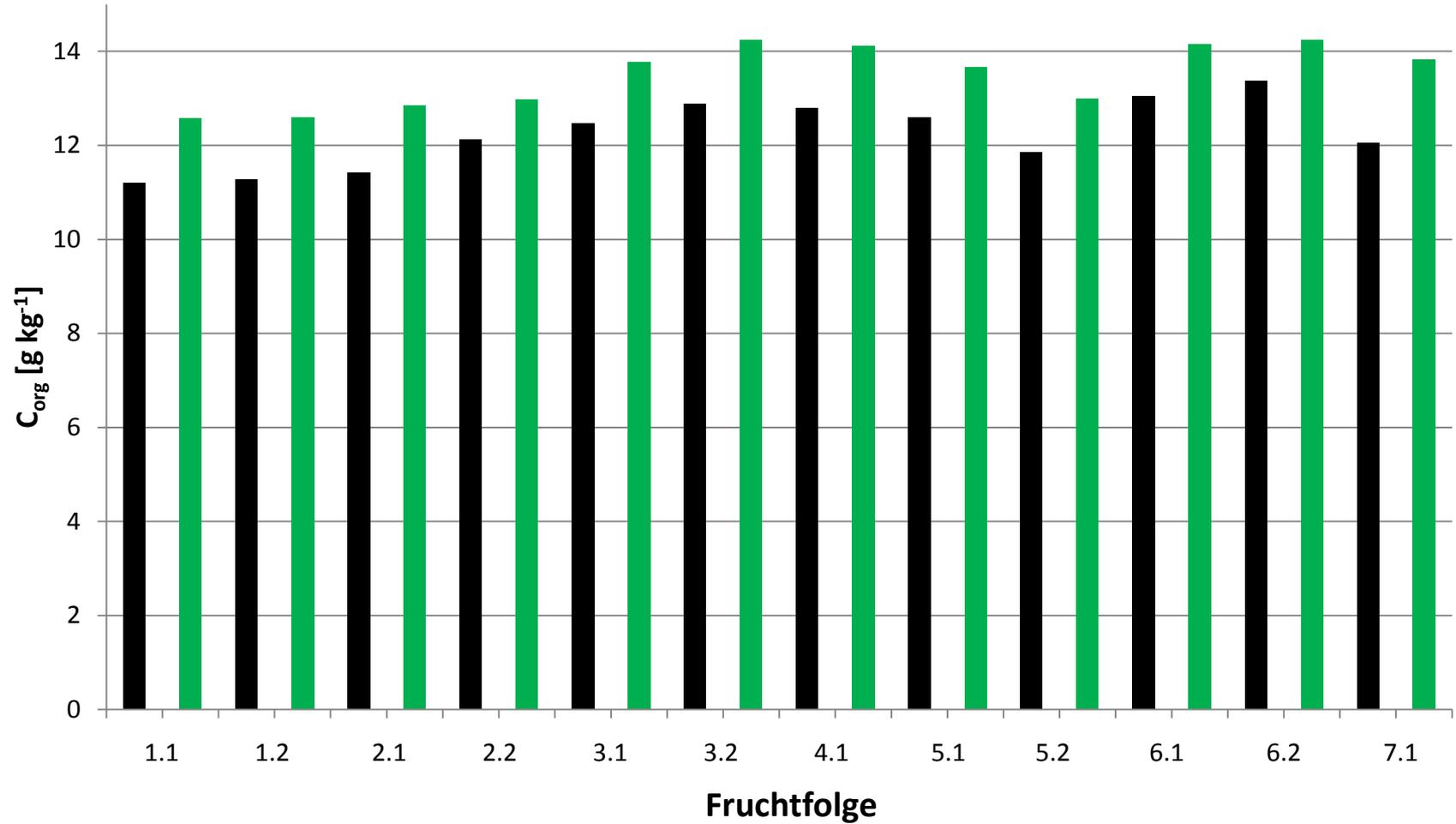


	Ertrag (dt/ha)	Rohprotein (%)
Ohne Biogasgülle	46,8	10,0
Mit Biogasgülle	59,4	11,4



C_{org}-Gehalte, 0-10 cm Bodentiefe (Februar 2014)

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Simon 2016)

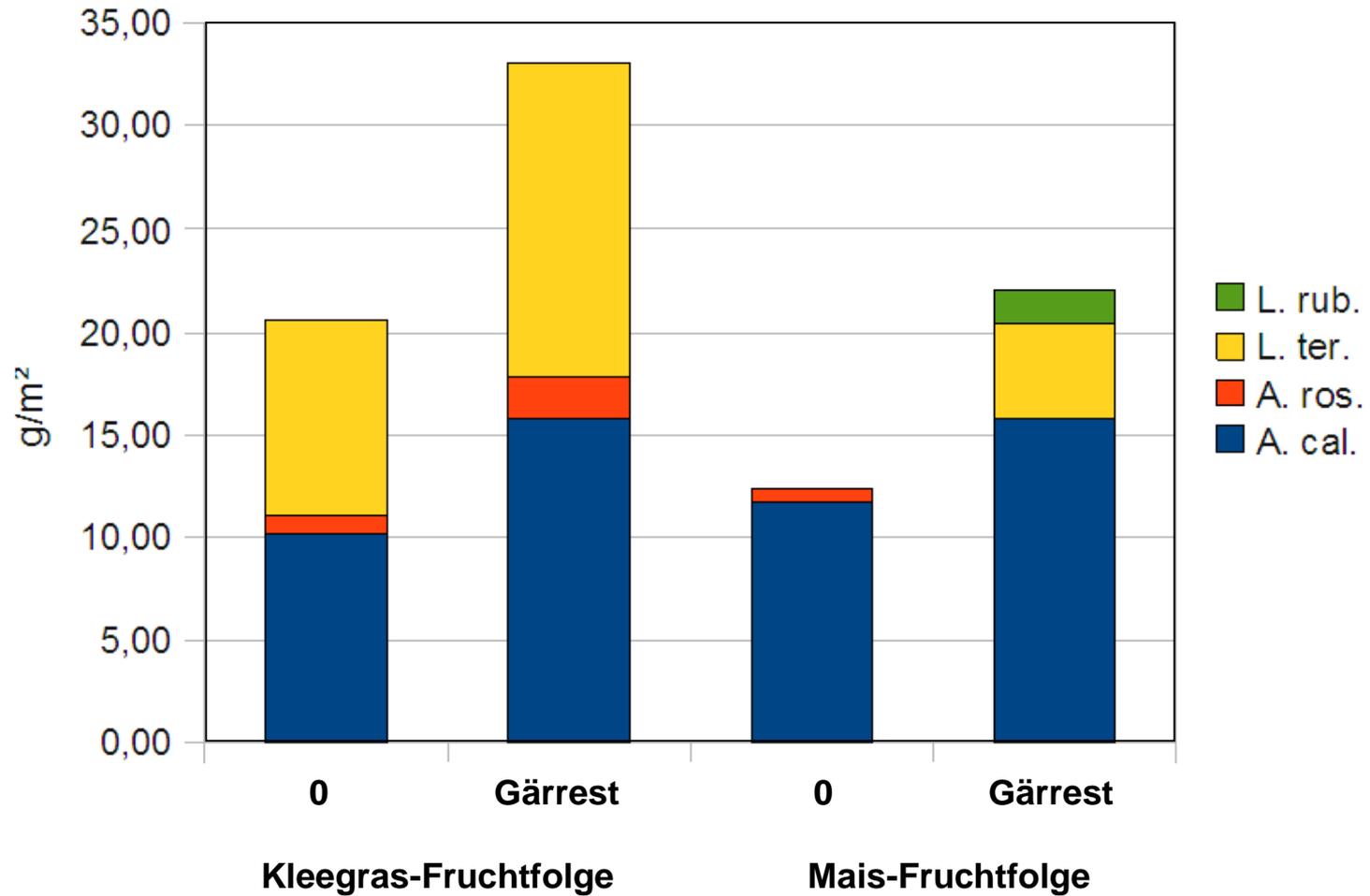


■ ohne Gärrestdüngung

■ mit Gärrestdüngung



Regenwurm-Biomasse im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Thoma-Rademacher 2010)





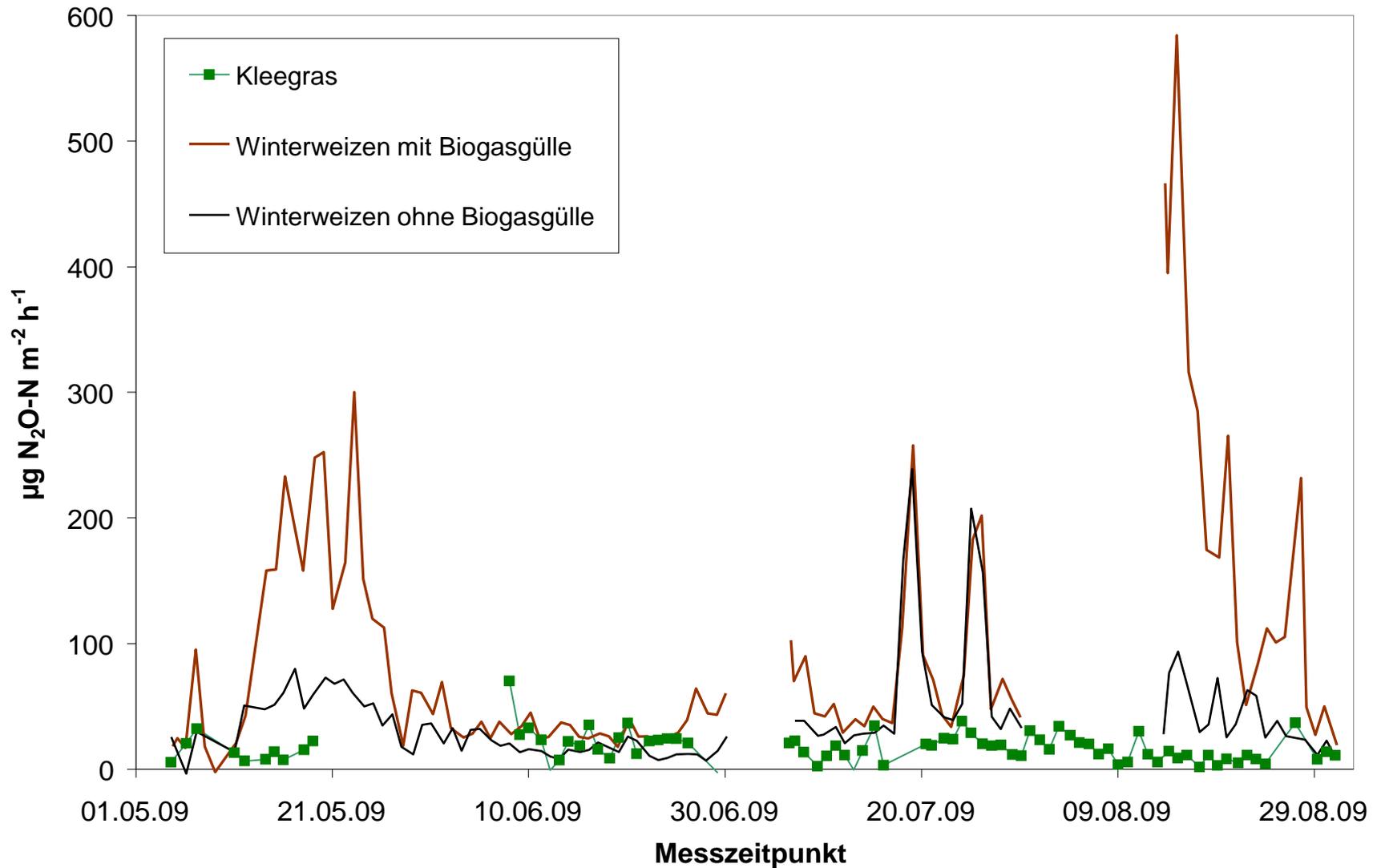
N₂O-Messungen mit automatischem Meßsystem





N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

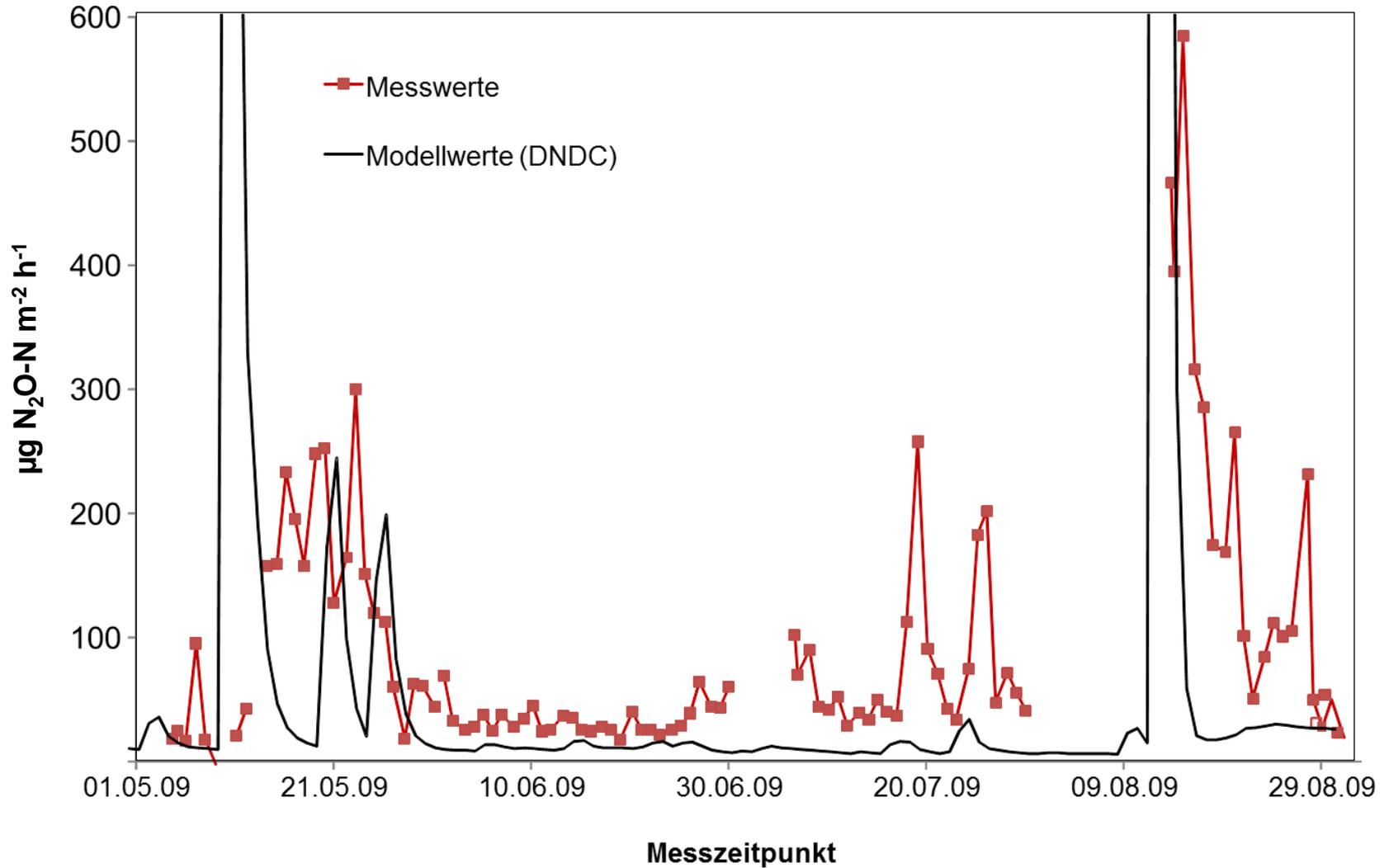
Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsergen 2010)





N₂O Emissionen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch

Viehhausen (Peter, Schmid, Munch & Hülsergen 2010)





- **Biogas-Gärreste wirken positiv auf Humus, chemische, biologische und physikalische Bodeneigenschaften (Regenwürmer, Aggregatstabilität).**
- **Biogas-Gärreste haben eine direkte Düngewirkung (NH_4^+) und langfristige Düngewirkung (N_{org}) → Erhöhung des Boden-N-Vorrats und des N-Mineralisierungspotenzials.**
- **Biogasanlagen führen zu einer Intensivierung der inner- und überbetrieblichen Nährstoffkreisläufe.**



- **Biogassysteme steigern im ökologischen Landbau die Erträge und Stickstoffentzüge signifikant.**
 - **Synergieeffekte statt Konkurrenz zur Nahrungserzeugung.**

- **Entscheidend für die Humus- und Nährstoffbilanz von Biogasanlagen sind das Anbausystem (Fruchtart, Fruchtfolge, Düngungsintensität), die Einbindung in Betriebssysteme sowie die Standortbedingungen.**

- **Klee grasbasierte Biogasanlagen passen in die ökologische Landwirtschaft. Sie können zu positiven ökologischen Effekten beitragen (C-Sequestrierung, Treibhausgasreduktion).**



Ausgangssituation

Im Ökolandbau kann ein **Nährstoff-Recycling über Komposte** wesentlich dazu beitragen, **optimale Nährstoffgehalte im Boden** einzustellen sowie die **Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen** nachhaltig zu sichern.

Das **Einsatzpotenzial von Biogut- und Grüngutkompost** wird aber nur **unzureichend ausgeschöpft**, obwohl ein hoher **Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen sowie an organischer Substanz** besteht.



Kompost hat komplexe Wirkungen auf Böden, Pflanzen und Umwelt:

- **Zufuhr von Makro- und Mikronährstoffen**

Nährstoffversorgung, positive Effekte auf Ertrag, Ertragsstabilität und Produktqualität

- **Klimaschutz und Minderung von Treibhausgasemissionen**

C-Speicherung (C-Sequestrierung) in Böden durch Humusaufbau

- **Aufbau eines günstigen Bodengefüges**

Aggregatstabilität, Wasserspeicherung, Infiltrationsrate, Durchwurzelbarkeit

- **Förderung der bodenbiologischen Aktivität**

Mikrobieller Umsatz und Bodenfauna, phytosanitäre Wirkungen

Humus, nitrogen and energy balances, and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment with compost compared with mineral fertilisation

Eva Erhart ^{A C}, Harald Schmid ^B, Wilfried Hartl ^A and Kurt-Jürgen Hülsbergen ^B

+ Author Affiliations

Soil Research 54(2) 254-263 <https://doi.org/10.1071/SR15127>

Submitted: 1 May 2015 Accepted: 7 October 2015 Published: 22 March 2016

Abstract

Compost fertilisation is one way to close material cycles for organic matter and plant nutrients and to increase soil organic matter content. In this study, humus, nitrogen (N) and energy balances, and greenhouse gas (GHG) emissions were calculated for a 14-year field experiment using the model software REPRO. Humus balances showed that compost fertilisation at a rate of 8 t/ha.year resulted in a positive balance of 115 kg carbon (C)/ha.year. With 14 and 20 t/ha.year of compost, respectively, humus accumulated at rates of 558 and 1021 kg C/ha.year.



Nitrogen balance (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)
N uptake	68.0_a	71.9_{ab}	72.7_{abc}	74.3_{bcd}
N input	39.6	108.6	162.9	217.4
compost	0.0	68.2	122.3	176.3
N-use efficiency (%)		5.8	3.9	3.6
Δ SON	-43.3_a	11.0_d	53.0_e	97.0_f
N surplus*	-1.2_a	8.8_b	20.1_c	28.5_d

* Including Δ SON

bio-waste compost

C:N = 22:1, N_t = 12.9 g kg⁻¹, N_{min} = 440 mg kg⁻¹, Org. matter = 439 g kg⁻¹



Humus balance (humus C, kg ha⁻¹ yr⁻¹)

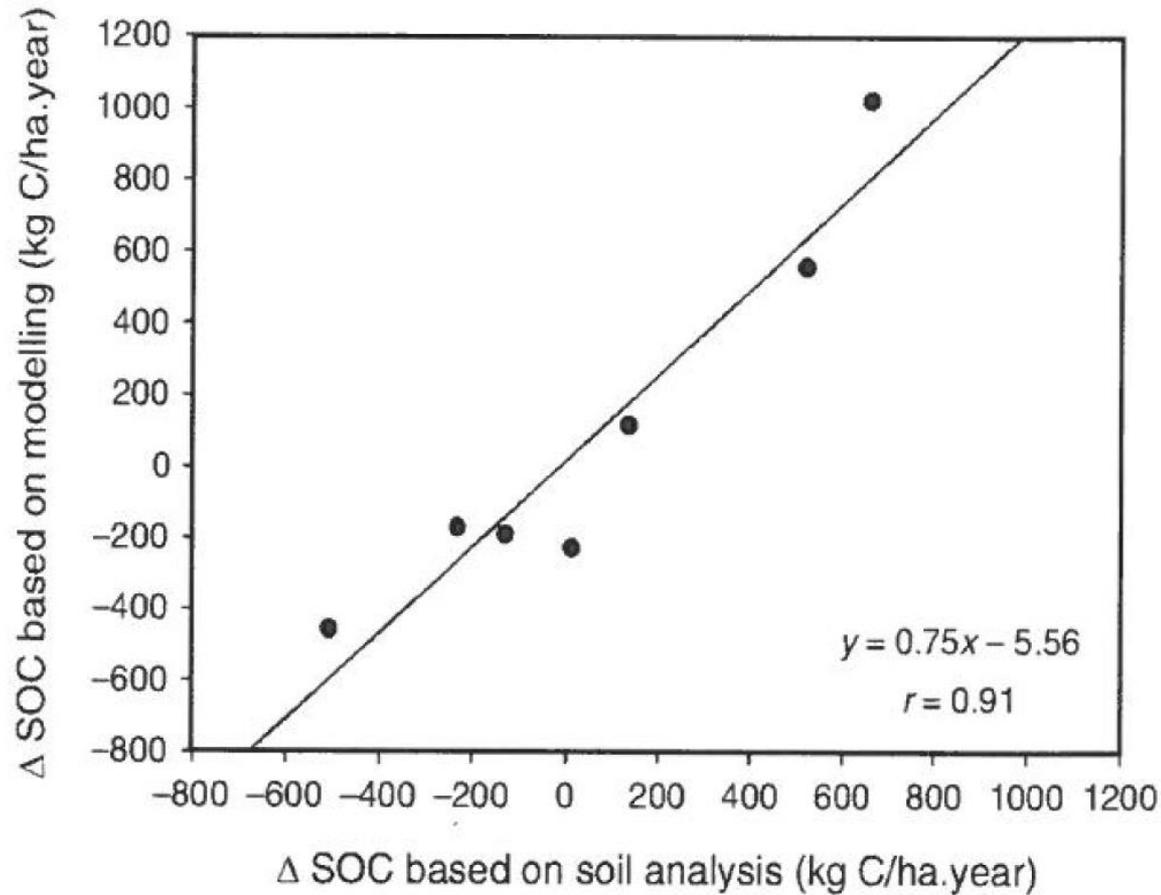
Long-term field experiment, bio-waste compost, Vienna, 1992 – 2006 (Erhart et al. 2016)



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



Beziehung zwischen gemessenen und modellierten Veränderungen der C_{org} -Vorräte (Erhart et al. 2016)





- **Fehlendes Wissen zur Nährstoffdynamik, Mineralisierungsleistung und Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit von Ausgangsstoffen und Kompostierungsverfahren.**
- **Feldversuche zu Ertrags- und Qualitätswirkungen von Komposten liefern ein inkonsistentes Bild. Phyto-sanitäre Effekte sind wenig erforscht und verstanden.**
- **Ökologische Effekte des Komposteinsatzes (Biodiversität, C-Sequestrierung, Energie- und THG-Bilanz) sind unzureichend untersucht.**
- **Bedenken und Unsicherheiten bei Landwirten bezüglich möglicher Schadstoffgehalte und Bodenbelastungen.**



- **Die Betriebsstruktur (Tierbesatz, Fruchtfolge, Biogasanlage) hat nachhaltigen Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe, die Ertragsbildung, die Energieeffizienz, die Humusreproduktion und die THG-Emissionen.**
- **Im ökologischen Landbau ist eine ausgeglichene Nährstoffbilanz (N, P, K, S, Mikronährstoffe) und Humusbilanz (C) notwendig, um eine Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und des Ertragspotenzials zu vermeiden.**
- **Die aktive Nährstoffmobilisierung und der Zukauf von Handelsdüngemitteln können zur Nährstoffversorgung beitragen und den betrieblichen Nährstoffkreislauf ergänzen, aber nicht ersetzen.**
- **Langfristig ist ein Recycling von Nährstoffen (P) aus der Humanernährung notwendig, um die Nährstoffversorgung zu gewährleisten.**

Projekt: **Webbasiertes Nährstoff-Management im ökologischen Landbau (Web-Man), gefördert durch BLE (BÖLN), 2019 – 2021**

- **Nährstoffversorgung in ökologischen Fruchtfolgen**
Modellierung Boden-N-Dynamik und N-Transfer in der Fruchtfolge
- **Betriebliche und regionale Nährstoffkreisläufe**
Parameter und Algorithmen für Ökolandbau, z.B. Modul N₂-Fixierleistung
- **Entscheidungsunterstützungssystem Düngung**
Handlungsempfehlungen, Regeln und Richtwerte
Methoden aus dem Bereich der KI (Regelbasen, Entscheidungsbäume, neuronale Netze, ...)

Web-Man

Webbasiertes Nährstoff-Management im ökologischen Landbau



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

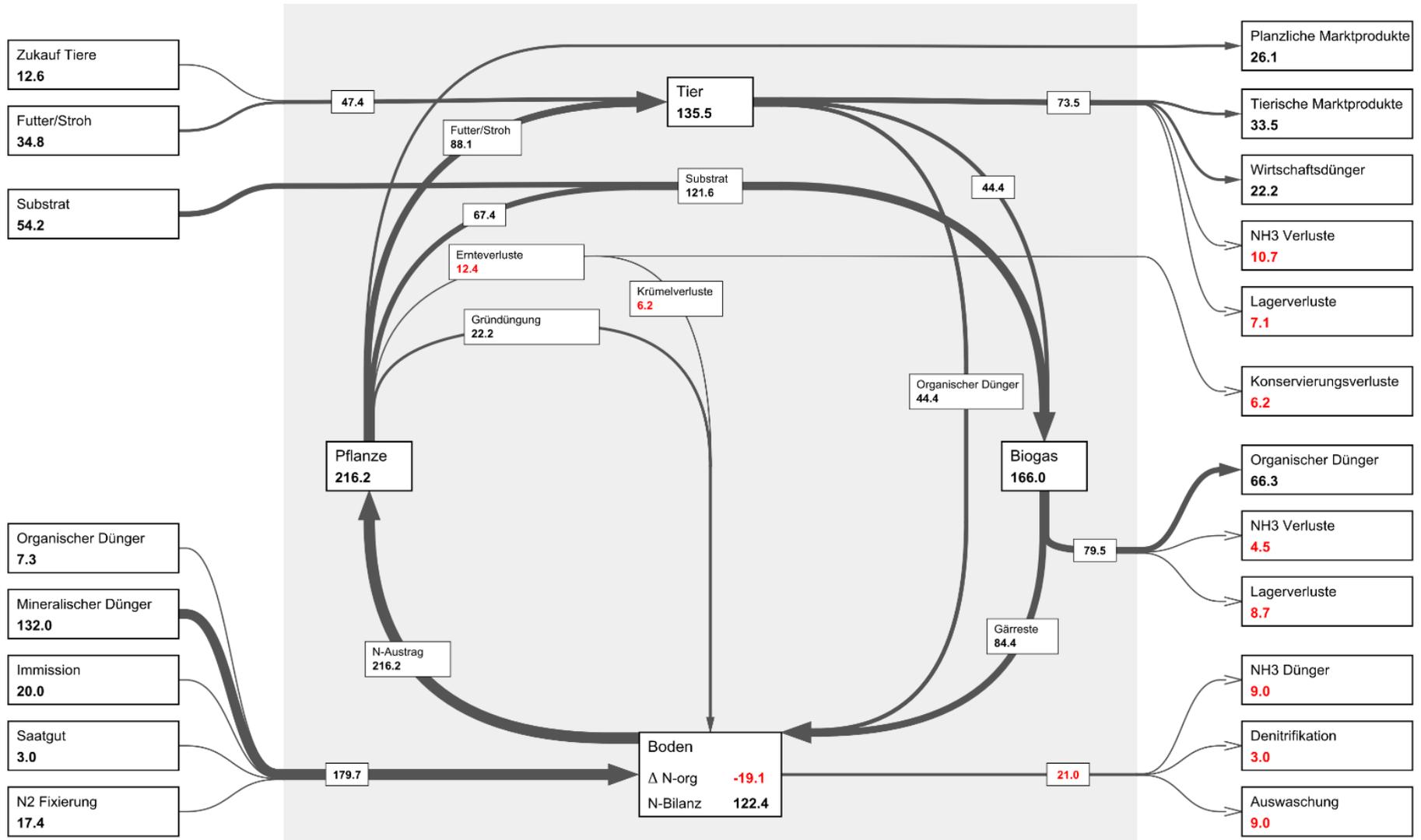
Bodeninformationen



Grundprinzip	Umsetzung in Web-Man
<ul style="list-style-type: none">▪ Weitgehend geschlossener Stoffkreislauf in einem vielseitig organisierten Betriebssystem	<ul style="list-style-type: none">▪ Modellierung betrieblicher, überbetrieblicher und regionaler Stoffkreisläufe
<ul style="list-style-type: none">▪ Indirekte Ernährung der Kulturpflanzen über einen belebten Boden und hochwertige organische Dünger	<ul style="list-style-type: none">▪ Modellierung des N-Umsatzes und der N-Mineralisierung im Boden▪ Modul: N-Umsatz
<ul style="list-style-type: none">▪ Humusversorgung und Humusmanagement als Grundlage der Bodenfruchtbarkeit	<ul style="list-style-type: none">▪ Dynamische Humusbilanz▪ Ziel: ausgeglichene Humusbilanz
<ul style="list-style-type: none">▪ Leguminosen basierte Fruchtfolge, Integration von Futter-, Körner- und Zwischenfruchtleguminosen	<ul style="list-style-type: none">▪ Berechnung der N₂-Fixierleistung von Leguminosen▪ Ziel: ausgeglichene Stickstoffbilanz



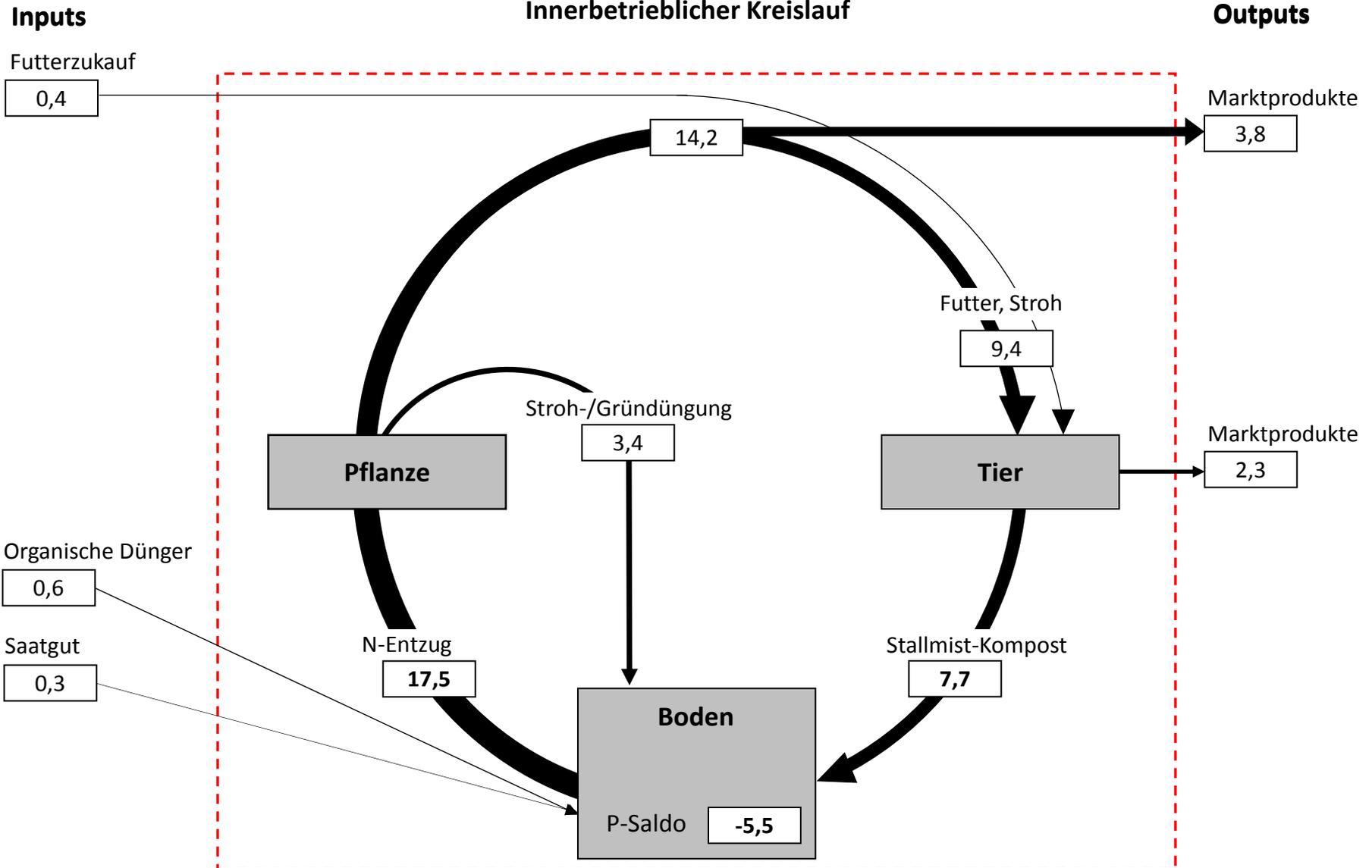
Web-Man: Betrieblicher Stoffkreislauf





Phosphorkreislauf eines Pilotbetriebes (kg P ha⁻¹ a⁻¹)

Ökologischer Gemischtbetrieb mit Milchviehhaltung (Schmid & Hülsbergen 2018)





Inhaltsstoff	ME	Grüngut-Kompost n = 1138	Biogut-Kompost n = 1772
OS (Glühverlust)	% TM	35	36
N Gesamt	kg t ⁻¹ FM	6,5	9,0
N anrechenbar	kg t ⁻¹ FM	0,4* (1,7)**	1,0* (2,7)**
P Gesamt	kg t ⁻¹ FM	1,4	2,1
K Gesamt	kg t ⁻¹ FM	4,9	6,7

* Anwendungsjahr (löslich N + 5 % N_{org})

** mittel bis langfristig (löslich N + 25 % N_{org})



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



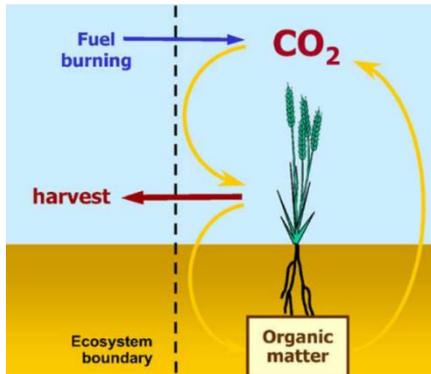
Parameter	ME	Ökologischer Landbau		Konventioneller Landbau	
		Marktfrucht (n = 12)	Milchvieh (n = 20)	Marktfrucht (n = 13)	Milchvieh (n = 20)
CO₂-Emissionen *	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	484 b	308 a	1061 d	722 c
C-Sequestrierung	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	-99 ab	-488 a	538 b	185 b
N₂O-Emissionen	kg CO ₂ eq ha ⁻¹	788 a	910 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

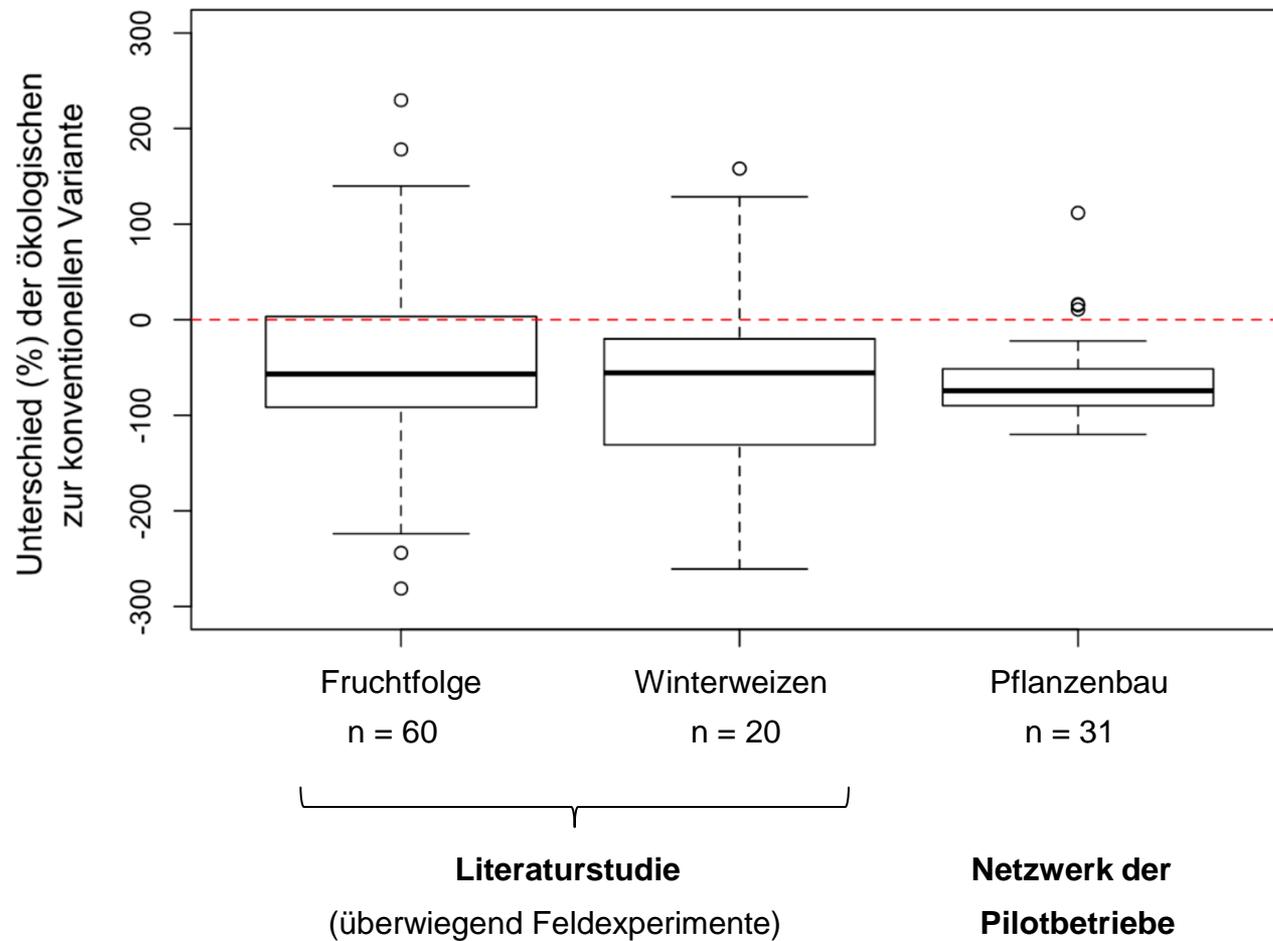
- Energieeinsatz und CO₂-Emissionen
- C-Bindung von Böden durch Humusaufbau
- N₂O-Emissionen aus Böden und Düngung
- CH₄-Emissionen der Tierhaltung

CO₂ eq / ha (Fläche)

CO₂ eq / GJ (Produkt)



N-Saldo (kg ha⁻¹ a⁻¹)



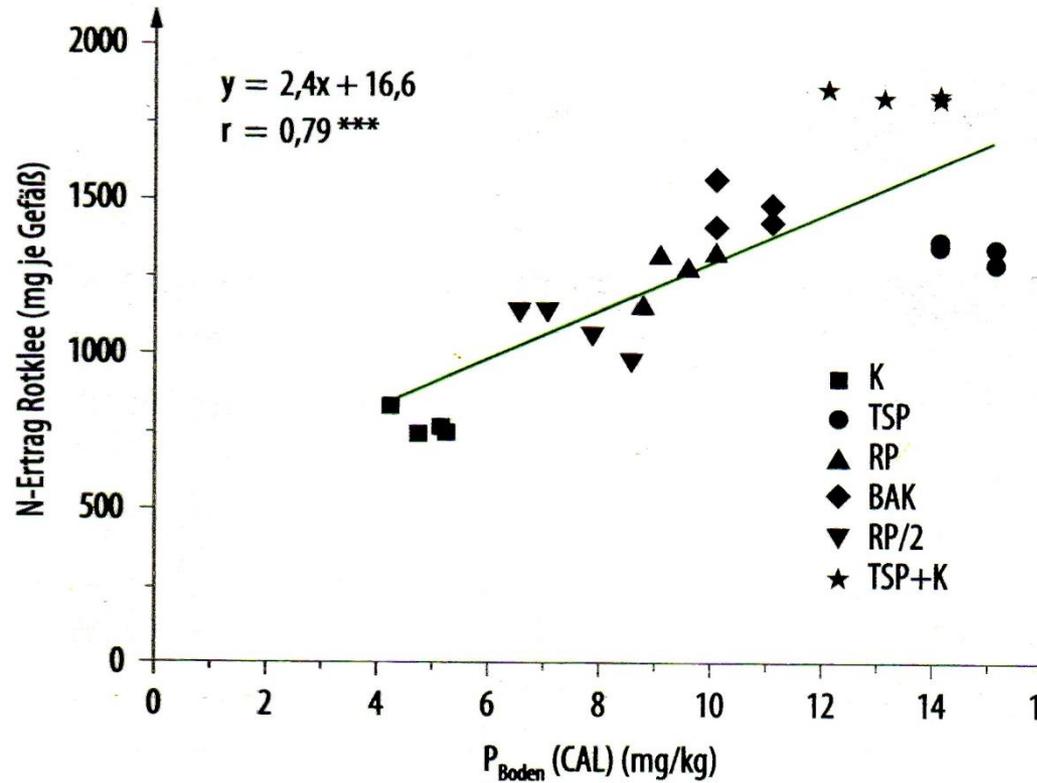


Das Tier ist im Betriebskreislauf das Bindeglied zwischen Boden und Pflanze.



P-Düngung erhöht N₂-Fixierung bei Leguminosen

(Römer et al. 2004)



Variante	Kurzbezeichnung	Düngung (mg/Gefäß ¹)	
		Phosphor	Kalium
Kontrolle	(K)	0	0
Rohphosphat	(RP)	400	0
Bio-Kompost	(BK) ²	400	1400
Triplesuperphosphat	(TSP)	400	0
Triplesuperphosphat + Kalium	(TSP + K) ³	400	1000
Rohphosphat 2	(RP/2)	200	0

Mitscherlich-Gefäße mit je 6 kg Boden | 2 114 g Frischmasse je Gefäß | 3 in Form von K₂SO₄



- **Wie nachhaltig ist ein ökologischer Ackerbaubetrieb im Vergleich zu einem viehhaltenden Betrieb, bezogen auf die Ertragsentwicklung und die langfristige Perspektive?**
- **Kann der ökologische Landbau langfristig nachhaltig wirtschaften ohne Rückführung der an Verbraucher und Veredler abgegebenen Nährstoffe?**
- **Welche Strategien und Maßnahmen im betrieblichen Management sichern die Humus- und Nährstoffversorgung?**