

## Ökologischer und konventioneller Landbau im Vergleich: Energieeffizienz

Chmelíková, L.<sup>1</sup> & Hülsbergen, K.-J.<sup>1</sup>

*Keywords: Energiebilanz, Energieinput, Energieoutput*

*Abstract: One goal of sustainable agriculture is to use fossil fuel energy more efficiently. Organic farming is often considered as contributing to reduced fossil energy input and greenhouse gas emissions. Results described in the current scientific literature depend on the focus of the studies, with studies often looking at different products and production intensities, and using different system definitions. In this study the effect of farming systems (organic and conventional) on energy-use efficiency and associated parameters was analysed at three levels – 1) crop (wheat), 2) crop rotation, 3) farm. Data from recent literature (field experiments) was used for the evaluation at the crop rotation and crop levels; data from farms was used for the analysis at the farm level. In 93% of the comparisons organic farming showed lower fossil energy input at the crop rotation level and in 96% of the comparisons at the crop level. At the farm level, 100% of the organic farms had lower energy input than the conventional farms. The yields in organic farming were always lower than in conventional farming. Energy-use efficiency (EUE) differed between the three levels. At the farm level EUE of organic farms was higher in 71% of the comparisons. At the crop rotation level organic EUE was higher in 51% and at the crop level in 57% of the comparisons. Our results suggest that the assessment level and consideration of the whole system are important for the comparison of organic and conventional systems.*

### Einleitung und Zielsetzung

Die Steigerung der Ressourceneffizienz landwirtschaftlicher Produktionssysteme ist eine der größten globalen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Angesichts begrenzter Ressourcen, des wachsenden Bedarfs an Nahrungsmitteln und Biomasse sowie der zu erwartenden negativen Effekte des Klimawandels, kommt der Ressourceneffizienz zentrale Bedeutung zu (Godfray et al. 2010). Wichtige Indikatoren für die Ressourceneffizienz landwirtschaftlicher Systeme sind die Energie- und Stickstoffeffizienz. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Energieeffizienz. Ergebnisse zur Stickstoffeffizienz werden bei Chmelíková & Hülsbergen (2018) mitgeteilt. Zur Energieeffizienz landwirtschaftlicher Produktionssysteme liegen zahlreiche Studien vor, die sich aber hinsichtlich der Methodik (Systemgrenzen, einbezogene Stoff- und Energieflüsse, Modellparameter und Algorithmen) zum Teil erheblich unterscheiden. Die Untersuchungen stehen oft im regionalen Kontext (spezifische Standortbedingungen, regional angepasste

---

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Str. 2, 85354, Freising, [lucie.chmelikova@mytum.de](mailto: lucie.chmelikova@mytum.de), [www.wzw.tum.de/oekolandbau](http://www.wzw.tum.de/oekolandbau)

Produktionsverfahren und –intensitäten). Eine systematische Auswertung der aktuellen wissenschaftlichen Literatur und ein darauf basierender Vergleich der Energieeffizienz ökologischer und konventioneller Pflanzenbausysteme liegen bisher noch nicht vor. Die vorliegende Analyse soll dies auf Grundlage von Datensätzen aus wissenschaftlichen Untersuchungen leisten. Neben verfügbaren Studien aus Feldexperimenten (Literaturanalyse) werden eigene Datensätze aus dem Projekt Pilotbetriebe, die nach exakt gleicher Methodik (Energiebilanzierung mit dem Modell REPRO (Hülsbergen & Rahmann 2013)) erstellt wurden, ausgewertet. Um die Vergleichbarkeit der Daten zu sichern, wurden nur Studien einbezogen, die Pflanzenbausysteme (a) auf der Ebene von Fruchtfolgen, (b) auf der Ebene einer Fruchtart (Weizen) oder (c) auf der Ebene des Pflanzenbaus (Ackerland und Grünland eines Betriebes) analysieren. Diese Studie wurde im Rahmen der vom BÖLN geförderten Studie „Leistungen der ökologischen Landwirtschaft für Umwelt und Gesellschaft“ (siehe Sanders et al. in diesem Tagungsband) durchgeführt.

## Methoden

Für die Untersuchungen der Energieeffizienz wurden Energieinput, Energieoutput und Energieeffizienz als Indikatoren ausgewählt. Diese Indikatoren wurden in Prozessanalysen ermittelt. Bei dieser Technik werden alle Inputs fossiler Energie in ein landwirtschaftliches System analysiert. Der Energieinput wurde als die Summe des direkten und indirekten Einsatzes fossiler Energie im Pflanzenbau berechnet. Direkter Energieinput stellt die Energie dar, die im Landwirtschaftsbetrieb zur Verrichtung von Arbeit eingesetzt wird (Kraftstoff, Elektroenergie). Indirekter Energieinput ist Energie, die im Vorleistungsbereich zur Herstellung von Betriebsmitteln (Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel, etc.) und Investitionsgütern (Geräte, Maschinen, Gebäude, etc.) eingesetzt wird. Als Energieoutput wurde der Bruttoenergiegehalt der geernteten Biomasse betrachtet. Die Energieeffizienz ist durch Verhältnis des Energieoutputs und Energieinputs definiert (Hülsbergen et al. 2001). Die allgemeine Methodik der UGÖ-Studie ist in Sanders et al. beschrieben.

## Ergebnisse

Für die Energieeffizienz im Pflanzenbau wurden 46 Studien für die Datenauswertung ausgewählt. Die Studien stammen aus 10 Ländern (10 Europa, 2 Nordamerika und 1 Neuseeland). Für die Auswertungen auf Ebene der Fruchtfolge wurden 30 bis 58 Paare (15 bis 27 Studien), auf Fruchtartenebene (Weizen) 25 bis 53 Paare (12 bis 25 Studien) genutzt. Zusätzlich zu den Daten aus der Literaturanalyse wurden Ergebnisse aus 62 ökologischen und konventionellen Pilotbetrieben (31 Paare) in die Datenauswertung einbezogen; diese Ergebnisse sind separat ausgewiesen.

In 100% der untersuchten Pilotbetriebe, 93% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtfolge bzw. 96% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtart Weizen lag der flächenbezogene Input fossiler Energie im ökologischen Pflanzenbau unter dem konventionellen (Tabelle 1). Der Energieoutput war auf allen drei untersuchten Sys-

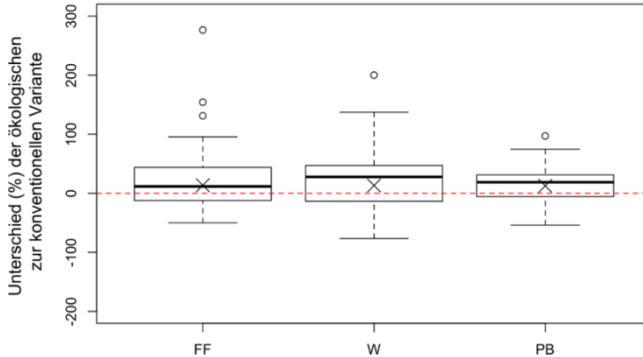
**Tabelle 1: Prozentuelle Aufteilung der Vergleichspaare (VGP) aus den Experimentalstudien in die Gruppen >/</= bezogen auf Hektar (ha) zum Themengebiet Energieeffizienz, analysiert auf unterschiedlichen Systemebenen**

	Systemebene	Anteil (%) der VGP, für die gilt:		
		öko < kon	öko = kon	öko > kon
Energieinput	Fruchtfolge	93	3	3
	Weizen	96	2	2
	Pilotbetriebe	100	0	0
Energieoutput	Fruchtfolge	87	10	3
	Weizen	84	16	0
	Pilotbetriebe	100	0	0
Energieeffizienz	Fruchtfolge	26	24	50
	Weizen	21	21	57
	Pilotbetriebe	19	10	71

temebenen im ökologischen niedriger als im konventionellen Pflanzenbau. Ursachen sind die systembedingt geringeren Erträge im Ökolandbau, gravierende Unterschiede in der Anbaustruktur (z. B. Anbau von Körnerleguminosen und Dinkel anstelle von Intensiv-Kulturen wie Mais und Zuckerrüben) sowie Klee-gras-Mulchsysteme ohne Biomassernte. In 100% der untersuchten Pilotbetriebe, 87% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtfolge bzw. 84% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtart Weizen lag der flächenbezogene Energieoutput im ökologischen Pflanzenbau unter dem des konventionellen. Die Energieeffizienz des ökologischen Pflanzenbaus (Fruchtfolge, Weizen, Pilotbetriebe) übertrifft die Energieeffizienz der konventionellen Vergleichssysteme (Abbildung 1). In 71% der untersuchten Pilotbetriebe, 50% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtfolge bzw. 57% der Vergleichspaare auf Ebene der Fruchtart Weizen lag die Energieeffizienz im ökologischen über der des konventionellen Pflanzenbaus.

## Diskussion

Zur Energieeffizienz wurden die Indikatoren Energieinput, Energieoutput und Energieeffizienz untersucht und bewertet. Energieinput und Energieoutput im ökologischen Pflanzenbau waren deutlich niedriger als im konventionellen. Zu diesem Ergebnis kamen auch mehrere aktuelle Studien (Fess & Benedito 2018, Meemken & Qaim 2018). Die deutlich niedrigeren Energieinputs des ökologischen Pflanzenbaus ergeben sich durch innerbetriebliche Prozesse (N<sub>2</sub>-Fixierung durch Leguminosen, Humusmanagement, Aufbau von Bodenfruchtfruchtbarkeit, Nährstoffmobilisierung und Nährstoffkreislauf). Dagegen stellt in konventionellen Systemen die Erzeugung von Mineraldüngerstickstoff häufig den bedeutendsten Energieinput dar. Die Energieeffizienz im ökologischen Landbau lag auf gleichem oder etwas höherem Niveau als in konventionellen Systemen.



**Abbildung 1: Relative Abweichung der Energieeffizienz im ökologischen von der im konventionellen Landbau, paarweiser Vergleich; Datengrundlage: Studien auf der Ebene von Fruchtfolgen (FF) (n = 42), Daten aus Studien auf der Ebene der Fruchtart Weizen (W) (n = 32), Daten aus dem Netzwerk der Pilotbetriebe (PB) auf Ebene des Betriebes (Ackerbau und Grünland) (n = 31). Nicht abgebildete Extremwerte FF: 376%; W: 300%, 237%**

Der ökologische und konventionelle Pflanzenbau wurde auf drei Systemebenen verglichen. Der Vergleich der Daten aus der Literaturstudie (Fruchtfolge, Weizen) zeigt eine große Variabilität der Ergebnisse. Ein Grund sind Versuche, in denen ökologische und konventionelle Systeme unter Bedingungen untersucht wurden, die nicht der Praxis dieser Systeme entsprechen, z. B. ökologische Fruchtfolgen unter konventionellen Bedingungen.

## Schlussfolgerungen

Durch die Reduzierung der Energieinputs und/oder die Steigerung der Erträge und der Energiebindung (z. B. Sorten mit höherem Ertragspotenzial, Fruchtfolgeoptimierung) sind Effizienzsteigerungen möglich. Die Energieeffizienz des ökologischen Pflanzenbaus (Fruchtfolge, Weizen, Pilotbetriebe) übertraf die Energieeffizienz des konventionellen Pflanzenbaus.

## Literatur

- Fess TL & Benedito VA (2018) Organic versus Conventional Cropping Sustainability: A Comparative System Analysis. *Sustainability* 10: 272.
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D et al. (2010) Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327: 812-818.
- Hülsbergen K-J, Feil B, Biermann S, Rathke G-W, Kalk W-D & Diepenbrock W (2001) A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agric. Ecosyst. Environ.* 86: 303-321.
- Hülsbergen K-J & Rahmann G (Hrsg.) (2013) Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme: Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann-Heinrich-von-Thünen-Inst. 383 p. (Thünen-Report; vol. 8).
- Meemken E-M & Qaim M (2018) Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 10: 4.1-4.25.