



Research Institute of Organic Agriculture
Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Institut de recherche de l'agriculture biologique



35 Jahre Biolandbau: Erträge, Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt (Teil 1)

**Paul Mäder, Andreas Fliessbach, Lukas Pfiffner, Isabell
Hildermann, Colin Skinner, Andreas Gattinger**

Paul Mäder (paul.maeder@fibl.org)



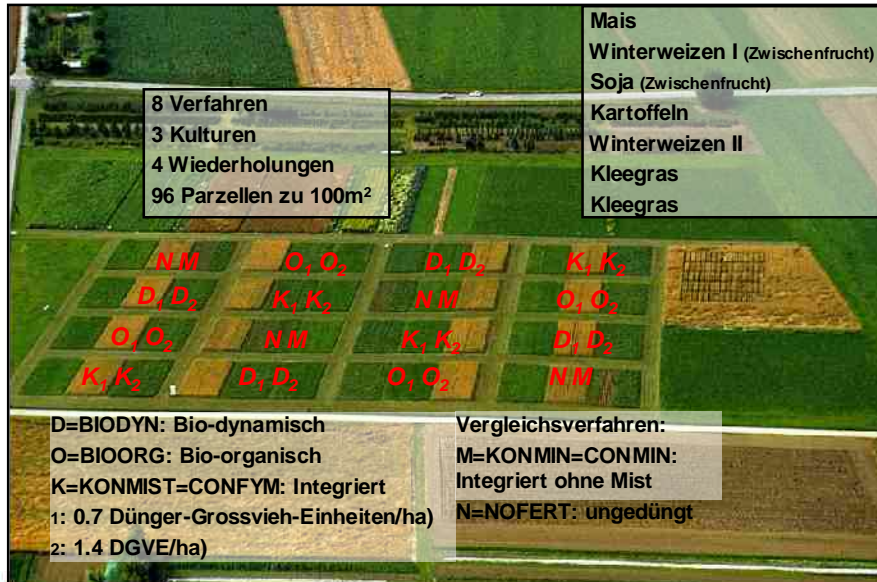
Hintergrund

- › **Biologische Anbausysteme ...**
 - › fördern Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität
 - › Mäder et al., 2002, *Science* 296
 - › Gattinger et al., 2012, *PNAS* 109
 - › Hole et al., 2005, *Biological Conservation* 122
 - › Erzeugen unter gemässigten Klimabedingungen weniger Ertrag
 - › Seufert et al., 2012
- › **Anbausysteme reagieren oft langsam auf Bewirtschaftungsänderungen**
- › **Daten aus Langzeitversuchen**

FiBL's Feldversuche

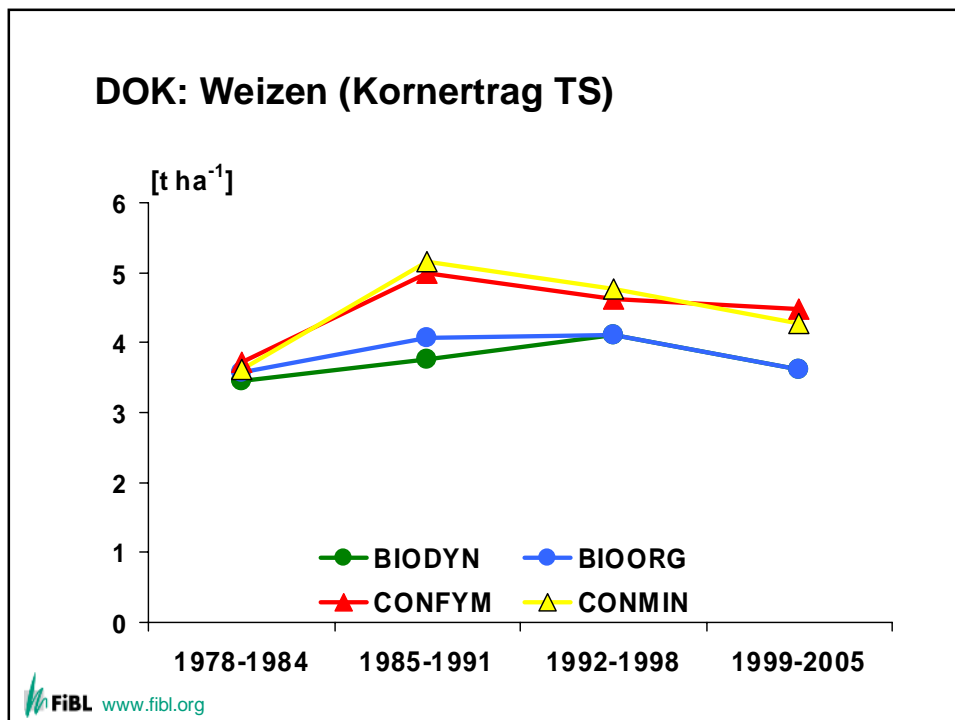
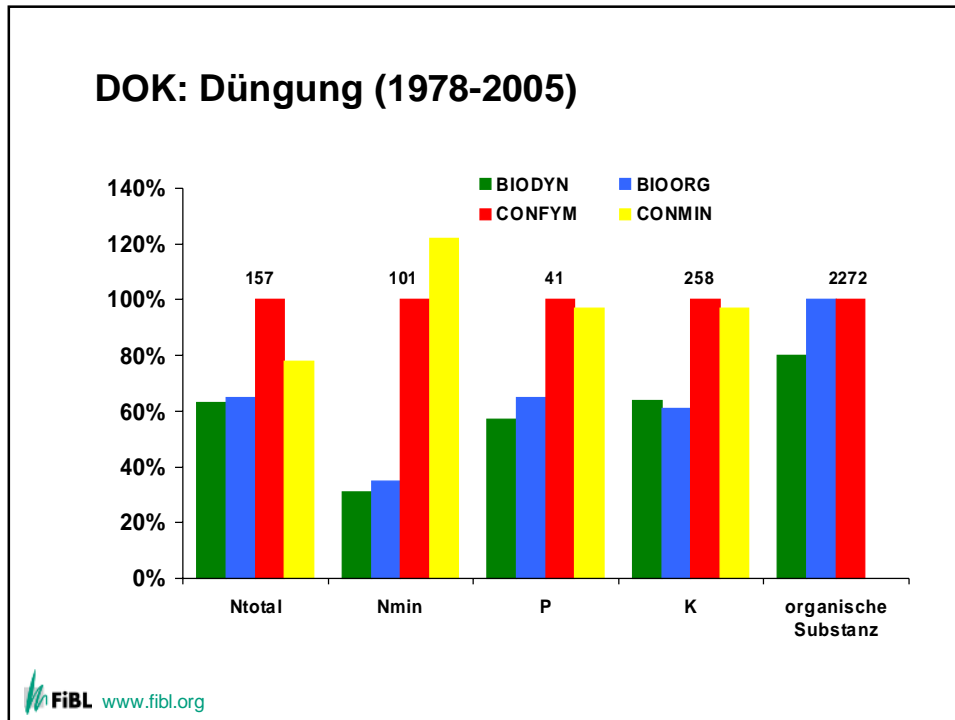
- › **DOK System-Vergleichsversuch (1978)**
 - › **D: bio-dynamisch, O: bio-organisch, K: integriert**
- › **Reduzierte Bodenbearbeitung unter Biobedingungen**
 - › Frick Versuch (2002) (Pflug 15 cm vs. Stoppelhobel 5 cm) zusätzlich: Mistkompost vs. Gülle, biodyn. Präparate
 - › Aesch Versuch (2010) (Pflug 15 cm vs. Stoppelhobel 5 cm) zusätzlich: organische vs. mineralische Düngung, Sorten
 - › Juchowo Versuch (2011) (Vergleich wendender Bodenbearbeitung mit 4 nicht-wendenden Verfahren)
 - › TILMAN-ORG ein EU-Netzwerk zu reduzierter Bodenbearb.
- › **System-Vergleichsversuche**
 - › Indien 2007: Bio, Biodyn, Konv und GMO
 - › Kenia 2007: Bio und Konv auf 2 Intensitätsstufen
 - › Bolivien: Kakao im Agroforst, Bio, Konv, «full sun»
 - › Mali: Diversifizierte Fruchtfolgen im Baumwollanbau

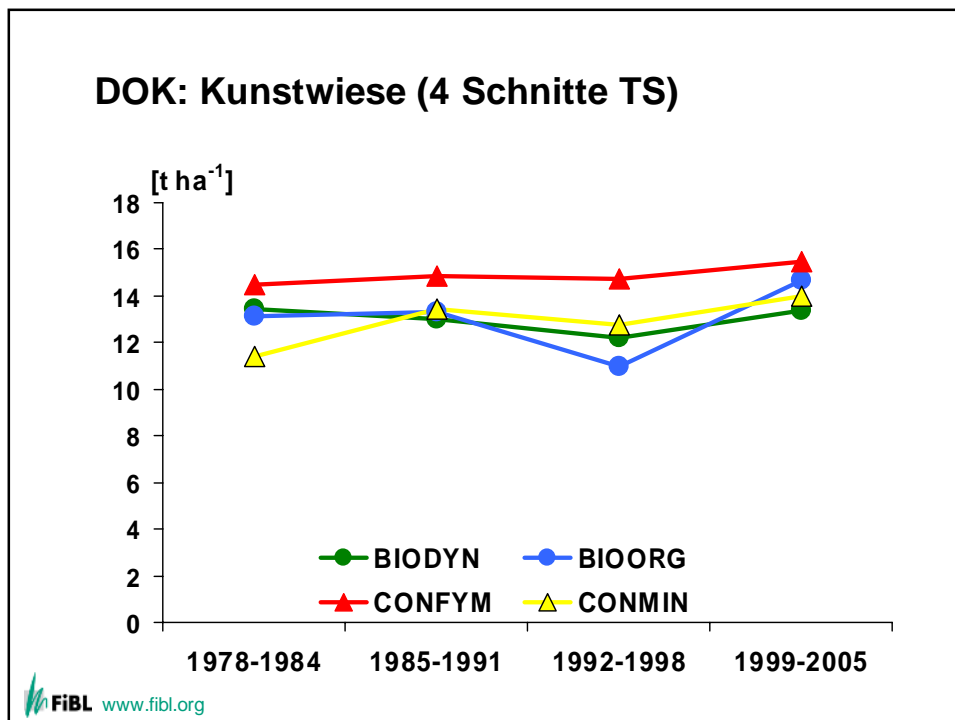
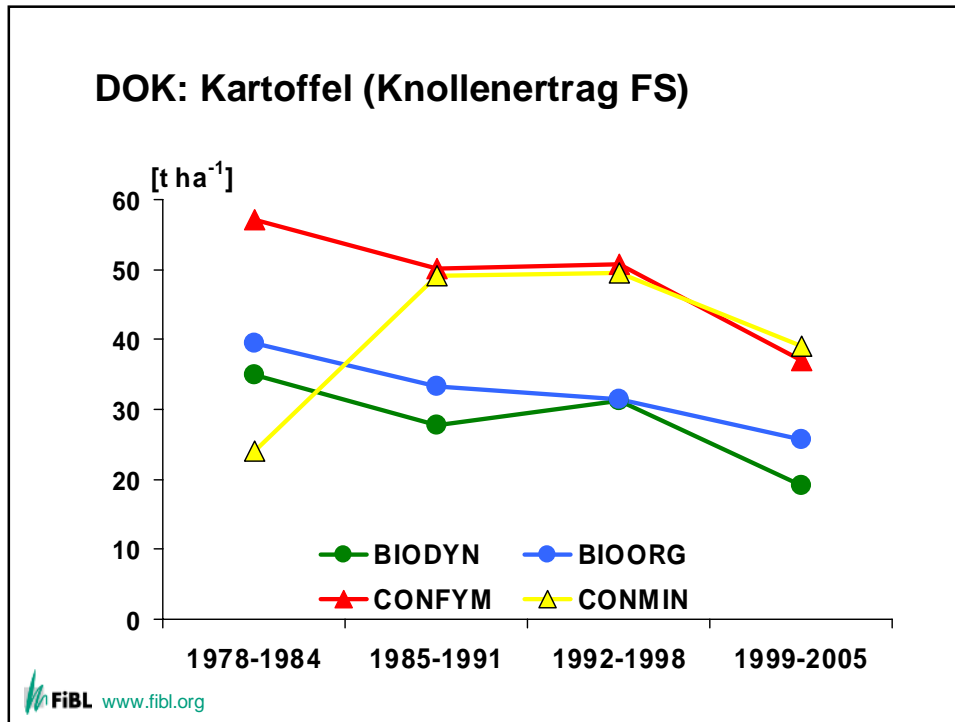
Der DOK-Systemvergleichsversuch (seit 1978)



DOK Versuch – die Anbausysteme

Biologisch		integriert (konventionell)	
N bio-Dynamisch	bio-Organisch	Konventionell	Mineralisch
Mistkompost und Gülle	Rottemist und Gülle Steinmehl	Stapelmist und Gülle NPK	Mineraldünger NPK
Mechanische Unkrautkontrolle Indirekte Methoden Biocontrol		Herbizide (thresholds) Fungizide (thresholds) Insektizide (thresholds)	
Biodynamische Präparate	Kupfer- Sulfat	Wachstumsregulatoren	





DOK Versuch: Fruchtfolge

4. Fruchtfolgeperiode

- › **Kartoffeln**
- › Winterweizen 1 (Gründung)
- › Soja (Gründung)
- › **Silomais**
- › Winterweizen 2
- › Klee gras 1
- › Klee gras 2

5. Fruchtfolgeperiode

- › **Silomais**
- › Winterweizen 1 (Gründung)
- › Soja (Gründung)
- › **Kartoffeln**
- › Winterweizen 2
- › Klee gras 1
- › Klee gras 2

Düngung zu Silomais und Soja (kg/ha/Jahr) (Ø 6 Jahre)

	BIODYN	BIOORG	KONMIST	KONMIN
Mais				
Ntotal	149	183	281	115
Nmin (NO ₃ +NH ₄)	28	29	145	115
P	38	52	40	43
K	304	355	252	279
Soja				
Ntotal	0	0	35	30
Nmin	0	0	28	30
P	0	0	22	25
K	0	33	157	105

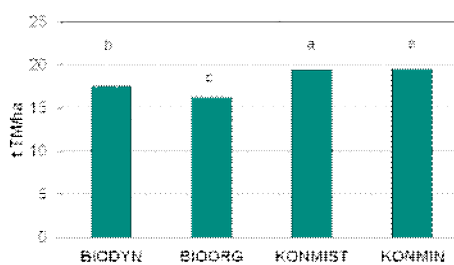
Bodeneigenschaften Beginn 4./5. Fruchtfolge

	BIO DYN	BIO ORG	KON MIST	KON MIN
1999				
Beginn 4. FFP				
pH (H ₂ O)	6.73	6.39	6.27	6.02
Corg	1.56	1.31	1.26	1.26
P ₂ O ₅ * (mg/100g)	0.34	0.30	0.34	0.20
K ₂ O* (mg/100g)	1.26	1.09	1.36	1.00
2006				
Beginn 5. FFP				
pH (H ₂ O)	6.75	6.40	6.26	6.60
Corg	1.45	1.26	1.19	1.14
P ₂ O ₅ * (mg/100g)	0.23	0.20	0.30	0.22
K ₂ O* (mg/100g)	1.18	1.34	1.10	1.12

Mittlere Erträge Silomais (4./5. FFP) (Ø 3 Jahre)

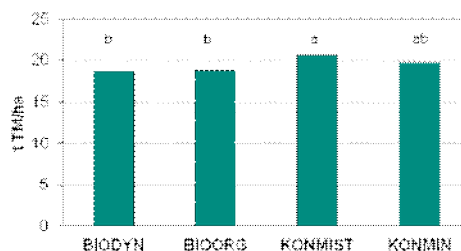


4. FFP



Vorfrucht Soja

5. FFP

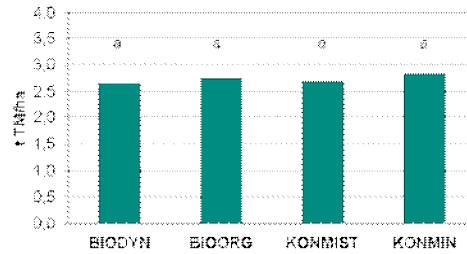


Vorfrucht Klee gras

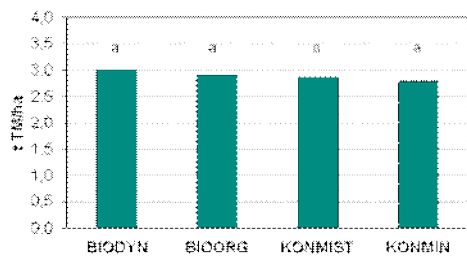
Mittlere Erträge Soja (4./5. FFP) (Ø 3 Jahre)



4. FFP



5. FFP



N₂-Fixierung der Sojabohne im DOK Versuch

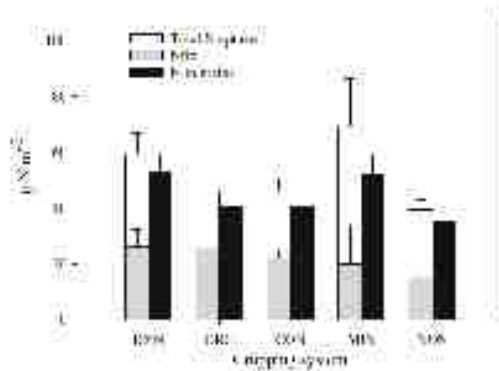
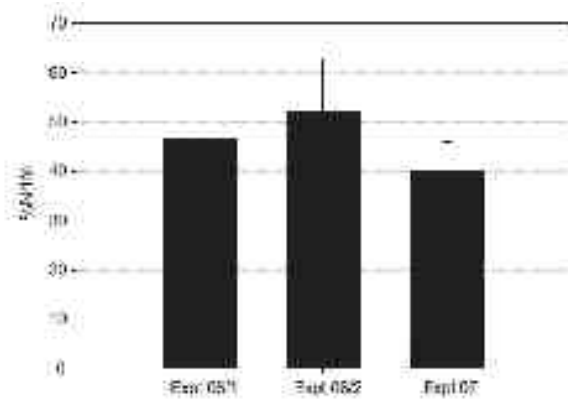


Fig. 4 Quantities of symbiotically fixed N₂ (N₂fix) in shoot and root, total N uptake and N contained in grains of mature soybean grown in organic (DYN, ORG) and conventional (CON, MIN) cropping systems or on a control that was not fertilized for 27 years (NON). Error bars indicate standard error of the mean.

N-Fixierung Nordosten Österreich

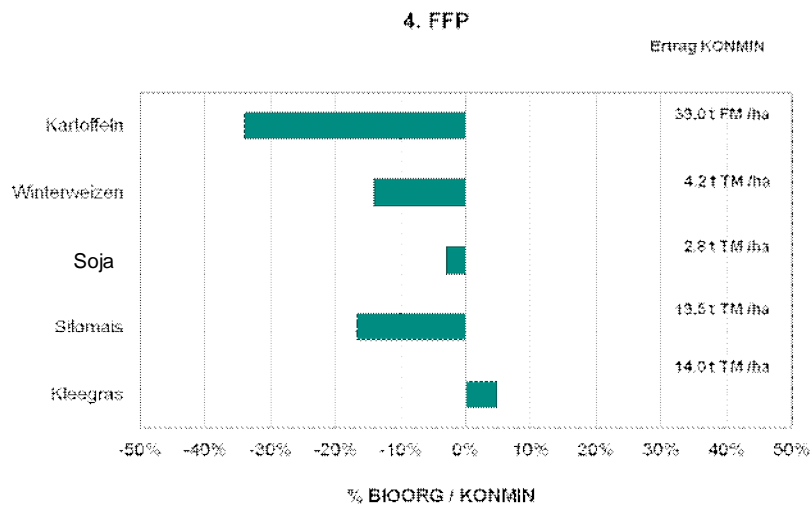


Die biologische N-Fixierung von Soja im nordöstlichen Österreich liegt zwischen rund 40 und 50% (3 Versuche)

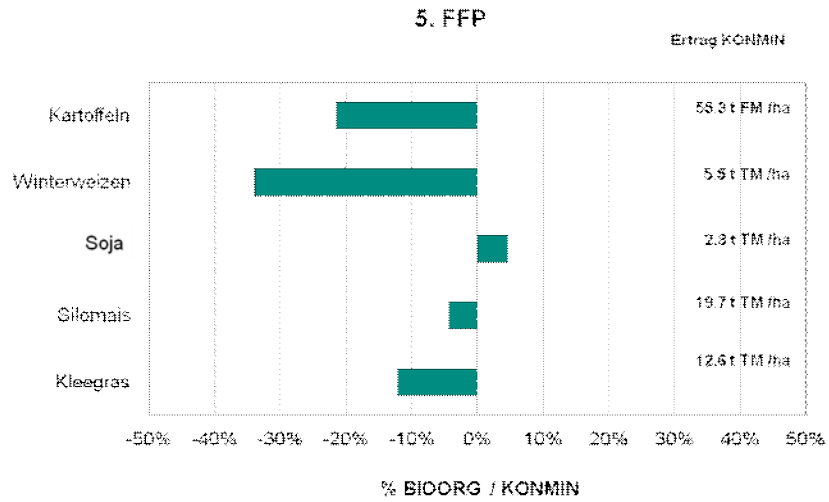
Ndfa = N derived from atmosphere = biologische N₂ Fixierung
 NA = Natural abundance method

Fig. 7. The relative contribution of synthetic N₂ (acetylene-derived N uptake (N₂DFU)) of 15N to total N uptake (N₂DFU + N₂DFU) determined by the NA method in the three experiments. The contribution of synthetic N₂ uptake to the total N uptake (N₂DFU + N₂DFU) is indicated by the bars.

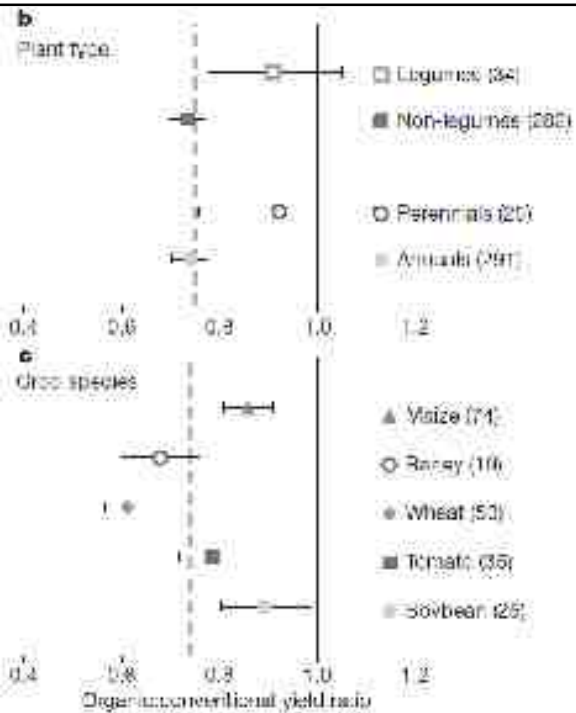
Relativerträge über alle Kulturen (4.FFP)



Relativerträge 5. FFP



Ertrag Bio versus Konventionell



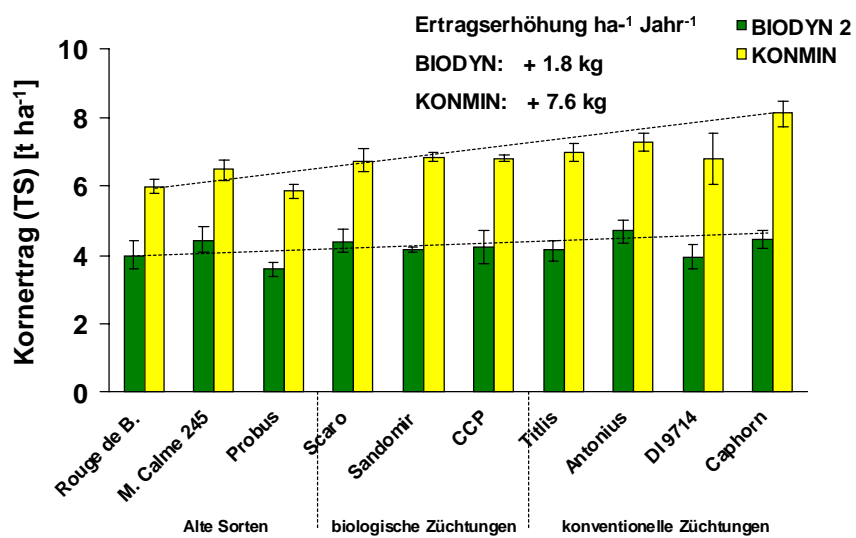
Seufert et al., 2012, Nature 485

Weizensortentest im DOK Experiment 07/09/10 (COST 860, NUE-CROPS)



FiBL www.fibl.org

Weizenertrag 2007



Fi

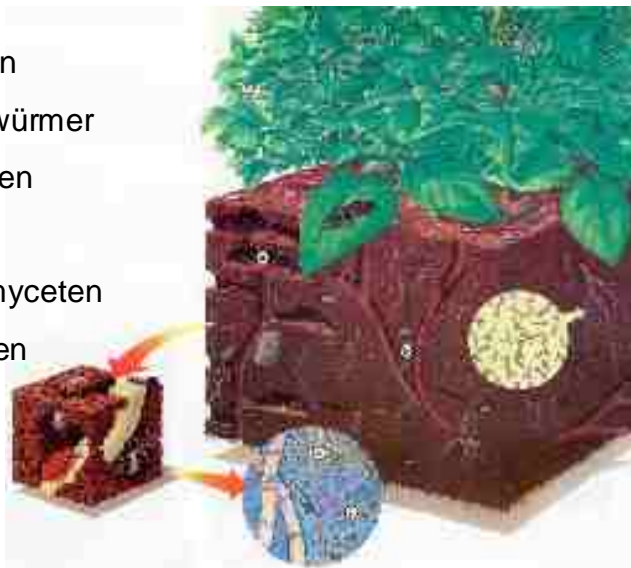
Hildermann et al, 2009

Fazit DOK Erträge

- › **Ertragsdifferenzen im Durchschnitt aller Kulturen über 35 Jahre 20% (Bio<Kon)**
- › **Sojaerträge** waren im Mittel über 6 Anbaujahre (4. und 5. FFP) gleich hoch in biologischen und konventionellen Anbausystemen (2.8 t TM/ha).
- › Die biologischen Anbausysteme erzielten über 6 Jahre gegenüber den konventionellen Anbausystemen 11% geringere **Silomaisserträge** (17.5 t TM/ha versus 19.6 t TM/ha).
- › **Ertragsdifferenzen innerhalb** biologischer und innerhalb konventioneller **Anbausysteme** waren vernachlässigbar.
- › Die **jährlichen Ertragsschwankungen** waren in den biologischen Anbausystemen beim Mais grösser, bei Soja geringer als in den konventionellen Anbausystemen.

Boden – ein komplexes System

- a Ameisen
- b Regenwürmer
- c Rhizobien
- d Pilze
- e Actinomyceten
- f Bakterien



Bodeneigenschaften DOK nach 21 Jahren ...



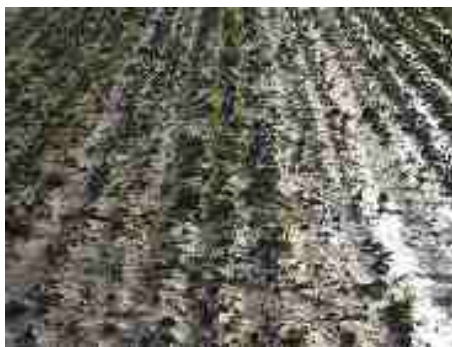
Biologisch-dynamisch



Mineralisch

Verschlämmung DOK-Versuch

Fotos: Fliessbach Nov. 2002



Mineralisch



Bio-dynamisch

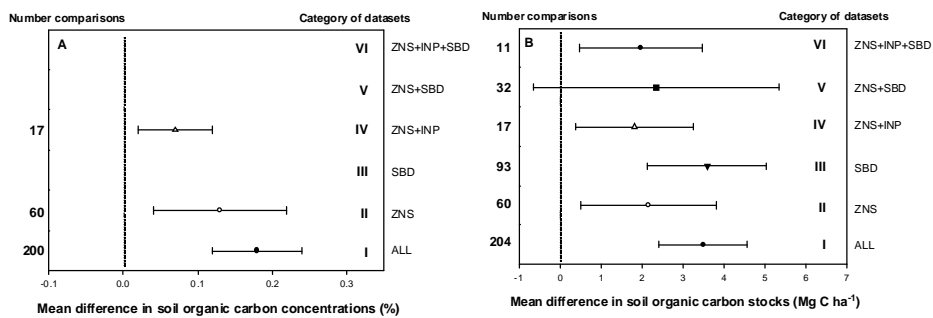
Meta-Studie I: Bodenkohlenstoff

Geographische Verteilung der Systemvergleichsstudien



74 Vergleichsstudien weltweit mit bis zu 211 Paarvergleichen

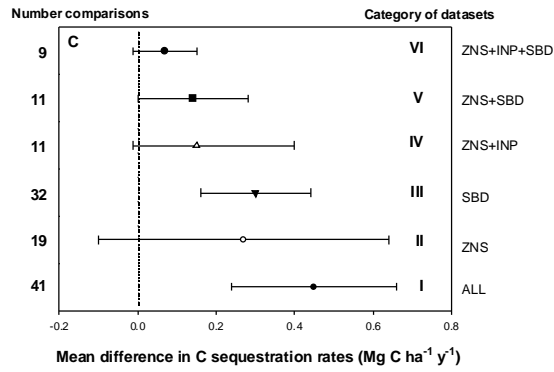
Mehr Kohlenstoff in biolog. bewirtschafteten Böden?



Höhere Kohlenstoffkonzentration ($0,18 \pm 0,06$ %-Punkte Corg) und -vorräte ($3,50 \pm 1,08$ t Corg ha⁻¹) im Oberboden (0-20 cm) unter organischer Bewirtschaftung.



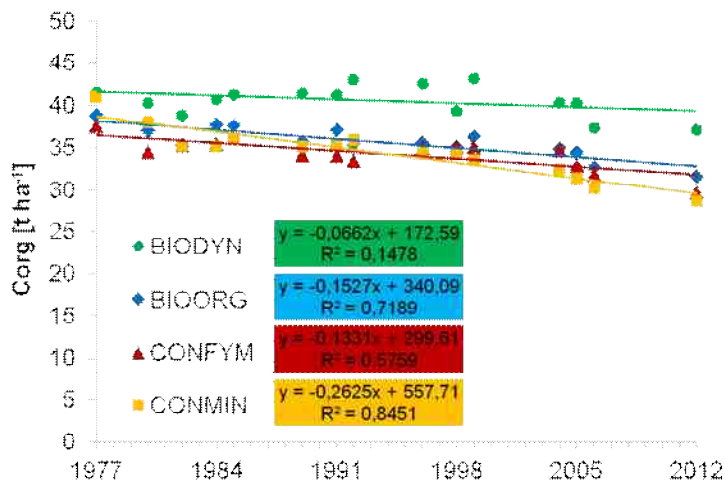
Ist Kohlenstoffspeicherung im organischen Landbau möglich?



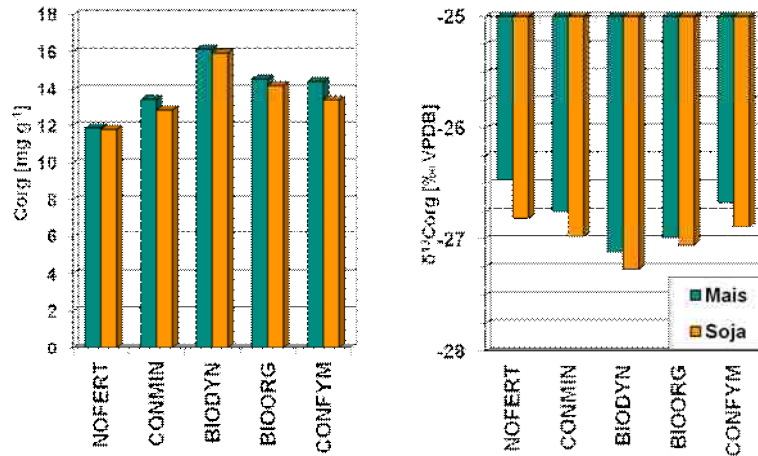
Ja, es ist möglich. Netto-Sequestrierung von 450 kg C ha⁻¹ y⁻¹ für alle organ. bewirtschaftete Böden; das Potential ist niedriger unter „zero net input systems“ (≤ 1.0 GVE ha⁻¹): 70 – 270 kg C ha⁻¹ y⁻¹.



Verlauf der Menge an organischer Bodensubstanz (carbon stock)

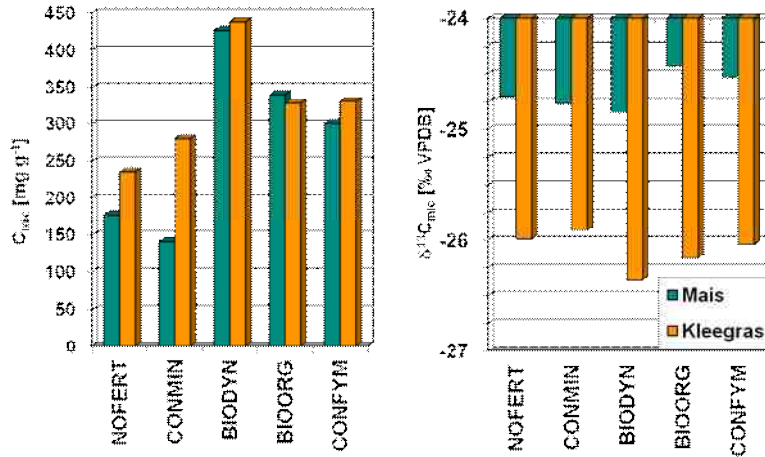


Organischer Kohlenstoff in den Verfahren des DOK-Versuchs unter Mais und Soja



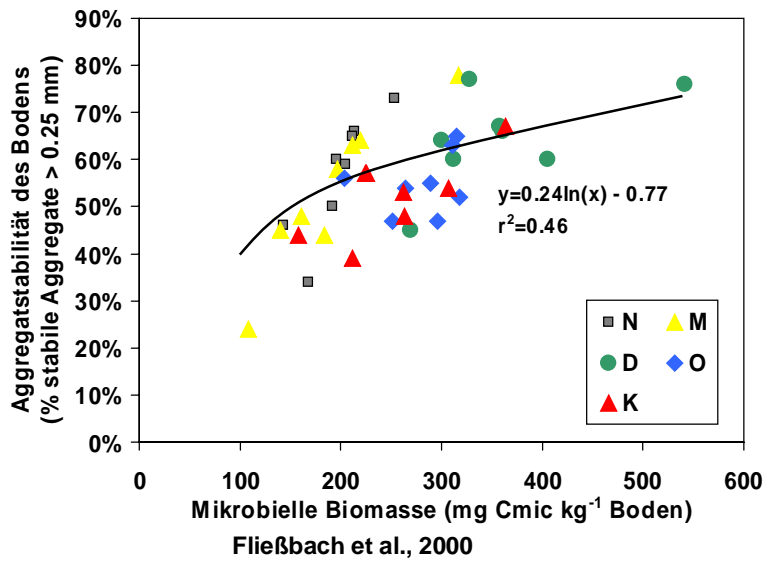
Bildquelle: Amt für Umwelt Kanton Solothurn

Mikrobielle Biomasse (C_{mic}) in den Verfahren des DOK-Versuchs unter Mais und Klee gras



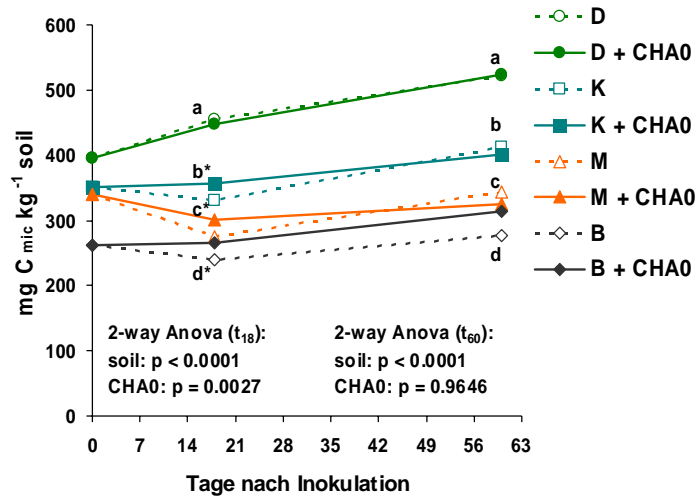
FiBL www.fibl.org Helmholtz Zentrum München
 Landbau Forschungszentrum für Ernährung und Umwelt

Mikroorganismen stabilisieren den Boden...



FiBL www.fibl.org

Wirkung von *P. fluorescens* CHA0 auf die mikrobielle Biomasse (Cmic)



Krankheitsbefall in DOK Böden

Befall von Ackerschmalwand mit falschem Mehltau in einem Topf-Versuch mit DOK-Böden

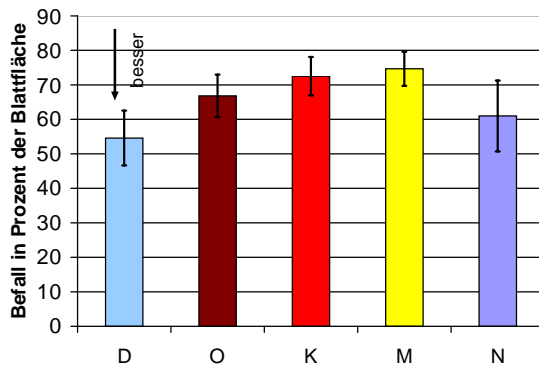


Foto: Barbara Thüring

Datenquelle: Diplomarbeit
Felix Weber, ETH, 2005

Regenwürmer fördern Bodenfruchtbarkeit



Ausscheidungsprodukt: wertvolle Regenwurmlosung

Regenwurmlosung

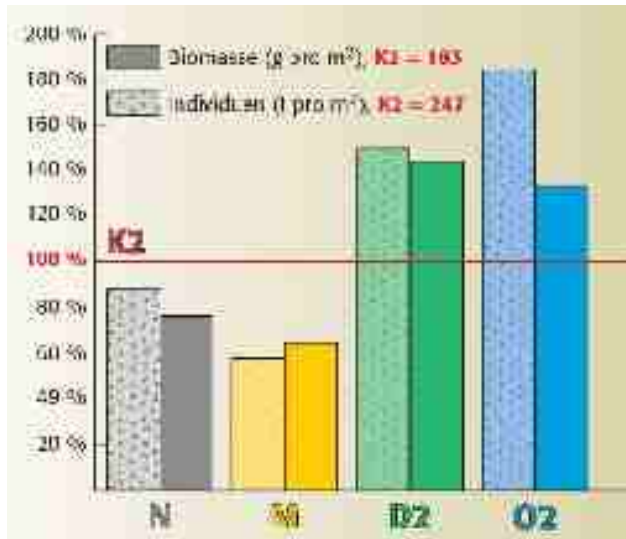
› Bis zu 40-100t/ha*Jahr *im* und *über* dem Boden abgelegt bzw. produziert

- › Sehr hoher Humusgehalt
- › pH neutral
- › Enthält 5 Mal mehr Stickstoff
- › 7 Mal mehr Phosphor
- › 11 Mal mehr Kalium als umgebende Bodenerde
- › Bindet Schadstoffe, Schwermetalle und Pestizide

→ **Wichtiger Kittstoff für fruchtbare Bodenkrümel, Grundlage für stabile Ton-Humus-Komplexe**



Biologischer Anbau fördert Regenwürmer



Anbauverfahren

N: Ungedüngt
 M: Konventionell
 K2: Integriert
 D2: bio-dynamisch
 O2: Organisch-biologisch

Bio

höhere Dichte
 höhere Biomasse
 und
 >> Vertikalgraber
 >> Juvenile
 >> Kokons

DOK-Langzeitversuch: Effekte unterschiedlicher Anbauverfahren auf Biomasse und Dichte der Regenwürmer. Mittelwert dreier Untersuchungsjahre (Piffner et al. 1993 & 1997).

Biologischer Anbau fördert Regenwürmer

→ 18 Studien Europa und USA

Anzahl Individuen			Anzahl Arten		
Bio besser	Kein Unterschied	Kon besser	Bio besser	Kein Unterschied	Kon besser
17	1	0	4	3	0

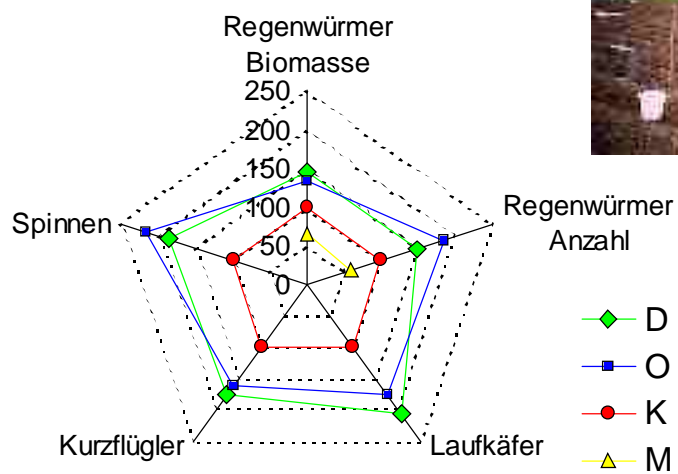


Nützliche Laufkäfer

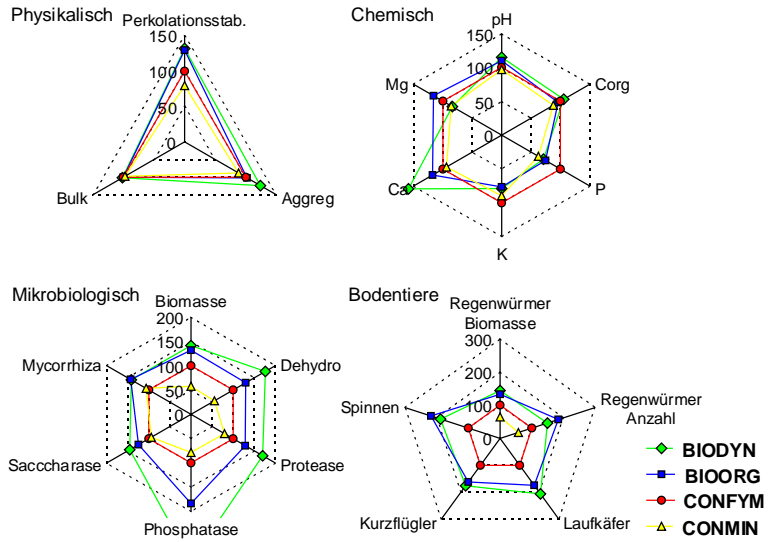


Carabus granulatus

Bodentiere im DOK-Versuch



Bodeneigenschaften im DOK-Versuch



Mykorrhiza-Funktion



Pflanze



Pilz

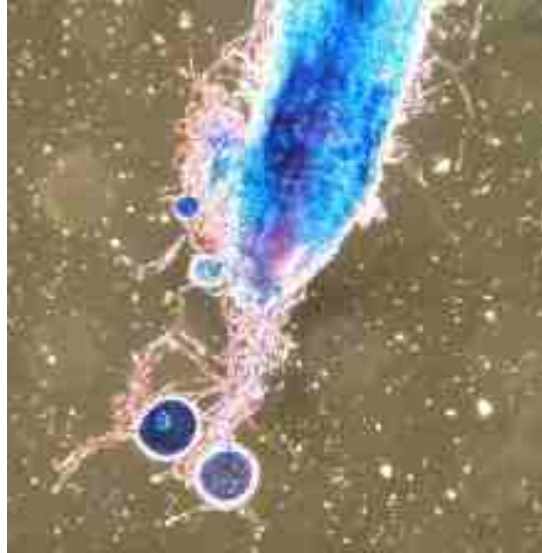


Kohlenhydrate
(Zucker)



mineralische
Nährsalze
(Phosphor, Stickstoff
etc.)

Wurzelsymbiosepilze: Mykorrhiza



Mykorrhiza traten in frühen Stadien der Landpflanzen auf

Vor 460 Millionen Jahren

Bryophyten ?

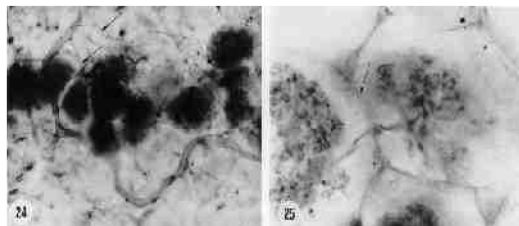


Vor 400 Millionen Jahren

Schachtelhalme,
Bärlappgewächse, Farne



Pilzliche Fossile

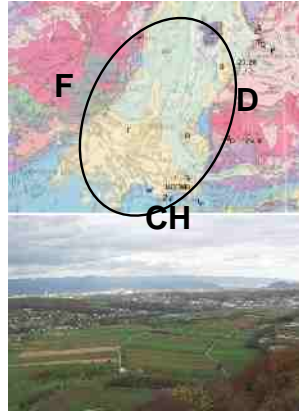


Einfluss der Landnutzung und der Nutzungsintensität auf AMF Gemeinschaften in Zentraleuropa

Region: Upper Rhine Valley,
Three country corner:
France-Germany-
Switzerland



Altitude: 250-400 m a.s.l.

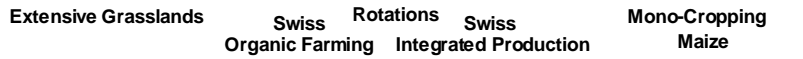


Geology: periglacial Loess
sediments (~12'000 years)

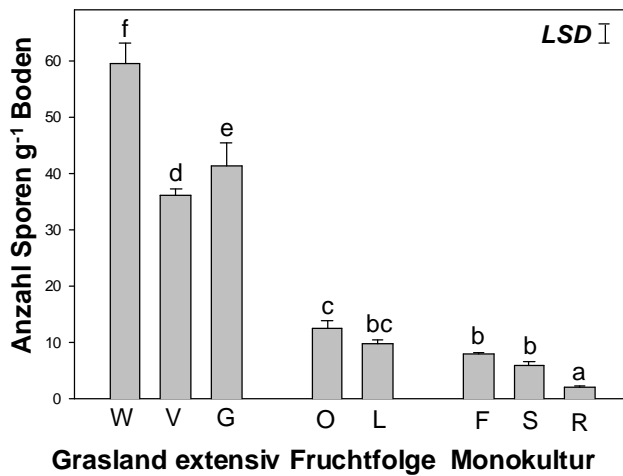


Soil types: Calcaric
Regosols, Haplic Luvisols

Land use intensity



AMF Sporendichte & -Vielfalt in landwirtschaftlich genutzten Böden auf Löss Sedimenten



Fruchtfolge fördert Mykorrhizapilze

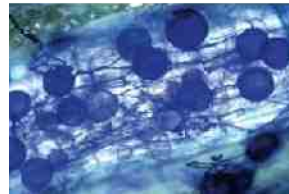
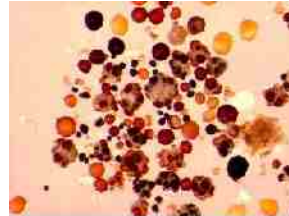
Mykorrhiza-Artenvielfalt (Anzahl Arten)

Grasland	Stao 1	26
	Stao 2	27
	Stao 3	26

Acker

Fruchtfolge	Org	26
	IP	18

Monokultur	Stao 1	13
	Stao 2	10
	Stao 3	8



Daten: Bot. Inst. Uni Basel

Oehl et al., 2003, AEM, 2816

Förderung der Mykorrhiza durch Bewirtschaftung

- › **Moderate Düngung, insbesondere in organischer Form**
- › **Reduzierte Bodenbearbeitung (kein tiefes Wenden mit dem Pflug), Verfahren ohne Bodenbearbeitung (No-till)**
- › **Verzicht auf Pestizide oder AM verträgliche Mittel**
- › **Fruchtfolge, Mischkultur**
- › **Gründungen die Wirtspflanzen sind (Methode Immergrün)**

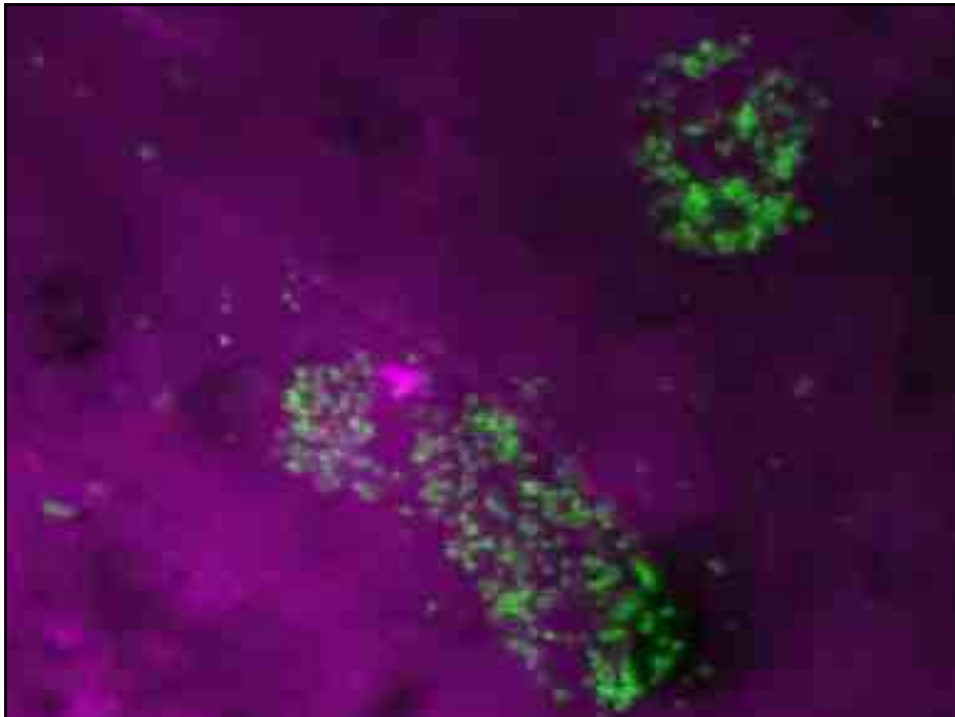
Hemmung der Mykorrhizapilze durch Bewirtschaftung

- › Hohe mineralische Düngung, hohe lösliche Nährstoffgehalte im Boden (insbesondere Phosphor)
- › Intensive Bodenbearbeitung (mechanische Störung des Hyphennetzes)
- › Einige Pestizide (z.B. Benomyl)
- › Pflanzung von Nichtwirten wie Raps, Futterrüben
- › Monokultur

Systemoptimierung Süden?

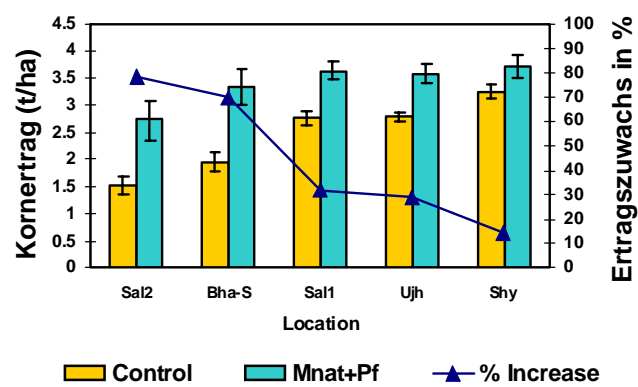


Begrannter Weizen





Weizenertrag an marginalen vs. produktiven Standorten (2006/07)



Control: Nicht geimpft

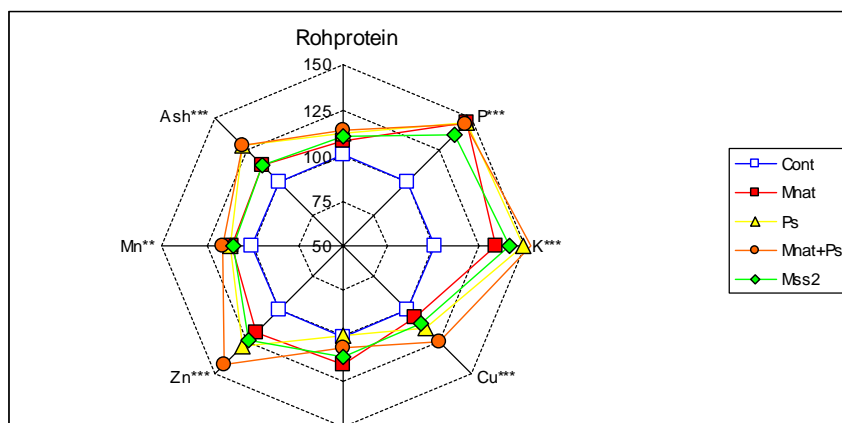
Mnat+Pf: Geimpft mit Mykorrhiza Konsortium und fluoreszierenden *Pseudomonaden* Stämmen R62 und R81

Düngung: 60 kg N/ha, 25 kg P₂O₅/ha

Weizen, Reis und Leguminosen sind Hauptkulturen in Indien



Nährstoffgehalte in Weizen nach Impfung



Cont = Kontrolle, Mnat = natürliches Mykorrhizakonsortium, Ps = fluoreszierende Pseudomonas Bakterien, Mss2 = kommerzialisierter Mykorrhizastamm

Treibhausgasmessungen im Schlag b: Winterweizen 2 (2013) – Kunstwiese 1 (2013)

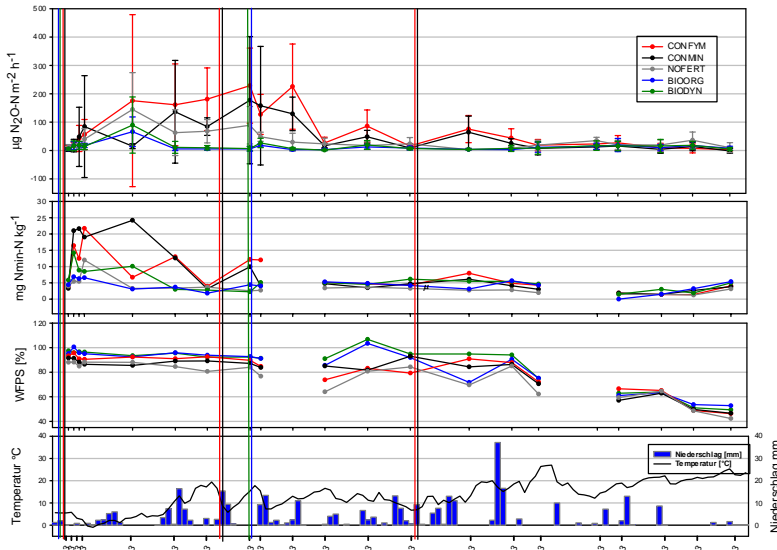
Mit Beginn der Vegetationsperiode, gleichzeitig mit der ersten Düngergabe wurde die Beprobung des Winterweizens am 21.3.2013 begonnen. Am 25.7.2013 wurde der Winterweizen geerntet. Nach Umbruch und Eggen wurde die Folgekultur Kunstwiese 1 am 15.8. angesät.

Der Winterweizen wurde bis und mit 23.7.2013 insgesamt 21 Mal in 18 Wochen beprobt. Die Arbeiten wurden durch Amanda Buol im Rahmen ihrer Masterarbeit an der Universität Basel unterstützt. Am 25.10.2013 erfolgte die 32. Gasbeprobung in Schlag b.



Übersicht verschiedener Aktivitäten bei Winterweizen im Schlag b des DOK-Versuchs: Gülleapplikation – Gasbeprobung – Ernte Winterweizen. (Photos: C.Skinner)

DOK-Versuch; Klimagasmessungen: Lachgasflüsse unter Winterweizen 2 (März bis Juli 2013)



Zeitlicher Verlauf der Lachgasflüsse unter Winterweizen 2 (März bis Juli 2013). (Von oben nach unten) Lachgasflüsse Fehlerbalken = Standardfehler), Nmin - Gehalte im Boden, WFPS (Water Filled Pore Space) sowie Niederschläge & Lufttemperatur im Zeitverlauf für die Verfahren BIODYN, BIOORG, CONFYM, CONMIN und NOFERT. Die vertikalen Linien (Farbgebung entsprechend Verfahrenslgende) markieren Düngertillegungen. (C.Skinner und A.Buol, unpubliert)

Meta-Studie II: Bodenbürtige Treibhausgase (Lachgas, Methan)



18 Vergleichsstudien weltweit mit bis zu 98 Paarvergleichen

Weniger N₂O aus biologisch bewirtschafteten Böden?

**Bezogen auf Fläche: ca. 0.5 t ha⁻¹ yr⁻¹ weniger CO₂ eq. in
Form von Lachgas unter biologischer Bewirtschaftung**

DOK-Versuch Ausgewählte Resultate im Überblick

	Bio		Integriert
› Ertrag Winterweizen	4.7 t/ha	- 15%	5.6 t/ha
› Düngermenge (NH ₄ NO ₃ Äquivalent)	122 kg/ha	- 60%	360 kg/ha
› Energie (Diesel Äquivalent)	340 l/ha	- 30%	570 l/ha
› Pflanzenschutz (Aktivsubstanz)	0-200 g/ha	- 97%	6.0 kg/ha
› Bodenfruchtbarkeit (Cmic)	40 t/ha	+ 60%	24 t/ha

Schlussfolgerungen

- › Ernteerträge waren durchschnittlich 20% geringer in den Biosystemen – allerdings mit 34-53% geringerem Düngereinsatz und 95% weniger Pestiziden.
- › Die erhöhte Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität in den Bioverfahren ermöglicht eine grössere Unabhängigkeit von externen Hilfsstoffen und Düngern.
- › Kombinierte Pflanzen- und Tierproduktion mit moderater Düngung auf Basis von Mist und besonders Kompost kann atmosphärisches CO₂ im Boden binden und so helfen den Klimawandel zu mildern.

