

Fruchtfolgegestaltung als zentraler Baustein des Ackerbaus



Online-Pflanzenbautagung, 26.02.2021



- **Aktuelle Herausforderungen**
- **Pflanzenbauliche und ökologische Funktionen der Fruchtfolge**
- **Humusaufbau und Kohlenstoffspeicherung durch Fruchtfolgegestaltung**
- **Stickstoffeffizienz durch Fruchtfolgeoptimierung**
- **Ausblick – Forschungsbedarf**



- **Klimaänderungen**

Witterungsextreme, Trocken- und Hitzestress, Schädlingsauftreten
Humusdynamik in Böden, Erosionsgefährdung (R-Faktor)

- **Fruchtfolgeprobleme**

Einseitige Fruchtfolgen, Herbizidresistente Unkräuter
Ertragsrisiken, Ertragsstagnation

- **Umweltwirkungen**

Nitratproblematik, Treibhausgasemissionen, Kohlenstoffbindung
Biodiversität-Rückgang

- **Gesellschaftliche Erwartungen**

Verschärfte Gesetze (DüV, Stoffstrombilanz, ...)
Steigende Anforderungen von Verarbeitung, Handel und Verbrauchern

Landwirtschaft 2030

10 Thesen



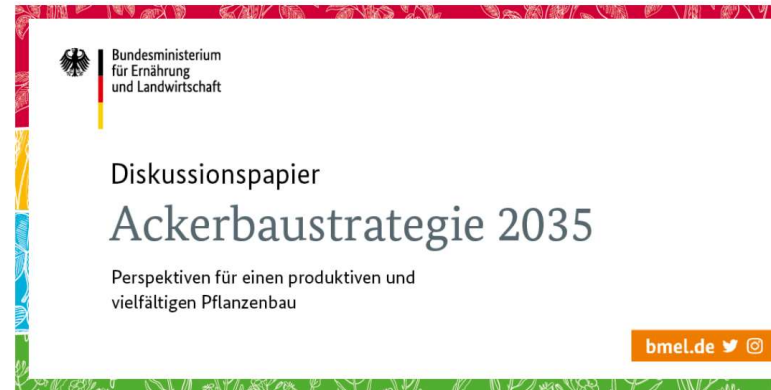
Kritisiert wird die ... Vereinfachung der Fruchtfolgen.

Klassische ackerbauliche Prinzipien der Fruchtfolgegestaltung

... müssen wieder stärker in die landwirtschaftliche Praxis Eingang finden.

Das marktfähige Kulturartenspektrum sollte erweitert werden, so dass Fruchtfolgesysteme einem ganzheitlichen ackerbaulichen Anspruch genügen.

Es geht um die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Nischenkulturen durch Züchtung und Erschließung neuer Märkte.



**Kulturpflanzenvielfalt erhöhen und
Fruchtfolgen erweitern**

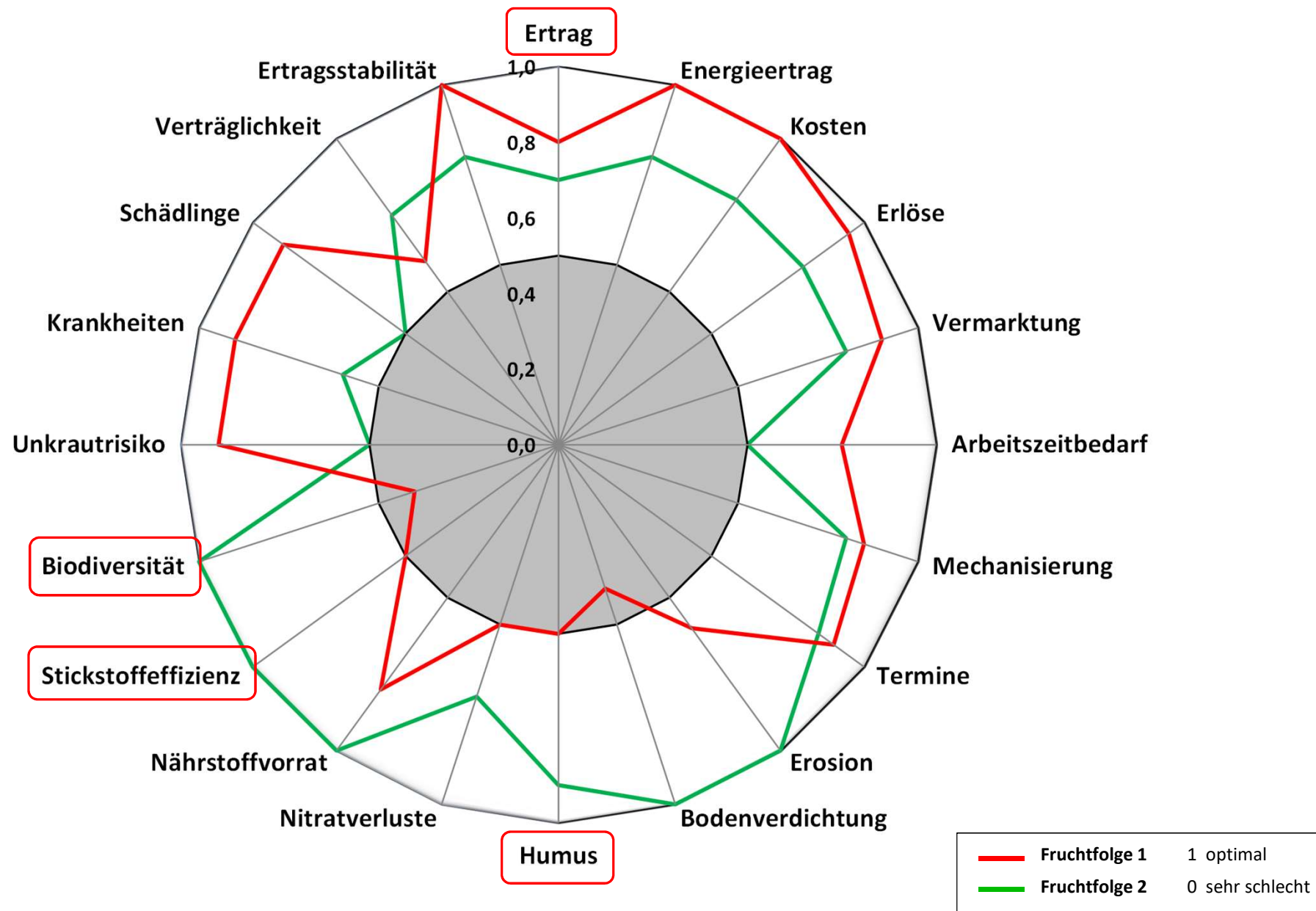
Vielfältige Fruchtfolgen bieten Lösungsansätze für **produktionstechnische, umwelt- und klimapolitische Herausforderungen**.

Sie tragen dazu bei, die **Biodiversität in der Agrarlandschaft zu fördern**.

Eine betriebs- und standortgerechte Umstellung von Fruchtfolgen kann zu **pflanzenbaulichen, ökonomischen und ökologischen Vorteilen** führen.



Beurteilung von Fruchtfolgen





Fruchtfolgeversuche Viehhausen (bei Freising)





Weizenertrag (t ha⁻¹) ökologischer und konv. Anbausysteme

Systemversuch Viehhausen (Bryzinski & Hülsbergen 2014)



Ökologischer Landbau				
	Markt- frucht	Milchvieh -Gülle	Milchvieh -Stalldung	Biogas
Vorfrucht	Luzerne- Kleegras	Luzerne- Kleegras	Luzerne- Kleegras	Luzerne- Kleegras
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



Weizenertrag (t ha⁻¹) ökologischer und konv. Anbausysteme

Systemversuch Viehhausen (Bryzinski & Hülshagen 2014)



	Ökologischer Landbau				Konventioneller Landbau			
	Markt- frucht	Milchvieh -Gülle	Milchvieh -Stalldung	Biogas	Markt- frucht	Milchvieh- Gülle		
Vorfrucht	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Körner- mais	Winter- raps	Silo- mais	Winter- raps
2011	4,3 ^a	5,5 ^b	5,3 ^{ab}	5,4 ^{ab}	8,5 ^c	10,6 ^d	9,7 ^d	10,5 ^d
2012	3,7 ^a	4,5 ^{ab}	3,7 ^a	5,4 ^b	9,3 ^c	11,9 ^d	10,2 ^c	11,5 ^d
2013	4,6 ^a	5,6 ^{ab}	5,3 ^{ab}	6,6 ^b	9,3 ^{cd}	10,9 ^d	8,9 ^c	11,0 ^d
Mittel	4,2 ^a	5,2 ^{ab}	4,8 ^a	5,8 ^b	9,0 ^c	11,1 ^d	9,6 ^c	11,0 ^d



Weizenertrag (t ha⁻¹) ökologischer und konv. Anbausysteme

Systemversuch Viehhausen (Bryzinski & Hülsbergen 2014)



	Ökologischer Landbau				Konventioneller Landbau			
	Markt- frucht	Milchvieh -Gülle	Milchvieh -Stalldung	Biogas	Markt- frucht	Milchvieh- Gülle		
Vorfrucht	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Körner- mais	Winter- raps	Silo- mais	Winter- raps
2011	4,3 ^a	5,5 ^b	5,3 ^{ab}	5,4 ^{ab}	8,5 ^c	10,6 ^d	9,7 ^d	10,5 ^d
2012	3,7 ^a	4,5 ^{ab}	3,7 ^a	5,4 ^b	9,3 ^c	11,9 ^d	10,2 ^c	11,5 ^d
2013	4,6 ^a	5,6 ^{ab}	5,3 ^{ab}	6,6 ^b	9,3 ^{cd}	10,9 ^d	8,9 ^c	11,0 ^d
Mittel	4,2 ^a	5,2 ^{ab}	4,8 ^a	5,8 ^b	9,0 ^c	11,1 ^d	9,6 ^c	11,0 ^d

Relation	0,47	0,58	0,53	0,64	1,00	1,23	1,07	1,22
----------	------	------	------	------	------	------	------	------



Winterweizenertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Fruchtfolge

Bodenbearbeitung, und Fungizidbehandlung Versuchsstation Roggenstein (2003)



Vorfrucht	Fungizide	Pflug	Grubber	Mittel
Erbsen	ohne	71,6	74,4	73,0
	mit	94,2	90,5	92,4
Weizen (1 x)	ohne	46,8	39,6	43,2
	mit	53,0	58,2	55,6
Weizen (5 x)	ohne	46,3	47,0	46,6
	mit	54,3	65,9	60,1

- Trotz intensivem Pflanzenschutz und intensiver Düngung **beachtliche Fruchtfolgeeffekte**
- Durch Intensivierungsmaßnahmen nicht auszugleichen
- 5 x Weizen-Vorfrucht brachte höhere Erträge als 1 x Weizen-Vorfrucht



- **Vorfruchtbedingte Ertragsdifferenzen** reichen von ca. **5 bis > 20 %**.
- Die Bedeutung der Vorfrucht für die Ertragsbildung der Folgekultur ist um so höher,
 - je **enger die Fruchtfolge** ist bzw. je weniger Kulturarten angebaut werden.
 - je **geringer die Einflussmöglichkeiten durch Intensivierungsmaßnahmen** (insbesondere PSM, Herbizide, Mineral-N) sind.
 - je **ungünstiger die Witterungsverhältnisse** ausfallen.

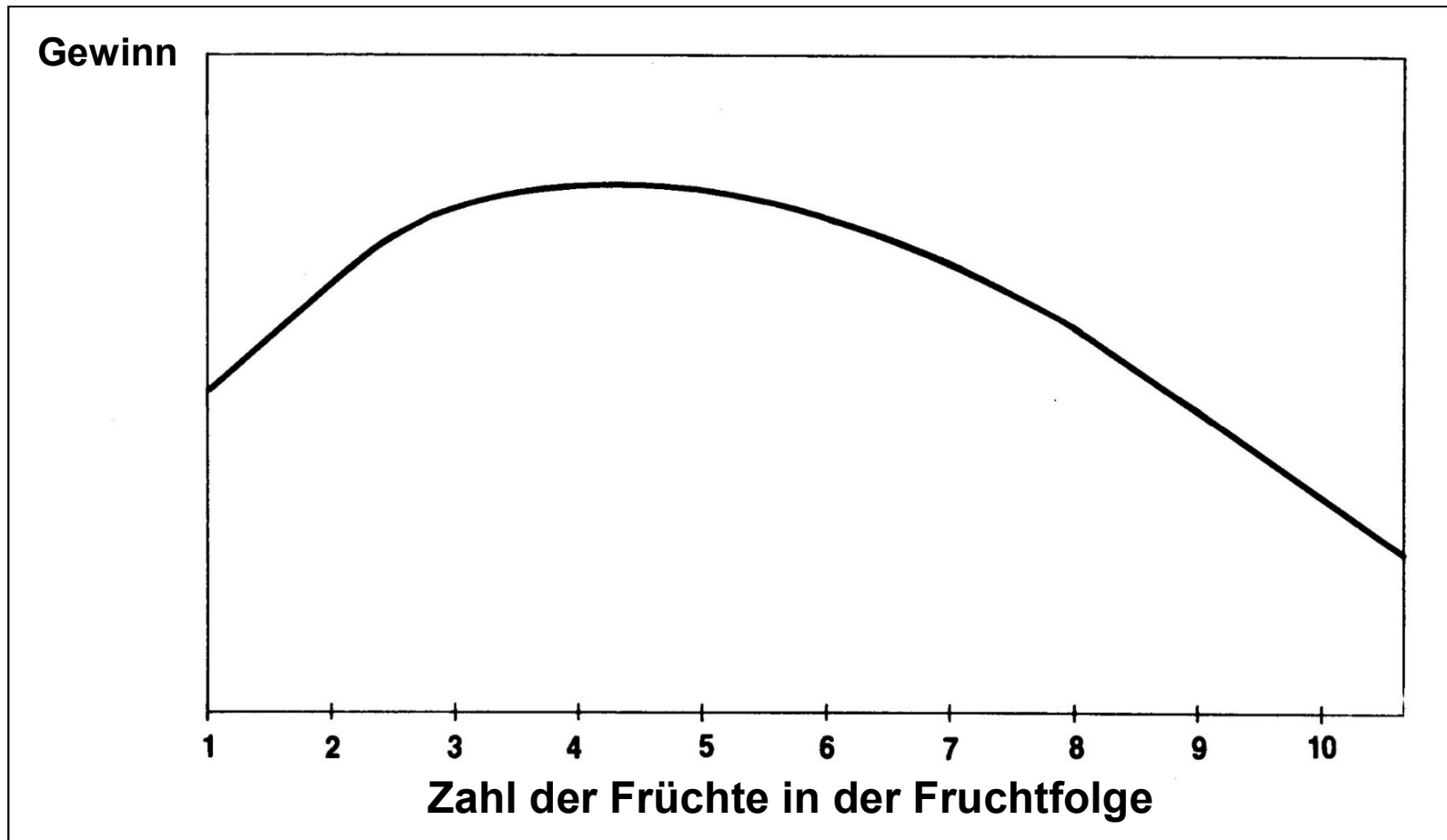


Fruchtartendiversität in Fruchtfolgen





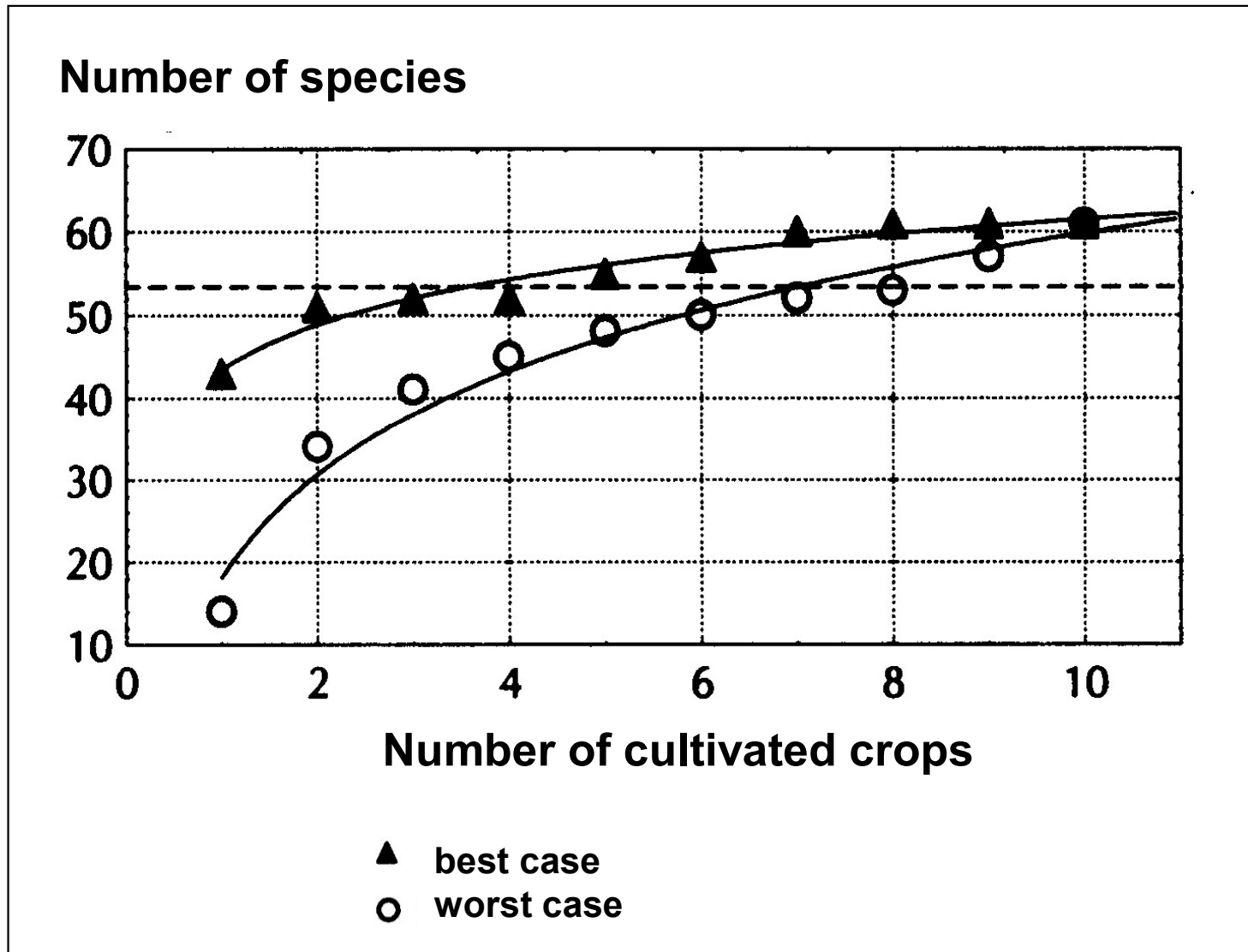
Gewinn aus der Pflanzenproduktion in Abhängigkeit von der Zahl der Früchte in einer Fruchtfolge (KUHLMANN 1990)





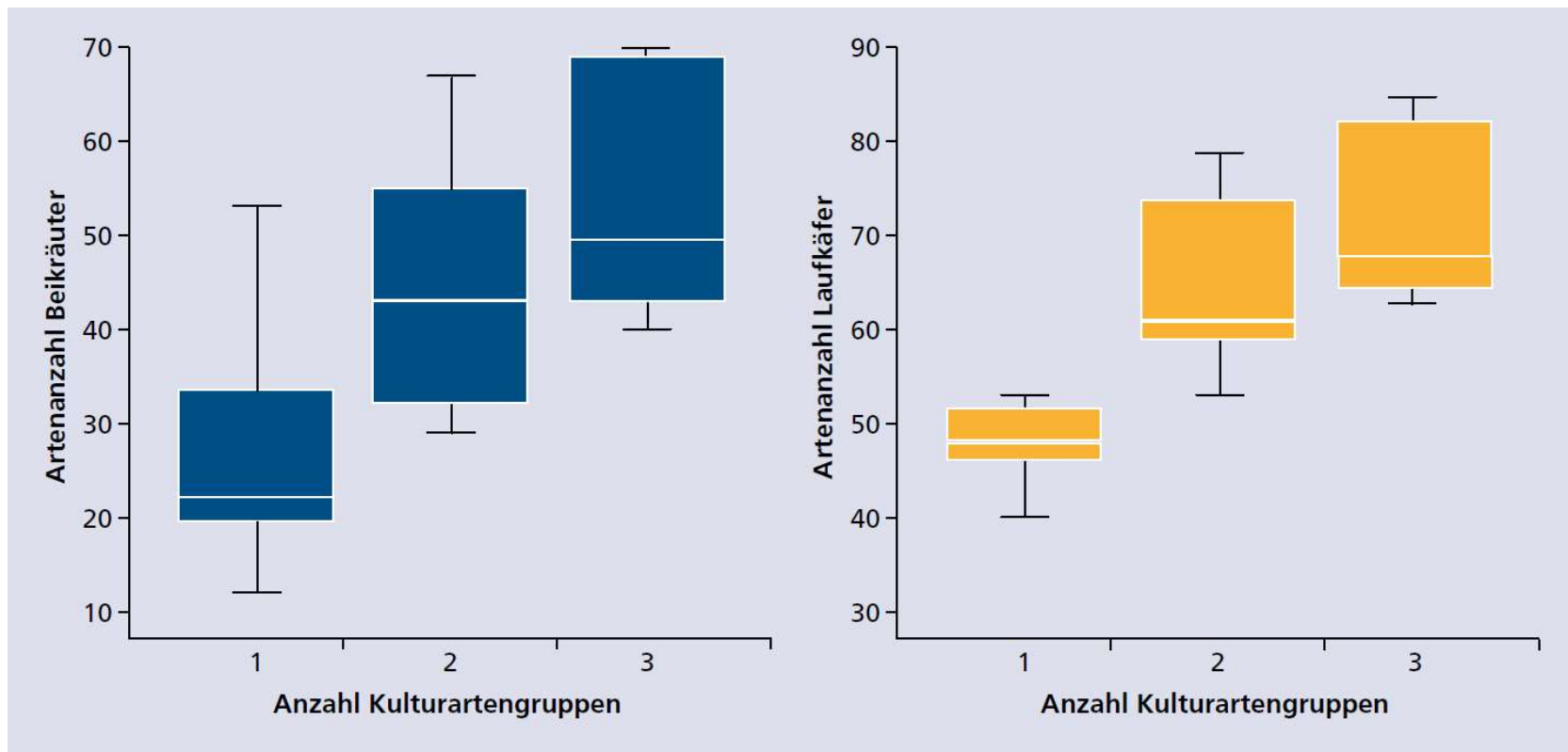
Dependence of the carabid population on the number of cultivated crops

Heyer, Hülsbergen, Wittmann, Papaja, Christen (2003): Agric., Ecosys.& Environm. 98, 453-461.





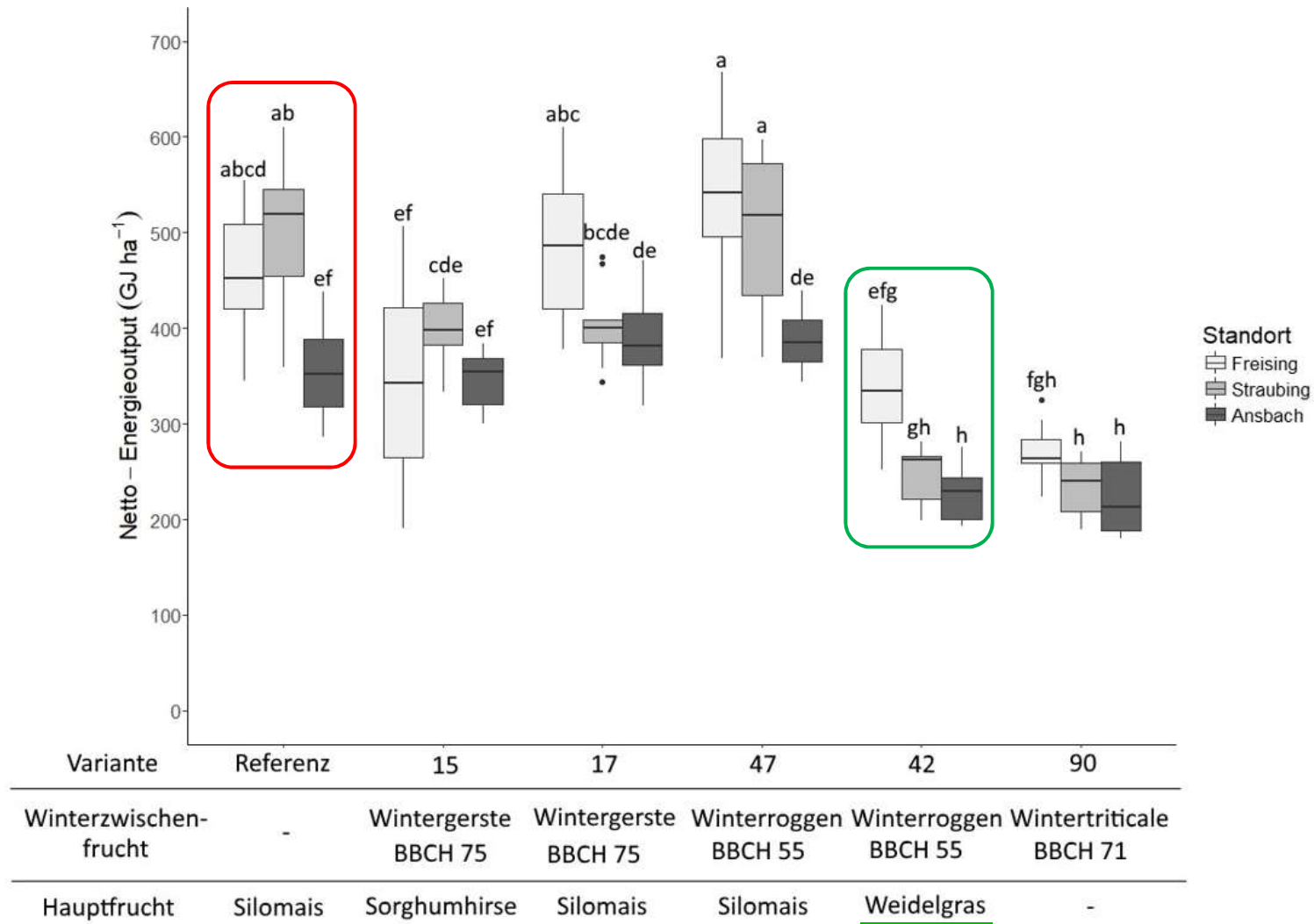
Anzahl von Kulturartengruppen in der Fruchtfolge und mittlere jährliche Artenanzahl (Glemnitz et al. 2010)





Netto-Energieoutput der Biomasseerzeugung

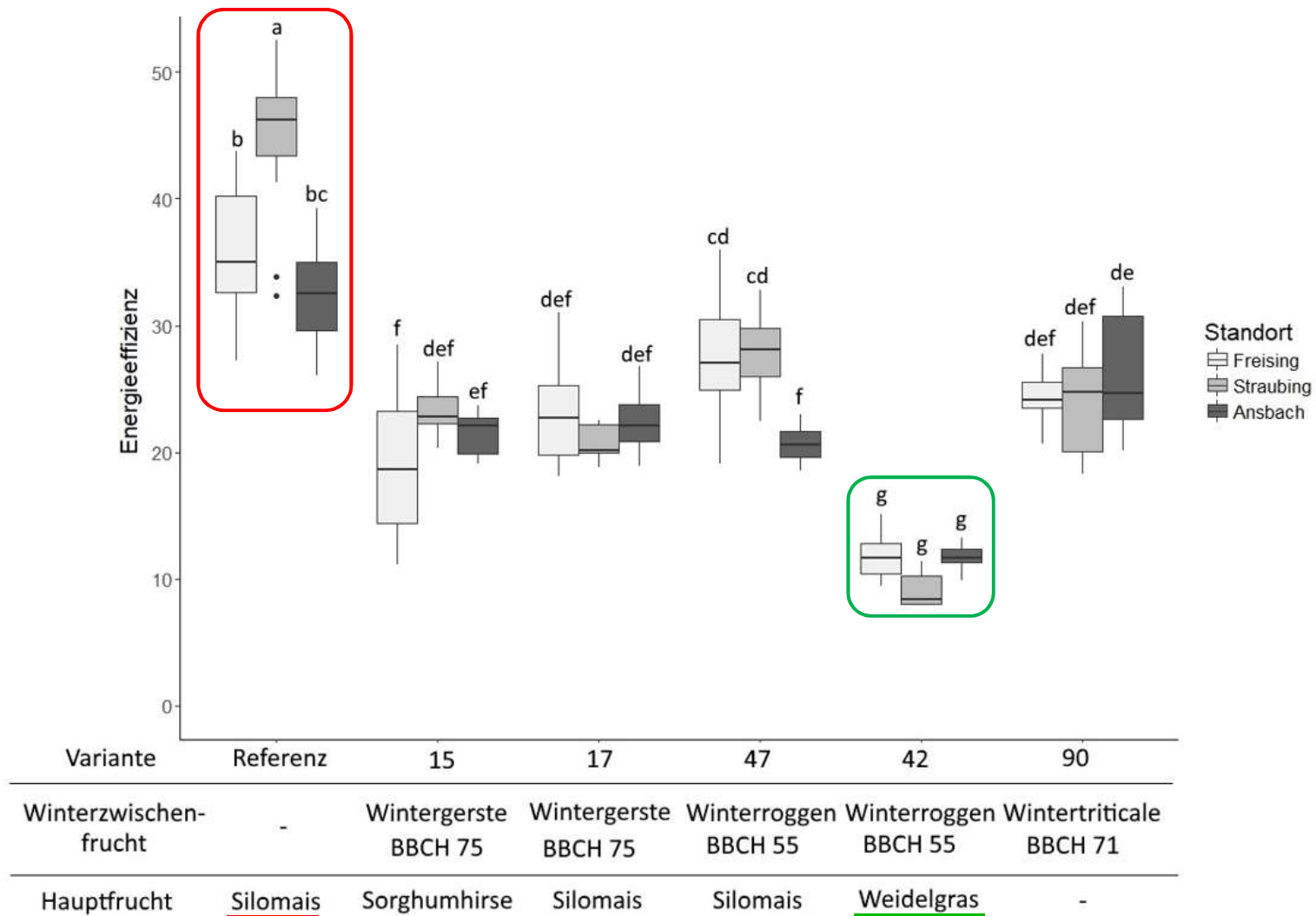
Feldexperimente in Freising, Straubing und Ansbach (2007 – 2010), (Simon 2018)





Energieeffizienz der Biomasseerzeugung

Feldexperimente in Freising, Straubing und Ansbach (2007 – 2010), (Simon 2018)





- **Zusammenhang zwischen Fruchtfolge (Fruchtartendiversität) und Biodiversität** (wildlebende Pflanzen und Tiere, Insekten)
- **Möglichkeiten für hohe Diversität in Energiepflanzen-Fruchtfolgen**
aber: höchste Energiebindung und Energieeffizienz bei Silomais (Zielkonflikt)
- **Diversitätssteigerung durch artenreiche Zwischenfrüchte**
positive pflanzenbauliche und agrarökologische Effekte
- Es kommt darauf an, **wie der Anbau einer Kulturart ausgerichtet ist**,
ob er auch **Lebensraum für die heimische Flora und Fauna bietet**.

Humusaufbau und Bodenkohlenstoffbildung

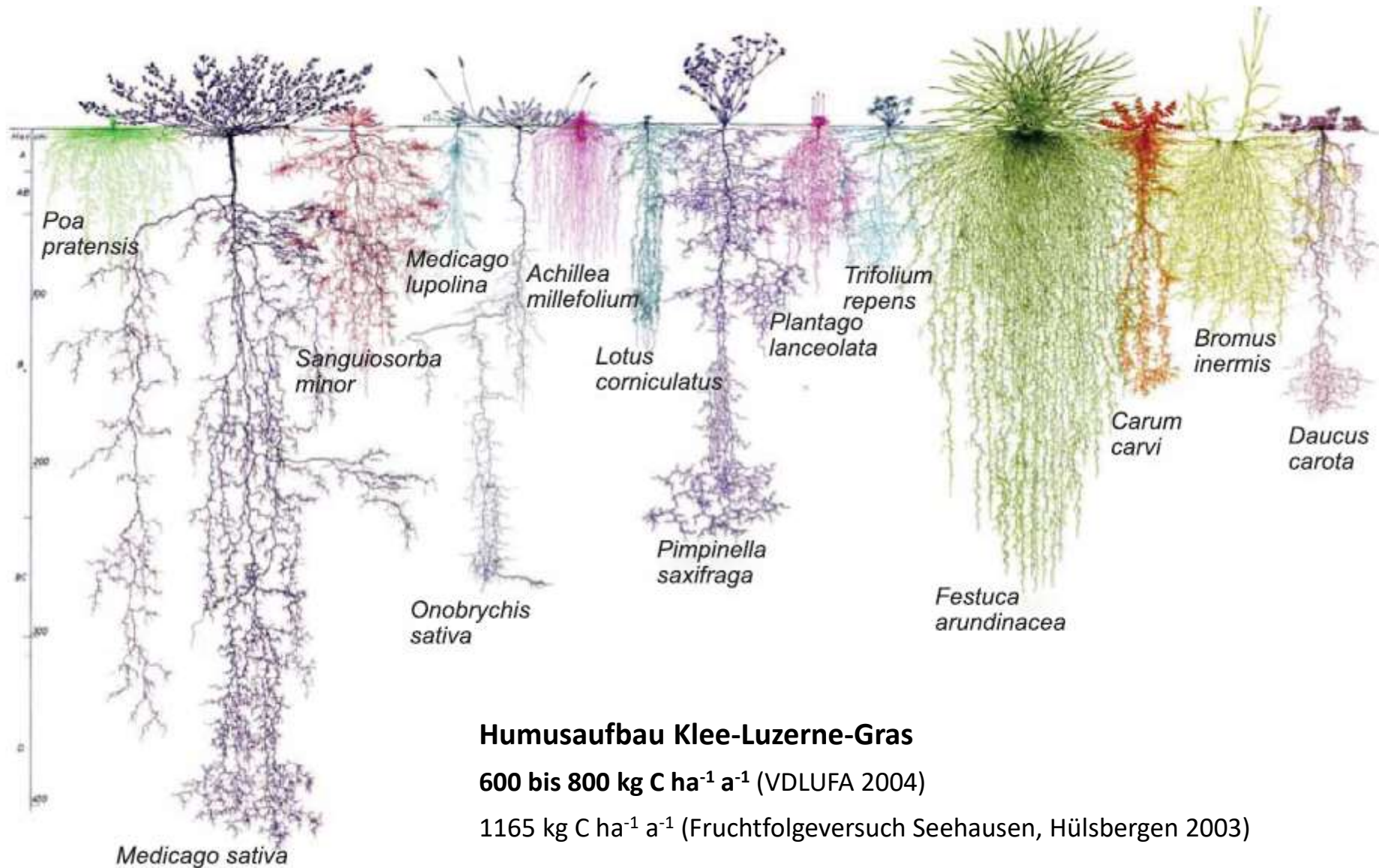
Einfluss der Fruchtfolgegestaltung





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

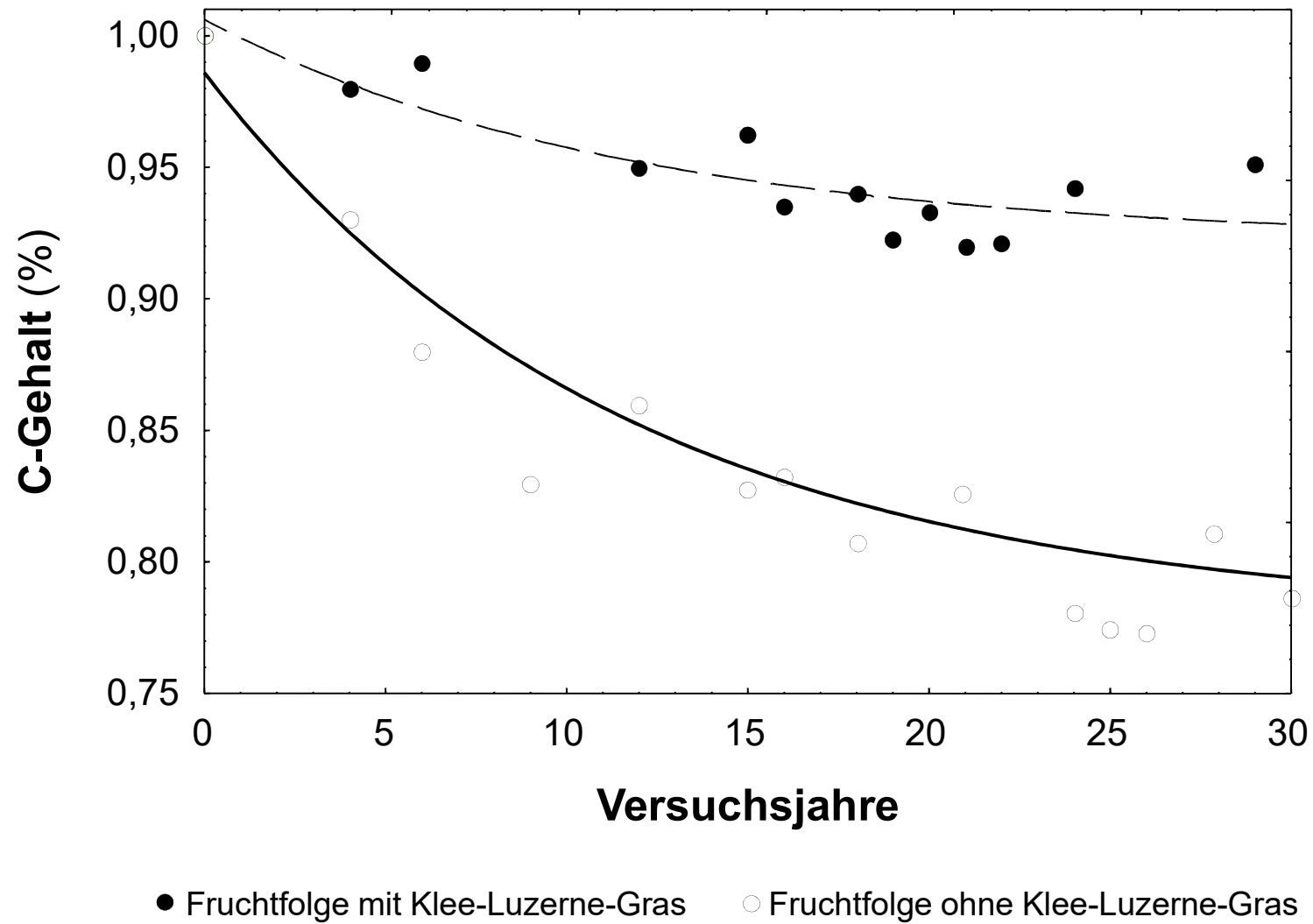
600 bis 800 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (VDLUFA 2004)

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



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

Dauerfeldversuch auf sandigem Lehm (Hülsbergen 2003)





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

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



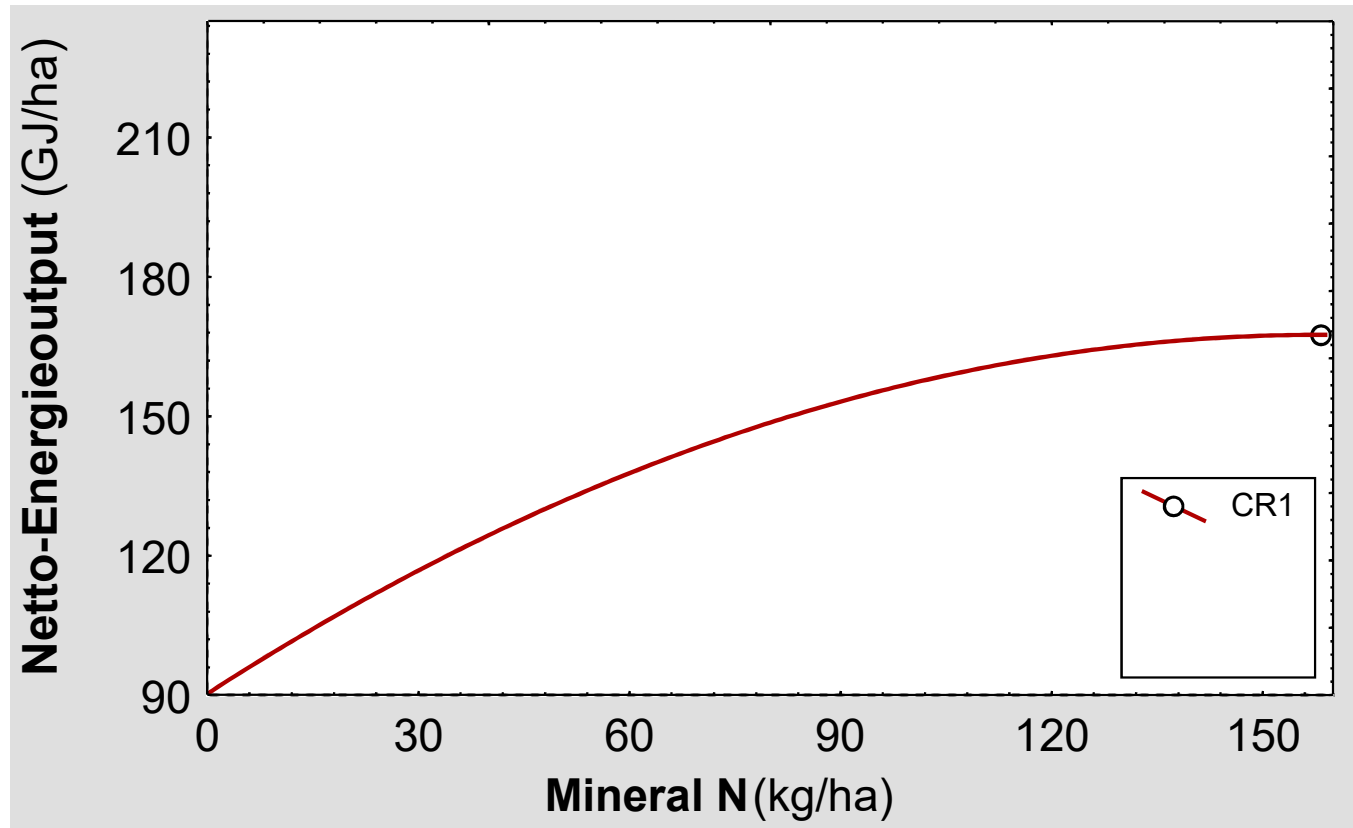
Bodentiefe cm	C _t -Gehalt mg/100g Boden			Δ C _t -Vorrat	Δ CO ₂ - Bindung
	FF III	FF V	Differenz	kg/a	kg/a
0 - 20	830	990	+ 160	+ 160	+ 586
20 - 40	640	769	+ 129	+ 138	+ 506
40 - 60	246	404	+ 158	+ 168	+ 616
0 - 60			+ 447	+ 466	+ 1708

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



Net energy output (winter wheat with by-product)

Crop rotation experiment Seehausen, (Hülsbergen & Kalk 2001)

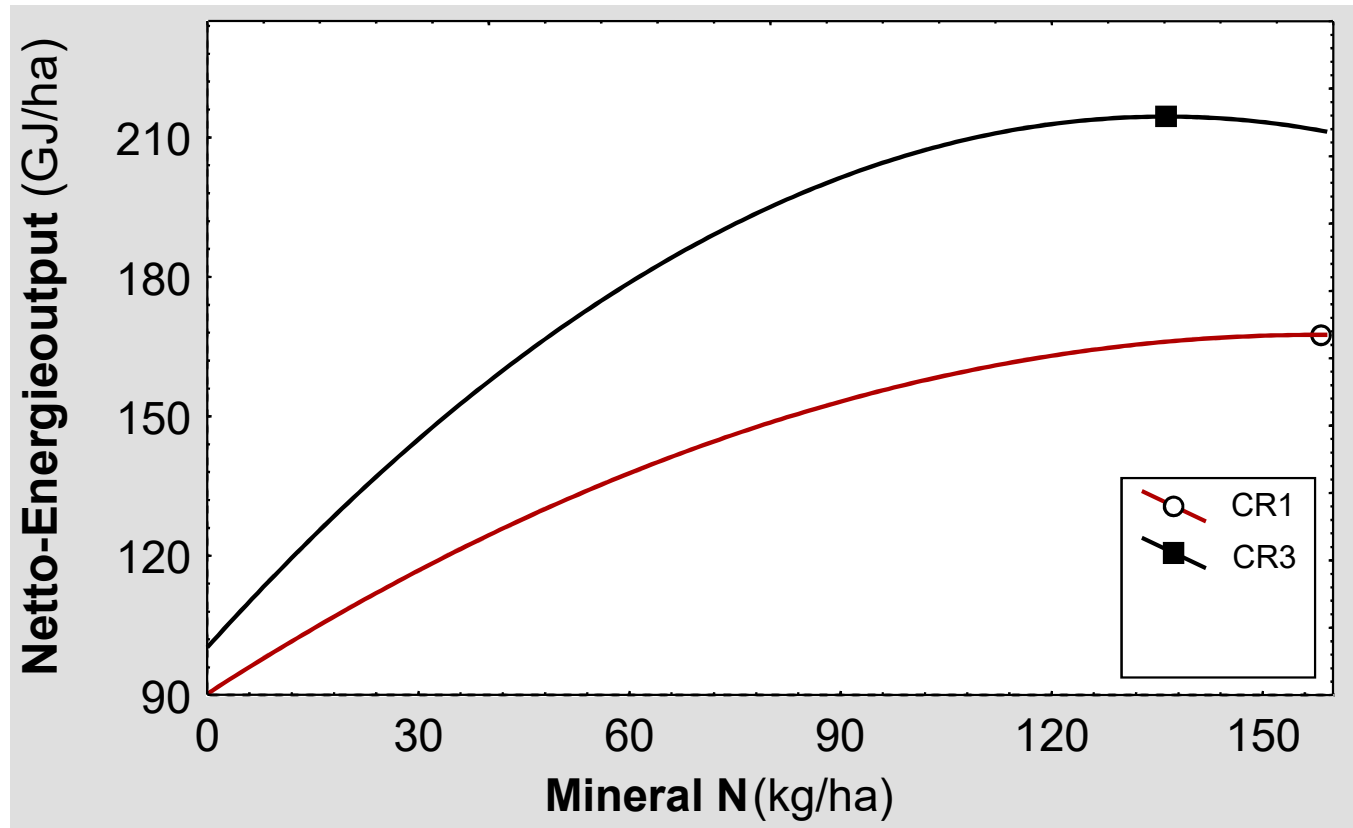


Crop rotation 1
Winter wheat



Net energy output (winter wheat with by-product)

Crop rotation experiment Seehausen, (Hülsbergen & Kalk 2001)

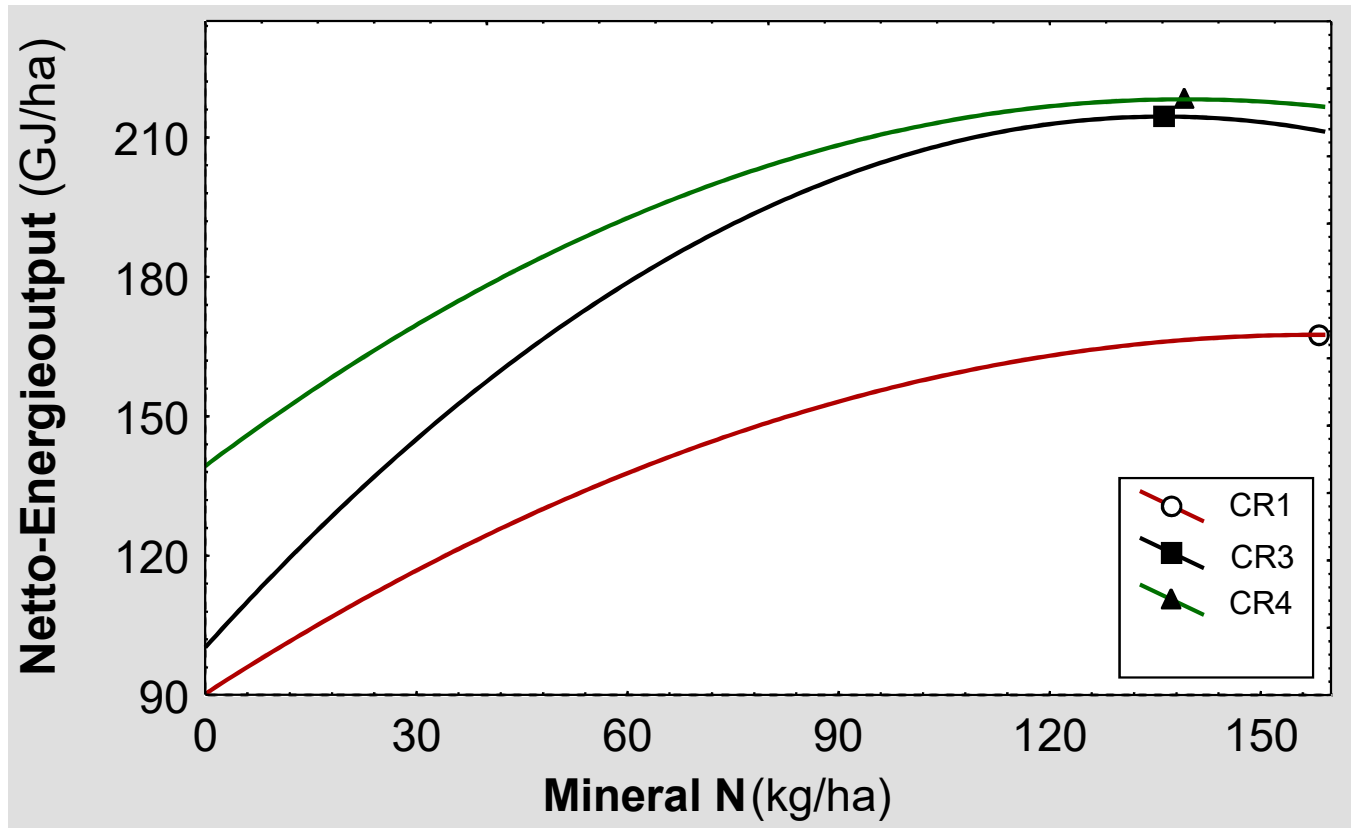


Crop rotation 1	Crop rotation 3
Winter wheat	Potatoes Winter wheat Sugar beet Spring barley Winter rye



Net energy output (winter wheat with by-product)

Crop rotation experiment Seehausen, (Hülsbergen & Kalk 2001)

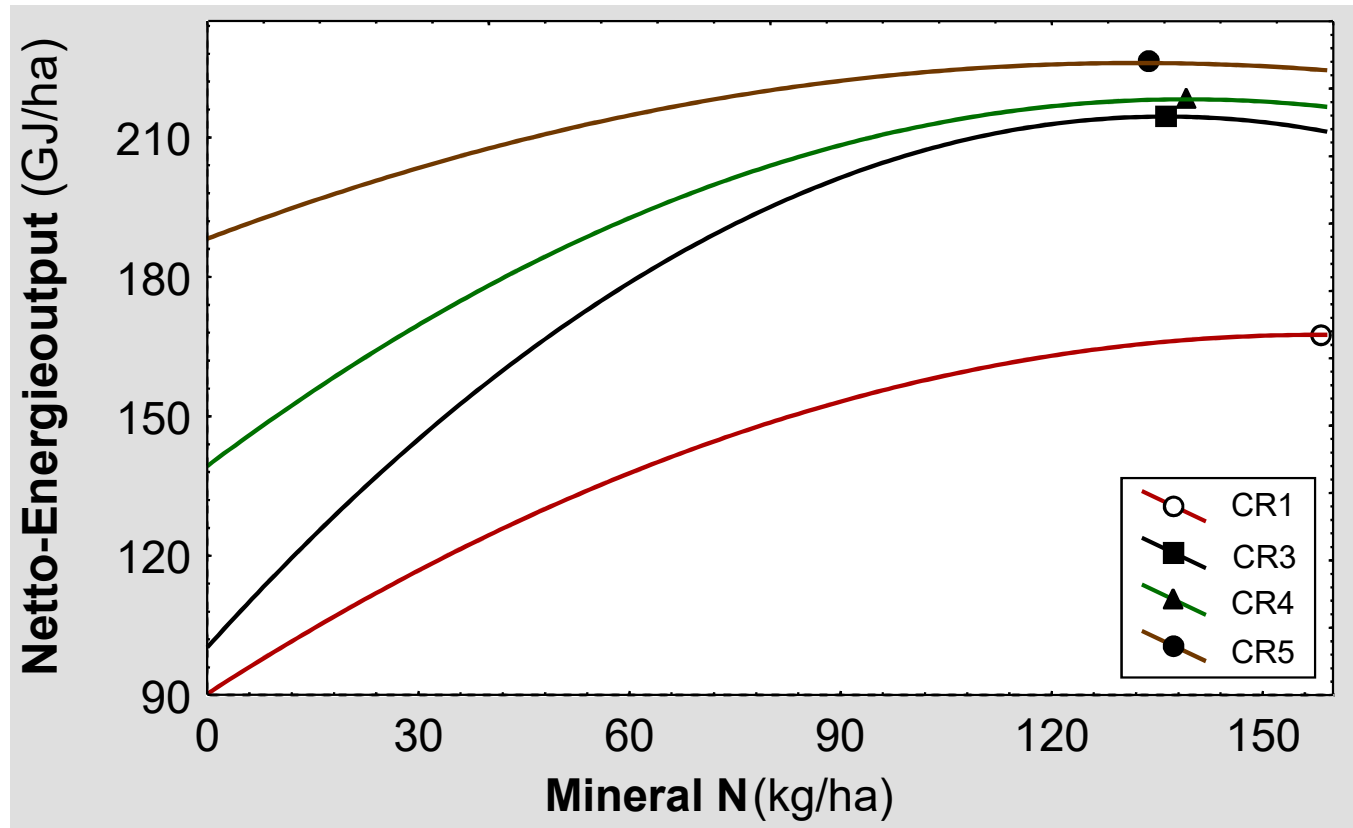


Crop rotation 1	Crop rotation 2	Crop rotation 3
Winter wheat	Potatoes Winter wheat Sugar beet Spring barley Winter rye	Potatoes Winter wheat Sugar beet Spring barley Clover/gras



Net energy output (winter wheat with by-product)

Crop rotation experiment Seehausen, (Hülsbergen & Kalk 2001)



Crop rotation 1	Crop rotation 2	Crop rotation 3	Crop rotation 4
Winter wheat	Potatoes Winter wheat Sugar beet Spring barley Winter rye	Potatoes Winter wheat Sugar beet Spring barley Clover/gras	Potatoes Winter wheat Sugar beet Lucerne/gras Lucerne/gras



- **Humusaufbau und Bodenkohlenstoffbindung**
Honorierbare Leistung, CO₂-Zertifizierung?
- **N₂-Fixierleistung und Stickstofftransfer in der Fruchtfolge**
300 bis 500 N ha⁻¹ a⁻¹, N_{org}-Akkumulation + N-Nachlieferung
- **Förderung der Bodenbiologie und Verbesserung des Bodengefüges**
Regenwürmer, Bioporen, Wasserinfiltration, Bodenbedeckung, Erosionsschutz
- **Verwertung der Biomasse und Ökonomie?**
Neue Verwertungsstrategien (Bioraffinerie, Kaskadennutzung)



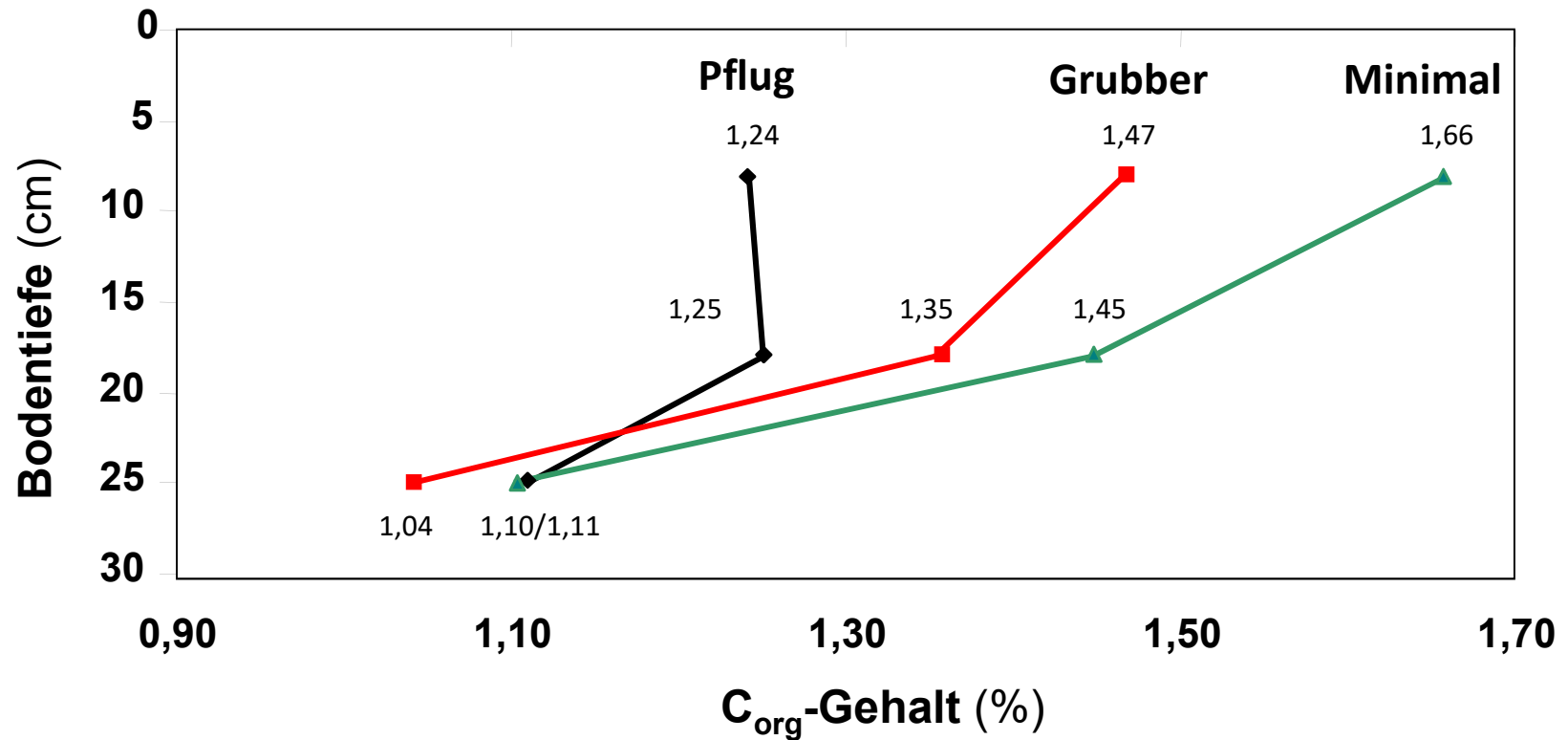
Humusabbau: -560 bis -800 kg C ha⁻¹ a⁻¹

unter Berücksichtigung von Wurzelmasse, Rhizodeposition und Anbauverfahren
(Bodenbearbeitung) abgeleitet aus Dauerfeldexperimenten (VDLUFA 2014)



C_{org} -Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülshagen 2013)



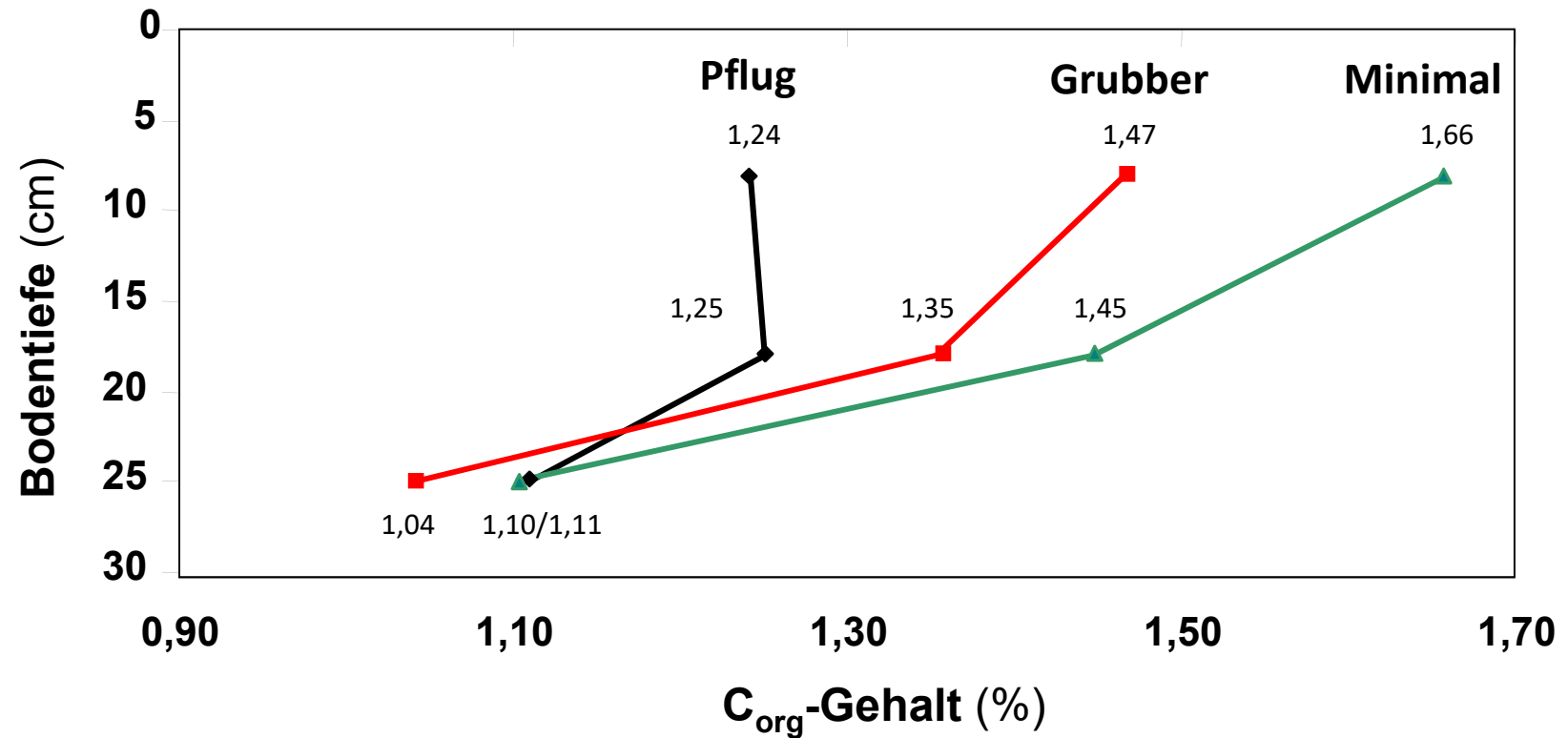
Anlagejahr: 1992 Messung: 2005

Fruchtfolge: Mais – Winterweizen – Kartoffeln – Winterweizen



C_{org} -Gehalte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Systemversuch Scheyern (Küstermann & Hülsgen 2013)



	Pflug	Grubber	Minimal
C_{org} (t ha ⁻¹)	41,1	46,3	52,5
ΔC_{org} (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	- 300	+ 500	+ 150



Mais-Düngungsversuch (mit Gülle)

Forschungsprojekt „digisens“ Burghausen/Burgkirchen (Mittermayer et al. 2020)



Vorfrucht: Raps, Zwischenfrucht: Weidelgras

Zielertrag: 55 t ha⁻¹ (17,6 t ha⁻¹ TM)

Variante		Gülle-N kg ha ⁻¹	Mineral-N kg ha ⁻¹	TM-Ertrag t ha ⁻¹	N-Entzug kg ha ⁻¹	N-Saldo kg ha ⁻¹
N 1	Kontrolle	60 + 60	0	15,8 ^a	158 ^a	-38 ^a
N 2	Landwirt	60 + 60	45	19,6 ^{ab}	203 ^{ab}	-38 ^a
N 8	DSN	60 + 60	80	21,8 ^b	240 ^b	-40 ^a
N 9	DSN – 20 %	60 + 60	65	20,9 ^b	213 ^{ab}	-28 ^{ab}
N 10	BESyD	60 + 60	45	20,7 ^b	219 ^{ab}	-54 ^a



Mais-Düngungsversuch (ohne Gülle)

Forschungsprojekt „digisens“ Burghausen/Burgkirchen (Mittermayer et al. 2020)



Vorfrucht: Raps, Zwischenfrucht: Weidelgras

Zielertrag: 55 t ha⁻¹ (17,6 t ha⁻¹ TM)

Variante		Gülle-N kg ha ⁻¹	Mineral-N kg ha ⁻¹	TM-Ertrag t ha ⁻¹	N-Entzug kg ha ⁻¹	N-Saldo kg ha ⁻¹
N 1	Kontrolle	0	0	12,8 ^a	126 ^a	-126 ^a
N 2	Landwirt	0	80	18,1 ^{bc}	202 ^b	-122 ^a
N 8	DSN	0	125	20,9 ^c	213 ^b	-88 ^{ab}
N 9	DSN – 20 %	0	100	18,8 ^{bc}	196 ^b	-96 ^{ab}
N 10	BESyD	0	110	20,4 ^c	225 ^b	-115 ^a

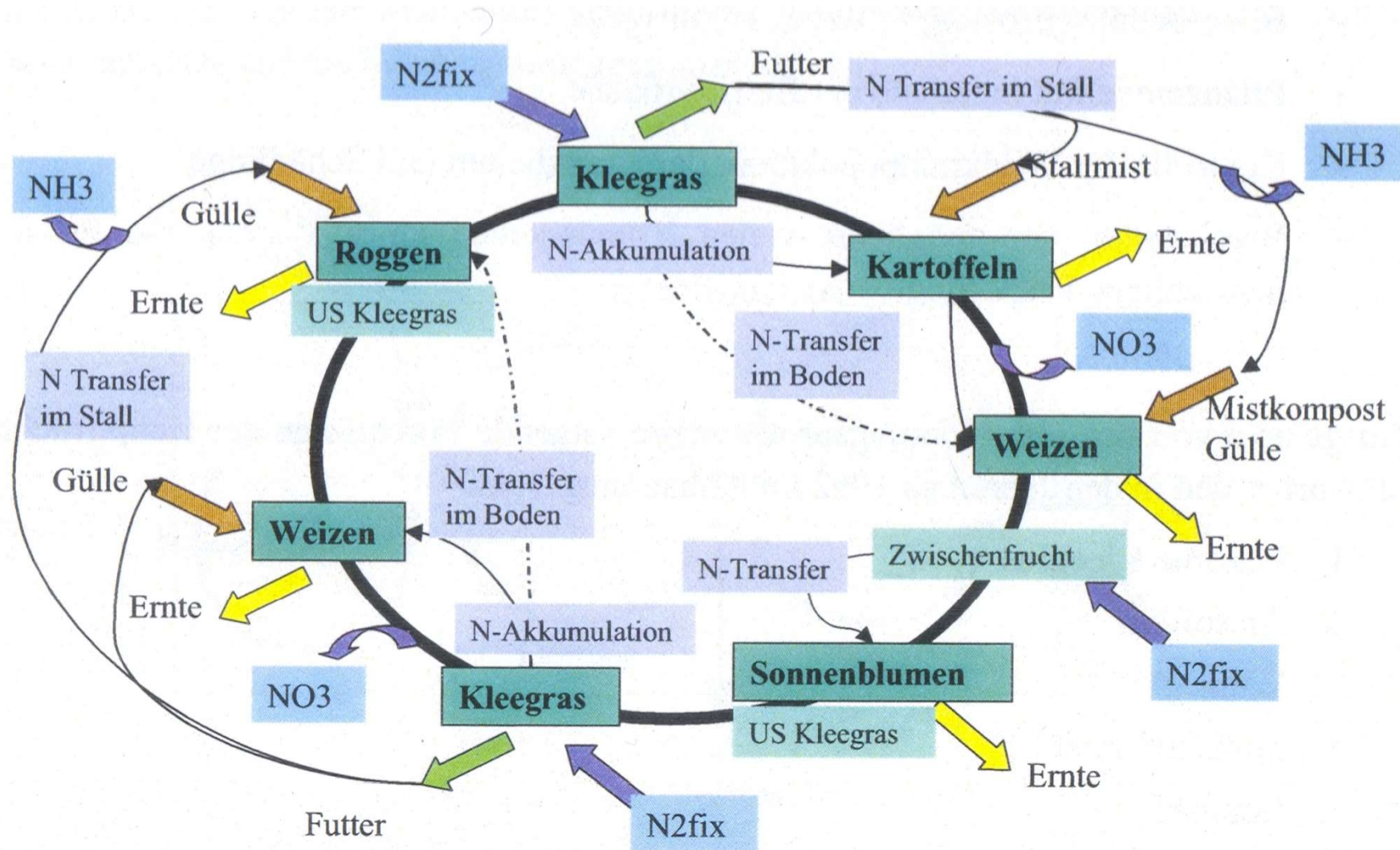


- **Humuszehrende Fruchtart** (abhängig von Bodenbearbeitung und Anbausystem)
Ausgleich durch Fruchtfolge und organische Düngung
- **Hohes Ertragspotenzial, hohe Energiebindung und hohe Energieeffizienz**
TM-Erträge 20 bis > 30 t ha⁻¹, Energieeffizienz 40 : 1
- **N-Aufnahme aus dem Boden-N-Pool (N-Mineralisierung)**
Mais bringt hohe TM-Erträge auch bei negativen N-Bilanzen (Mineral-N-Einsparung)
- **Extreme hohe Anbaukonzentrationen von Mais vermeiden**
Erosionsprobleme, Biodiversität, Landschaftsästhetik



Stickstofftransfer in der Fruchtfolge

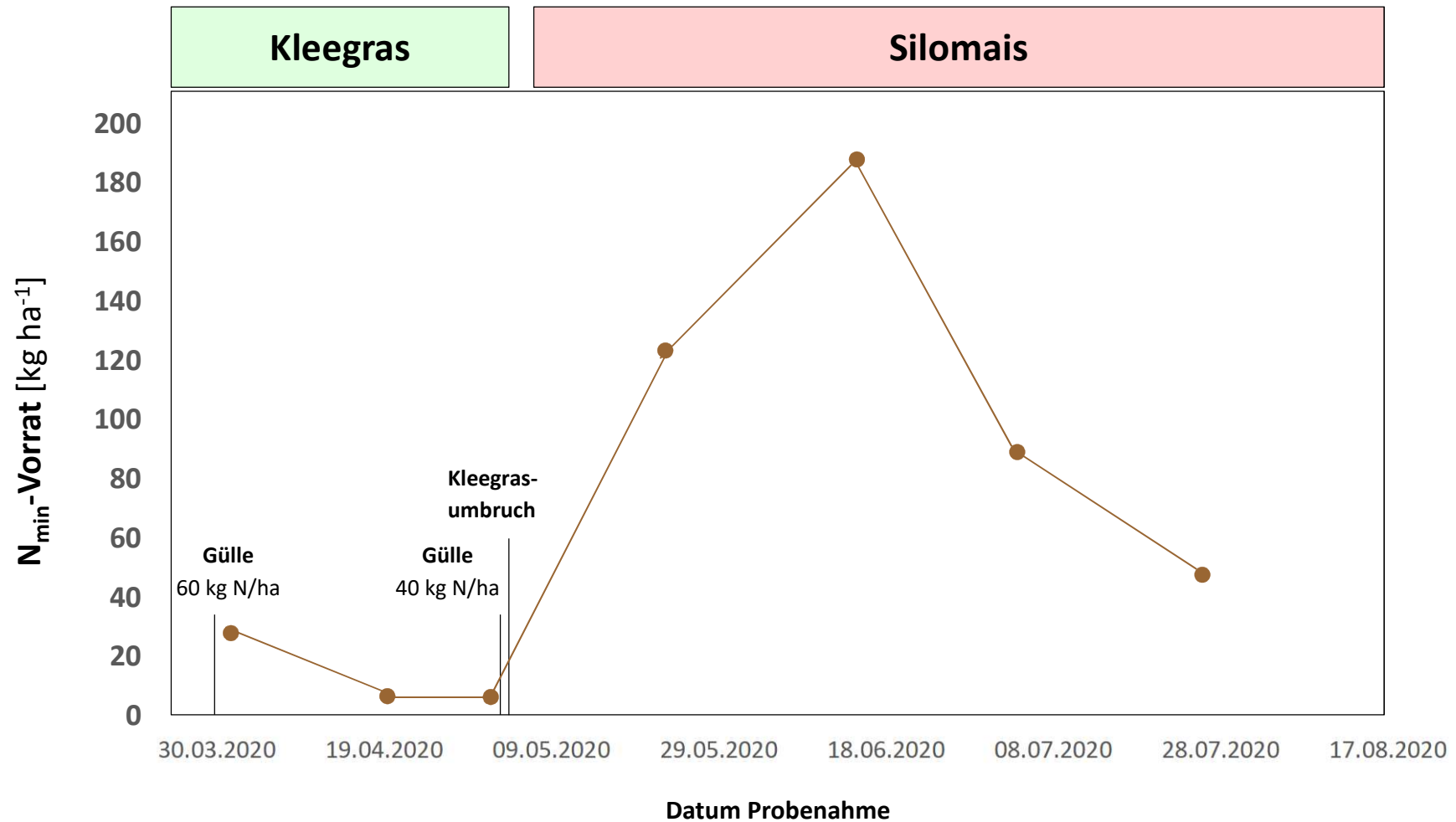
Beispiel des Versuchsgutes Scheyern (Ökologischer Landbau)





$N_{\min}$ -Dynamik nach Klee-grasumbruch

Forschungsprojekt Burghausen, ökologischer Landbau (Schuster 2020)

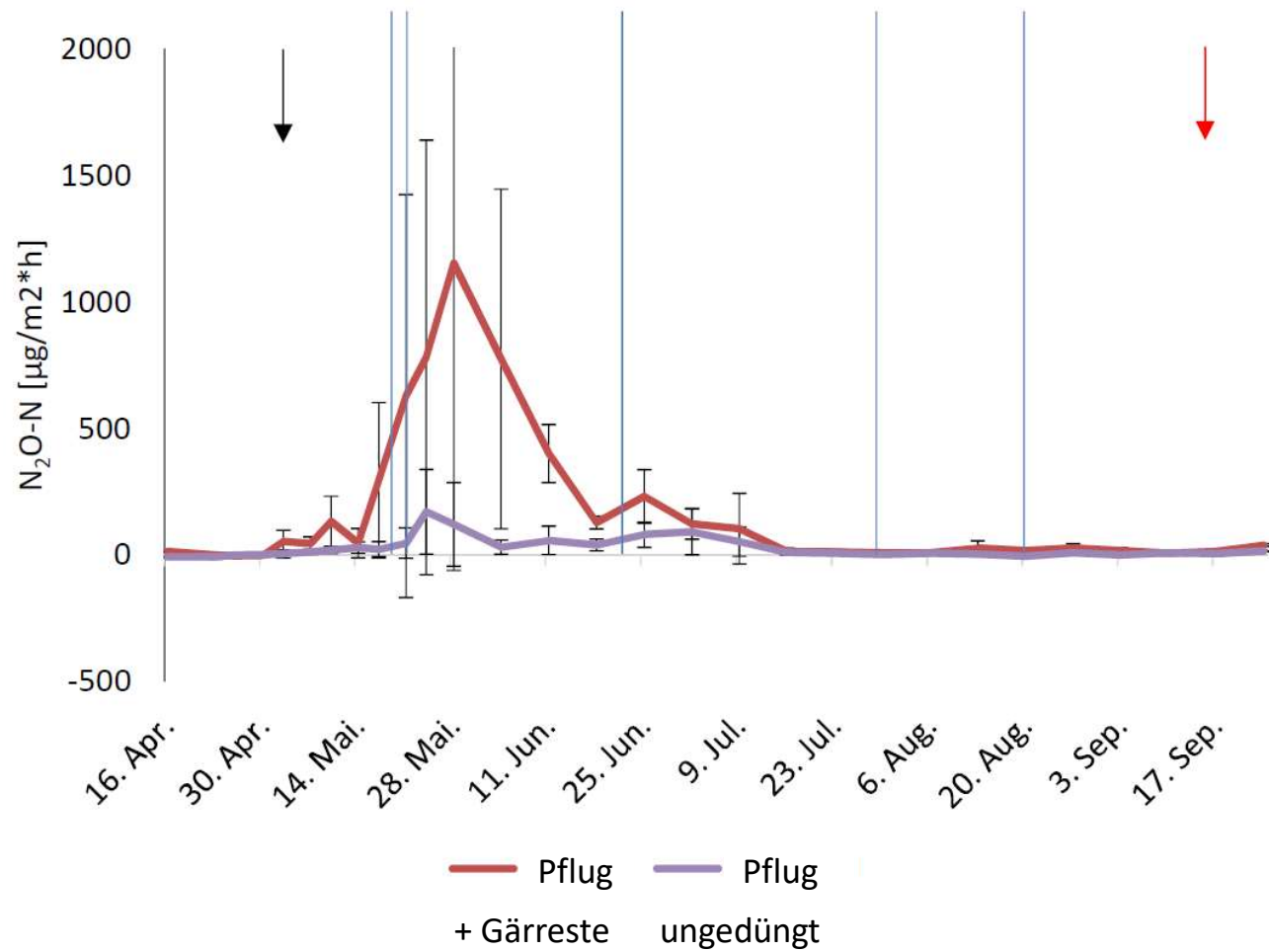


N-Entzug Klee-gras, 1.Schnitt: 180 kg ha^{-1}



N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

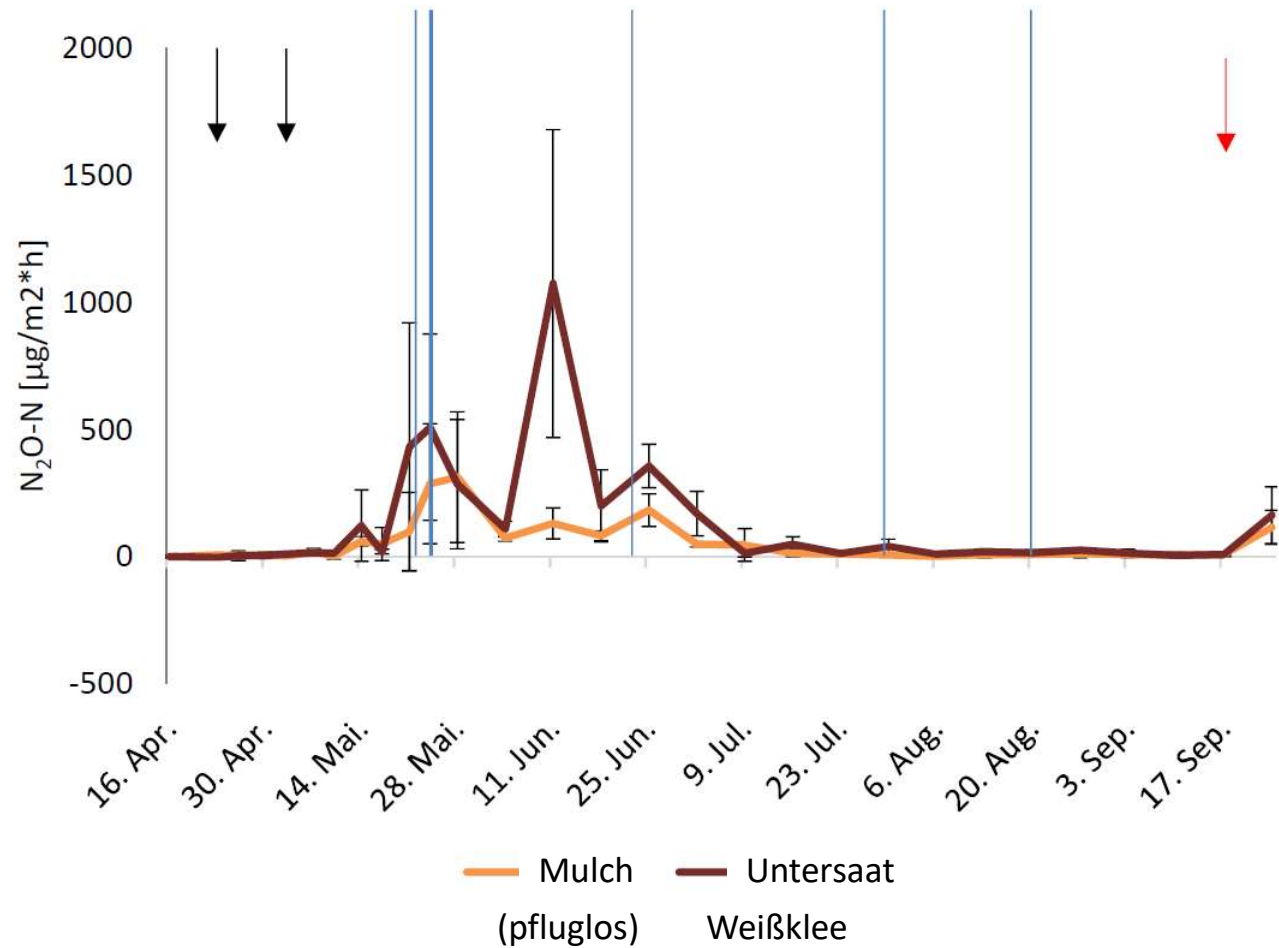
Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart 2019)





N₂O-Emissionen beim Anbau von Silomais

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart 2019)





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

Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Winkhart 2019)



Variante	N ₂ O-Emissionen (16.04. bis 24.09.2019)
Pflug, Gärrest	6,4 a
Pflug, ungedüngt	1,1 c
Mulch, Gärrest	2,0 bc
Untersaat Weißklee, Gärrest	5,0 ab



- **N-Nachlieferung der Fruchtarten beachten und steuern**
Hohes N-Mineralisationspotenzial nach Klee-/Luzernegras, Winterraps, ...
- **Stickstoffkonservierung und Stickstofftransfer durch Zwischenfrüchte**
Verminderung von Nitratausträgen und N_2O -Emissionen
- **Düngestrategie der Fruchtfolge und organischen Düngung anpassen**
Sensorgestützte Düngung und Düngealgorithmen
- **Moderne N-Managementsysteme (webBESyD)**
Optimierung der N-Flüsse und Humusmanagement in der Fruchtfolge
Ausblick: Fruchtfolge-Planungstool, Entscheidungsunterstützungssystem

Beratungstools zur Fruchtfolgeplanung

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: DEBYLI8461000077

Feldstück: ...

Feldstück | Schlag: Tummelfeld

Feldblock: DEBYLI8483000239

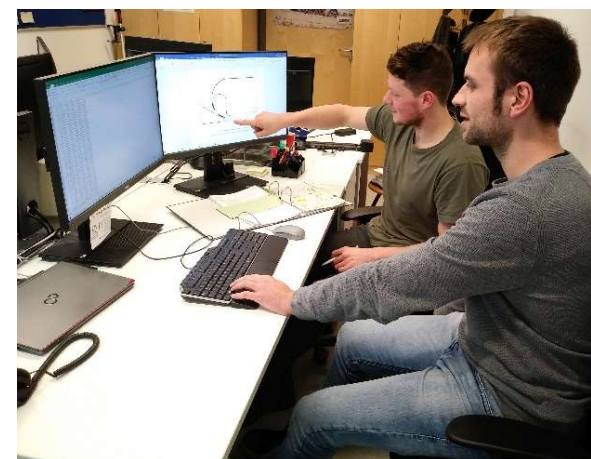
Feldstück: ...

Feldstück | Schlag: Ochsenfeld

Feldblock: DEBYLI8483000238

Feldstück: ...

Feldstück | Schlag: Moosacker

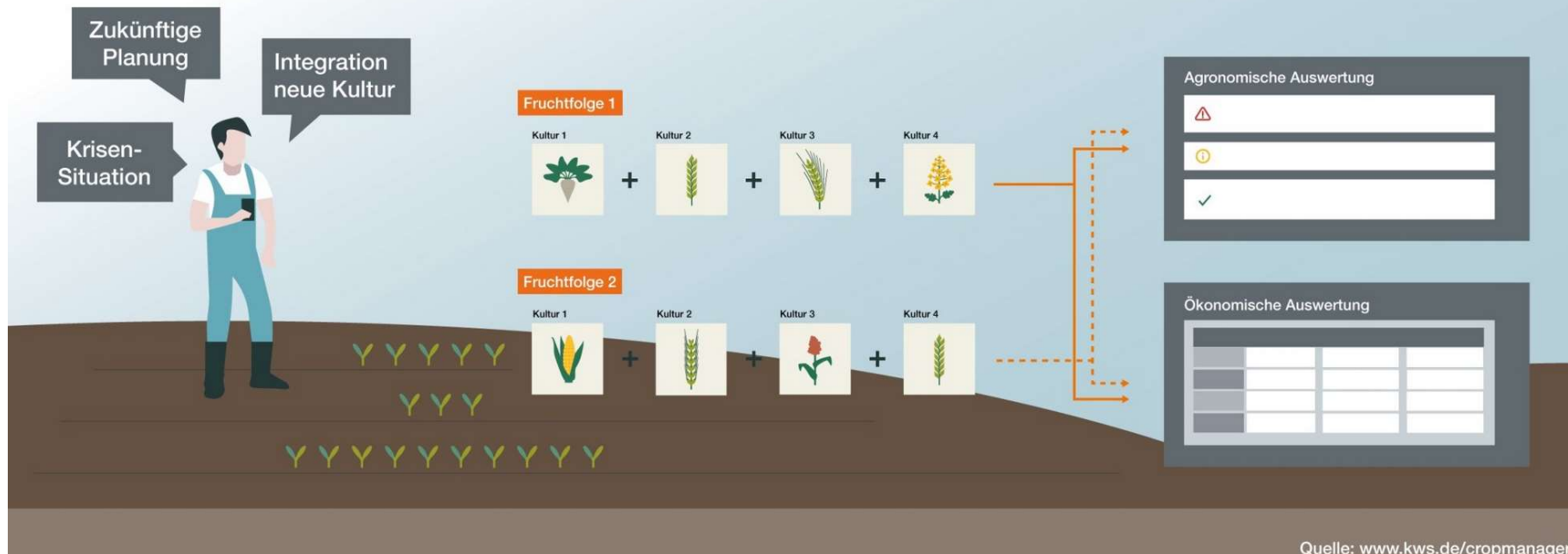


Optimieren Sie Ihre Fruchtfolge

1 Hilfreich bei relevanten **Entscheidungen** in einer Vielzahl von Situationen

2 Möglichkeit zum **direkten Vergleich** mehrerer Fruchtfolgen

3 Agronomische Auswertung zur **Minimierung von Risiken** sowie Ökonomische Auswertung zur **Optimierung des Deckungsbeitrags**





Vorfruchteignung der Fruchtarten

Kolbe (2008)

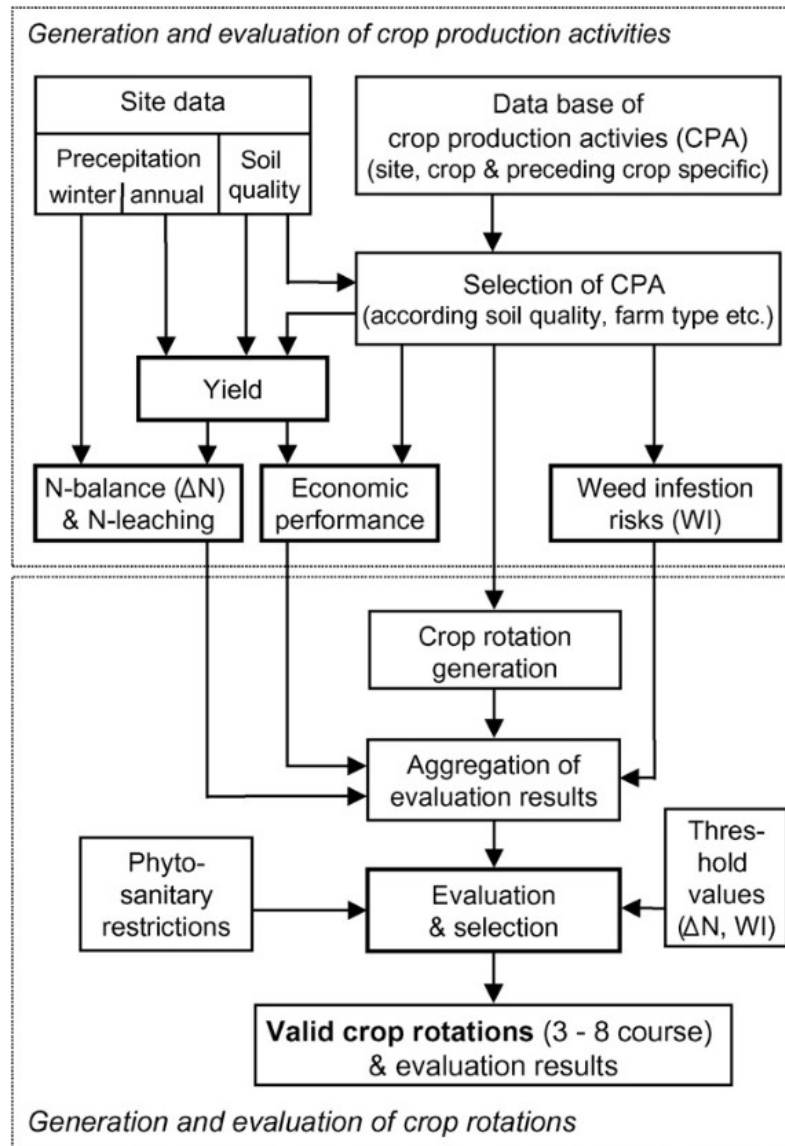


Vorfrucht	Nachfrucht	Luzerne, Klee, Leguminosengras (mehrjährig)	Luzerne, Klee, Leg.-gras Serradella (ein- b. überjähr.)	Ackerbohne s	Erbse, Linse	Lupine, Wicke, Sojabohne	Gräser (ein- bis mehrjährig)	W.-Weizen s (Back- u. Futterqualität)	S.-Weizen, Durum s (Back- u. Futterqualität)	Weizen (Brauqualität)	Dinkel	Triticale t	W.-Roggen t	W.-Gerste (Futterqualität)	S.-Gerste t (Futterqualität)	S.-Gerste (Brauqualität)	Hafer
Luzerne, Klee, Leguminosengras (mehrjährig)		ce	ce	ce		ce	e	a	i	f	ag	agk	agk	agk	egi	efg	agik
Luzerne, Klee, Leg.-gras Serradella (ein- b. überjährig)		ce	ce	e	e	e	en		i	f	g		bk	bk	egik	efg	ik
Ackerbohne s		ce	e	c	c	e	bm	h	h	fh	gh	bh	b	b	egh	fh	eh
Erbse, Linse		ce	e	c	c	e	n	i	hi	fi	gi	i	i		i	fi	i
Blaue Lupine, Weiße Lupine, Wicke		ce	e	e	e	ce	bn		i	f	gk	k	k	bk	gik	fi	ik
Gelbe Lupine		ce	e	e	e	ce	b						k	bk	ik	fi	ik
Sojabohne		ce	e	e	e	ce	b	b			b	b	b	b	g	g	
Gräser (ein- bis mehrjährig)		e						abl	ail	b	ab	abl	abl	abl	i	i	i
W.-Weizen s				di	di	di	in	cdp	ci	cdp	cdhp	dhlpr	chpr	cdpr	ci	ci	i



Model structure of ROTOR

Bachinger & Zander (2007)





Weed infestation risk indices, model ROTOR

Bachinger & Zander (2007)



Weed infestation risk indices for the estimation of the infestation risks of the CPAs by perennial weeds (*Elymus repens*), summer annual (*Chenopodium album*) and winter annual (*Apera-spica venti*) weeds specific to the kind of crop and cropping measures included

Crop	Weed infestation risk indices ^a		
	Perennial weeds	Annual weeds	
		Summer	Winter
Winter rye (<i>Secale cereale</i>)	−1	−1	3
Winter wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	1	0	4
Winter barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	0	−1	3
Triticale (× <i>Triticosecale</i>)	0	−1	4
Winter rape (<i>Brassica napus</i>)	−2	−2	2
Oat (<i>Avena sativa</i>)	−1	1	0
Spring barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	1	2	0
Spring wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	0	2	0
Faba bean (<i>Vicia faba</i>)	0	4	0
Field pea (<i>Pisum sativum</i>)	1	3	0
Sweet blue lupine (<i>Lupinus angustifolius</i>)	1	3	0
Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	−3	3	−2
Silage maize (<i>Zea mays</i>)	−2	4	−1
Set-aside (spring seed; legume grass mixture) (<i>Trifolium pratense</i> , <i>Medicago sativa</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Festuca pratensis</i>)	0	4	−1
legume grass mixture (main year; forage use or set aside)	0	−2	−1
Cropping measures			
Non-inversion tillage	3	−1	2
Mechanical weed control for reduction of perennials ^b	−4	0	−1
Cover crops (stubble seed)	−1	0	−1
Legume grass undersown in cereals (cover or main crop)	1	0	−1
Undersown grass in grain legumes	0	−1	−1

Source: estimates based on expert interviews and results from field trials and farm investigations.

^a From −4 up to 4; negative values indicate a reduction and positive values an increase in infestation risk.

^b 1 × cultivator, 2 × disk harrow, 1 × mouldboard plough with jointers as stubble tillage.



Webbasiertes Nährstoffmanagementsystem

Moderne Nutzeroberfläche, GIS-basierte Flächendarstellung (Luthardt et al. 2019)



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

Schläge

Schlagauswahl

Filter nach Feldstück | Schlag...

Filter

Feldstück | Schlag: Lager rechts/links

Feldblock: Flk: DEBYLI8461000077

Feldstück:

Feldstück | Schlag: Tummelfeld

Feldblock: Flk: DEBYLI8483000239

Feldstück:

Feldstück | Schlag: Ochsenfeld

Feldblock: Flk: DEBYLI8483000238

Feldstück:

Feldstück | Schlag: Moosacker

Lager rechts/links

+ Neu

Bearbeiten

Zuordnung

Name Lager rechts/links

Feldblock

Feldstück

Schlag Lager rechts/links

Flk DEBYLI8461000077

Bodeninformationen



Webbasiertes Nährstoffmanagementsystem (webBESyD)

Modularer Aufbau – Komponenten

