

Stephan Deike¹, Bernhard Pallutt¹, Olaf Christen²

Untersuchungen zur Energieeffizienz im Integrierten und Ökologischen Landbau am Beispiel eines Langzeitversuches auf einem lehmigen Sandboden

Investigations of the energy efficiency of integrated and organic farming in a long-term field trial on a loamy sand soil

259

Zusammenfassung

Im Mittel des betrachteten Zeitraums war der Verbrauch fossiler Energie im Ökologischen Landbau (ÖL) um mehr als ein Drittel niedriger als im Integrierten Landbau (IL). Dies ist vorrangig mit dem Verzicht auf den Einsatz von Mineraldüngern im „ÖL“ zu erklären. Der Pflanzenschutzmittel Einsatz übte einen geringen Einfluss auf den Energieinput des „IL“ aus. Infolge der Ausschaltung schaderreger bedingter Ertragsverluste wurde die Energieeffizienz hierdurch jedoch deutlich verbessert. Der Energiegewinn war in der Variante mit situationsbezogener Pflanzenschutzmittelanwendung (100% HF) signifikant höher als im „ÖL“, wobei im Winterweizen größere Unterschiede als im Winterroggen auftraten. Demzufolge kann der Winterroggen unter den gegebenen Standort- und Klimabedingungen als gut geeignet für den Anbau in ökologisch bewirtschafteten Anbausystemen angesehen werden.

Für die Energieintensität und das Output/Input-Verhältnis wurden im Gegensatz zum Energiegewinn häufig günstigere Werte im „ÖL“ im Vergleich zum „IL“ ermittelt. Hierbei waren die Unterschiede vor allem im Roggenanbau signifikant. Um eine aussagekräftige Beurteilung komplexer Anbausysteme im Hinblick auf deren Energieeffizienz vornehmen zu können, sind daher möglichst alle der drei genannten Energiebilanzindikatoren zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen zudem, dass Untersuchungen zur Energieeffizienz unterschiedlicher Anbausysteme möglichst auf Fruchtfolgeebene und unter Berücksichtigung der Langzeiteffekte von Bewirtschaftungsmaßnahmen erfolgen soll-

ten. Ferner zeigte sich, dass eine ausgewogene Fruchtfolgegestaltung sowie die Auswahl von gut an die Standortbedingungen und das Anbausystem angepassten Fruchtarten und Sorten von höchster Bedeutung für die Ertragsleistungen und die Energiebilanz des jeweiligen landwirtschaftlichen Systems sind.

Stichwörter: Energiebilanz, Integrierter Pflanzenschutz, Energieinput, fossiler Energieverbrauch, Energiegewinn, Langzeiteffekte

Abstract

On average of the period investigated, fossil energy use was lower by more than one third in organic farming (OF) compared with integrated farming (IF). This is predominantly due to not applying mineral fertilisers in OF while using in IF. The fossil energy consumption by using pesticides in IF was comparatively low. Moreover, due to smaller yield losses caused by weeds, diseases or pest infestation, energy efficiency was higher owing to pesticide use. Energy gain was significantly higher in the treatment with situation-related pesticide use (100% HF) compared with OF, whilst differences were greater in winter wheat cropping compared to winter rye cropping. Accordingly, winter rye is regarded to be an appropriate crop for organic farming systems under comparable climatic and site conditions.

Energy intensity as well as output/input ratio were predominantly better in OF compared with IF, while sig-

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Kleinmachnow¹

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät III, Professur Allgemeiner Pflanzenbau/Ökologischer Landbau²

Kontaktanschrift

Stephan Deike, Birkenwinkel 2, 39164 Stadt Wanzleben – Börde OT Dreileben, E-Mail: stephan_deike@web.de

Zur Veröffentlichung angenommen

Mai 2010

nificant differences were particularly found in winter rye cropping. In order to meaningfully assess complex cropping systems with respect to their energy efficiency, hence, all three energy balance indicators mentioned should be regarded. Furthermore, the results presented in this paper indicate that investigations on the energy efficiency of different cropping systems should only be proceeded on the level of the crop rotation by taking into account long-term effects of different husbandry. The given results show, moreover, that a balanced crop rotation and crops or varieties being well-adapted to the given site-conditions, are of utmost importance in regard to the yield potential or the energy balance of the respective cropping system.

Key words: Energy balance, integrated pest management, energy input, fossil energy use, energy gain, long-term effects

1 Einleitung

Die Umweltwirkungen der Landwirtschaft sind von wachsendem politischen und gesellschaftlichen Interesse. Vor allem der Verbrauch fossiler Energieträger ist infolge steigender Energiepreise und durch dessen negativen Einfluss auf das Klima im Blickpunkt. Insgesamt ist die Landwirtschaft für etwa 5% des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich (PINSTRUP-ANDERSEN, 1999). Folglich kann die Senkung des landwirtschaftlichen Energieverbrauchs als wesentliche Maßnahme zur Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes angesehen werden (TZILIVAKIS et al., 2005).

Obwohl der Einsatz von Mineräldüngern und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln eine Hauptquelle des Energieverbrauchs in der Pflanzenproduktion darstellt (WOOD et al., 2006), spielen diese Betriebsmittel eine wichtige Rolle in der Absicherung des standortspezifischen Ertragspotentials. Da Ackerland in vielen dicht bevölkerten Gebieten der Erde als limitierte Ressource

angesehen werden muss (HÜLSBERGEN et al., 2001) und aufgrund des weltweit steigenden Bedarfs an Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen, ist dieser Sachverhalt besonders zu berücksichtigen.

Die im Jahre 1995 angelegten Versuche am Standort Dahnsdorf (Fläming, Land Brandenburg), bei denen seit Versuchsbeginn Integrierter und Ökologischer Landbau gegenübergestellt sind, sollen daher genutzt werden, um die Energieeffizienz in unterschiedlichen Anbausystemen zu beurteilen. Hierbei ist von Vorteil, dass die Untersuchungen unter denselben Standort- und Klimabedingungen sowie innerhalb desselben zeitlichen Rahmens erfolgten. Zudem können anhand der Versuchsanstellung unterschiedliche Intensitätsstufen des chemischen Pflanzenschutzes im Hinblick auf die Energiebilanz des Pflanzenbaus verglichen werden.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

Der Standort Dahnsdorf liegt im Land Brandenburg und ist aus einer Endmoräne der Saale-Eiszeit mit späterer Überdeckung einer in Mächtigkeit und Zusammensetzung differenzierten Sandlöß-Schicht entstanden. Die ausführliche Standortbeschreibung ist dem Beitrag PAL-LUTT et al. in diesem Heft zu entnehmen.

2.2 Versuchsbeschreibung

Die Fruchtfolge im Ökologischen Landbau (ÖL) lautete: Luzerne/Klee/Gras – Luzerne/Klee/Gras – Winterweizen – Kartoffeln – Winterroggen – Wintergerste. Ab dem Erntejahr 2002 wurde die Wintergerste durch Sommergerste sowie seit 2005 ein Luzerne/Klee/Gras-Feld durch Winterraps ersetzt. Die Untersuchungen im Integrierten Landbau (IL) erfolgten anhand folgender Fruchtfolge: Winterraps – Wintergerste – Luzerne/Klee/Gras – Winterroggen – Silomais – Winterweizen. Ferner wurden situationsbezogen bemessene Aufwandmengen von Herbiziden und Fungiziden im Getreide bzw. von Herbiziden

Tab. 1. Energieäquivalente für eingesetzte Güter in der Pflanzenproduktion (zusammengefasst nach HÜLSBERGEN et al., 2001; verändert)

Inputgröße	Einheit	Energieäquivalent	Literaturquelle
Dieseldieselkraftstoff	MJ l ⁻¹	39,6	REINHARDT (1993)
Mineräldünger			
N	MJ kg ⁻¹	35,3	APPL (1997)
P ₂ O ₅	MJ kg ⁻¹	15,8	KALTSCHMITT und REINHARDT (1997)
K ₂ O	MJ kg ⁻¹	2,1	KALTSCHMITT und REINHARDT (1997)
Pflanzenschutzmittel			
Herbizide	MJ kg ⁻¹	288	GREEN (1987)
Fungizide	MJ kg ⁻¹	196	GREEN (1987)
Insektizide	MJ kg ⁻¹	237	GREEN (1987)
Maschinen	MJ kg ⁻¹	108	KALK und HÜLSBERGEN (1996)
Transport	MJ t ⁻¹ km ⁻¹	6,3	MÜLLER (1989)

und Insektiziden in Winterraps (bezeichnet als 100% HF) im Vergleich zu dazu halbierten Aufwandmengen (50% HF) geprüft. Im Versuchsabschnitt von 1997 bis 2001 wurde in der Variante „50% HF“ die mineralische N-Düngung in Getreide und Raps halbiert. Im zweiten Versuchsabschnitt von 2002 bis 2006 wurde die N-Düngung in beiden Varianten in gleicher Höhe bemessen.

2.3 Methodik der Energiebilanzierung

Die Methodik der Energiebilanzierung wurde ausführlich von HÜLSBERGEN et al. (2001) beschrieben. Die Kalkulation der Energiebilanzen erfolgt dabei unter Berücksichtigung des direkten Energieeinsatzes (Dieselkraftstoff) sowie des indirekten Energieinputs (Energieaufwand zur Produktion von Maschinen, Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln). Der indirekte Energieaufwand wird mithilfe von Energieäquivalenten berechnet (Tab. 1). Als Indikatoren der Energieeffizienz wurden der Energiegewinn (= Energieoutput minus Energieinput), die Energieintensität (= Energieinput je Getreideeinheit/GE) und das Output/Input-Verhältnis der Energie genutzt.

3 Ergebnisse

Im ersten Versuchsabschnitt von 1997 bis 2001 konnten im Winterroggen zwischen allen drei Prüfgliedern signifikante Unterschiede bezüglich des Energieinputs nachgewiesen werden (Tab. 2). Im Zeitraum von 2002 bis 2006 ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten des „IL“. Der Energieverbrauch betrug in diesem Abschnitt im „ÖL“ im Vergleich zum „IL“ nur etwas mehr als ein Drittel. Der Energiegewinn der Variante „100% HF“ war in beiden Versuchsabschnitten signifikant höher als im „ÖL“. Für beide Behandlungs-

stufen veränderte sich der jeweilige Energiegewinn von der ersten zur zweiten Untersuchungsperiode nicht wesentlich, währenddessen dieser bei „50% HF“ um ca. 16% zunahm. In Bezug auf die Energieintensität und das Output/Input-Verhältnis wurden über die gesamte Versuchszeit günstigere Werte für den „ÖL“ im Vergleich zu den Varianten des „IL“ ermittelt.

Die Unterschiede im Hinblick auf den Energieinput zwischen „IL“ und „ÖL“ waren im Winterweizenanbau geringer als im Winterroggen (Tab. 3). Im „ÖL“ wurden im Vergleich zur Behandlungsstufe „100% HF“ nur 48% (Zeitraum 1997–2001) bzw. 57% (2002–2006) der dort benötigten Energie eingesetzt. Indessen vergrößerten sich die Unterschiede bezüglich des Energiegewinns zwischen „IL“ und „ÖL“ vom ersten zum zweiten Versuchsabschnitt. Von 1997 bis 2001 waren die Energieintensität im „ÖL“ signifikant niedriger und das Output/Input-Verhältnis signifikant höher als in der Variante „100% HF“. Im Mittel der Jahre 2002 bis 2006 konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den geprüften Behandlungsstufen bezüglich Energieintensität und Output/Input-Verhältnis nachgewiesen werden.

Im Durchschnitt von 1997 bis 2006 wurden im „ÖL“ bezogen auf das gesamte Betriebssystem etwa 36% weniger fossile Energie innerhalb des Produktionsprozesses eingesetzt (Tab. 4). Im Gegensatz dazu war der mittlere Energiegewinn im ersten Versuchsabschnitt in der Variante „100% HF“ um 39% bzw. um 80% im zweiten Untersuchungszeitraum höher als im „ÖL“. Die Energieintensität war in der Periode von 1997 bis 2001 signifikant niedriger und das Output/Input-Verhältnis signifikant höher im „ÖL“ im Vergleich zur Variante „100% HF“, währenddessen im Durchschnitt des Zeitraums 2002 bis 2006 diesbezüglich keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern auftraten.

Tab. 2. Energiebilanzindikatoren für Winterroggen in Abhängigkeit von Anbausystem und Pflanzenschutzintensität (Zeitraum 1997-2006)

Maßzahl	Behandlungsstufe	Zeitraum	
		1997-2001 ²⁾	2002-2006 ²⁾
Energieinput (GJ ha ⁻¹)	100% HF	11,1 a	10,3 a
	50% HF	8,3 b	10,2 a
	ÖL	4,6 c	3,6 b
Energiegewinn ¹⁾ (GJ ha ⁻¹)	100% HF	215,9 a	220,9 a
	50% HF	181,6 ab	210,2 a
	ÖL	150,3 b	140,1 b
Energieintensität ¹⁾ (MJ GE ⁻¹)	100% HF	146,5 a	131,1 a
	50% HF	123,9 ab	137,7 a
	ÖL	102,2 b	89,0 b
Output/Input-Verhältnis ¹⁾	100% HF	20,9 b	23,3 b
	50% HF	23,7 b	22,7 b
	ÖL	34,8 a	44,1 a

¹⁾ Daten beziehen sich auf geerntete Biomasse.

²⁾ Mittelwerte in Spalten mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P_{\alpha} = 0,05$).

Tab. 3. Energiebilanzindikatoren für Winterweizen in Abhängigkeit von Anbausystem und Pflanzenschutzintensität (Zeitraum 1997–2006)

Maßzahl	Behandlungsstufe	Zeitraum	
		1997–2001 ²⁾	2002–2006 ²⁾
Energieinput (GJ ha ⁻¹)	100% HF	11,8 a	11,5 a
	50% HF	8,4 b	11,5 a
	ÖL	5,7 c	6,5 b
Energiegewinn ¹⁾ (GJ ha ⁻¹)	100% HF	182,3 a	187,0 a
	50% HF	166,8 a	178,3 a
	ÖL	124,0 b	97,1 b
Energieintensität ¹⁾ (MJ GE ⁻¹)	100% HF	162,2 a	158,7 a
	50% HF	125,0 b	170,5 a
	ÖL	134,0 ab	217,5 a
Output/Input-Verhältnis ¹⁾	100% HF	16,6 b	18,0 a
	50% HF	20,9 a	17,1 a
	ÖL	22,7 a	15,3 a

¹⁾ Daten beziehen sich auf geerntete Biomasse.

²⁾ Mittelwerte in Spalten mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P_{\alpha} = 0,05$).

Tab. 4. Energiebilanzindikatoren für den Ökologischen Landbau (ÖL) und Integrierten Landbau (IL) bei unterschiedlicher Pflanzenschutzintensität (Zeitraum 1997–2006)

Maßzahl	Behandlungsstufe	Zeitraum	
		1997–2001 ²⁾	2002–2006 ²⁾
Energieinput (GJ ha ⁻¹)	100% HF	12,9 a	12,4 a
	50% HF	10,6 b	12,3 a
	ÖL	8,2 c	8,0 b
Energiegewinn ¹⁾ (GJ ha ⁻¹)	100% HF	161,6 a	187,1 a
	50% HF	146,0 ab	179,8 a
	ÖL	116,1 b	103,9 b
Energieintensität ¹⁾ (MJ GE ⁻¹)	100% HF	247,9 a	199,6 a
	50% HF	241,2 ab	214,6 a
	ÖL	196,3 b	318,3 a
Output/Input-Verhältnis ¹⁾	100% HF	14,2 b	17,4 a
	50% HF	15,9 b	16,9 a
	ÖL	20,8 a	20,7 a

¹⁾ Daten beziehen sich bei allen Fruchtarten auf geerntete Biomasse.

²⁾ Mittelwerte in Spalten mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P_{\alpha} = 0,05$). Die statistische Auswertung erfolgte mit logarithmisch transformierten Werten (Daten nicht aufgeführt).

4 Diskussion

Der höhere Energieinput im „IL“ im Vergleich zum „ÖL“ ist vorrangig mit dem Einsatz von Mineraldüngern zu begründen. Vor allem mineralische N-Dünger sind aufgrund des hohen Energieaufwandes bei ihrer Herstellung von Bedeutung (JENSEN und KONGSHAUG, 2003). Der Einfluss der N-Düngung auf den Energieverbrauch wird bei der vergleichenden Betrachtung der Versuchsabschnitte 1997 bis 2001 bzw. 2002 bis 2006 deutlich. Sowohl bei

Winterroggen und Winterweizen als auch unter Einbeziehung aller Fruchtfolgefelder traten im ersten Teil des Versuchszeitraums signifikante Unterschiede zwischen den Varianten „100% HF“ und „50% HF“ auf. Nach Angleichung des N-Düngungsniveaus in den Jahren 2002 bis 2006 ergaben sich nur geringe Unterschiede bezüglich des fossilen Energieaufwandes zwischen den beiden Behandlungsstufen des „IL“. Dies weist auch auf die vergleichsweise geringen Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzenschutzintensität auf den Energieinput hin

und bestätigt Ergebnisse früherer Untersuchungen von UHLIN (1999), in denen der Anteil des Pflanzenschutzmitteleinsatzes am Gesamtenergieeinsatz als gering beschrieben wird. Die Ertragsverluste durch Unkräuter nahmen in der Variante „50% HF“ im Verlauf des Versuches zu. Dies ist mit der häufig unzureichenden Wirkung halbierteter Herbizidaufwandmengen gegen schwerer bekämpfbare Unkräuter wie *Apera spica-venti*, *Centaurea cyanus* oder *Matricaria* spp. und dem infolgedessen erhöhten Unkrautauflauf zu erklären (DEIKE et al., 2006a). Aufgrund der angeglichen N-Düngung in den Behandlungsstufen „100% HF“ und „50% HF“ wurden diese Effekte jedoch überlagert, so dass die Unterschiede im Energiegewinn zwischen beiden Varianten im Versuchsabschnitt von 2002 bis 2006 geringer waren als von 1997 bis 2001. DEIKE et al. (2006b) heben jedoch die erhebliche Verbesserung der Energieeffizienz durch die gezielte Ausschaltung schaderregerbedingter Ertragsverluste hervor.

Der Energiegewinn im „IL“ war im Winterroggen und im Winterweizen sowie unter Berücksichtigung der gesamten Fruchtfolge in der Regel deutlich höher als im „ÖL“. Dem hingegen waren die Werte für die Energieintensität und das Output/Input-Verhältnis im „ÖL“ häufig günstiger. HÜLSBERGEN et al. (2002) weisen dementsprechend auf den unterschiedlichen Aussagewert der verwendeten Energiebilanzindikatoren im Hinblick auf verschiedene Zielstellungen und Betrachtungsweisen hin. Dieser Sachverhalt ist vor allem beim Vergleich komplexer Anbausysteme zu beachten.

Der wesentliche Einfluss der Fruchtfolgegestaltung auf die Ertragsentwicklung und die Energiebilanz insbesondere in Low-Input-Systemen wird anhand der Betrachtung des Versuchsabschnittes von 2002 bis 2006 im „ÖL“ deutlich. Infolge der Substitution eines Luzerne/Klee/Gras-Feldes durch Winterrapss seit 2005 verringerte sich das N-Angebot für die Folgefrüchte aufgrund der fehlenden N₂-Fixierung. Dies ist vermutlich eine Ursache für die im Vergleich zum ersten Versuchszeitraum schlechtere Energiebilanz der direkten Winterrapss-Folgefrucht Winterweizen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Nährstoffentzüge durch den Winterrapss wegen einer starken Mäuseplage im Verlauf des Erntejahres 2005 bzw. aufgrund von Auswinterung in 2006 jeweils sehr gering waren. Darüber hinaus wurde angesichts des fehlenden Futteraufkommens durch die

Reduzierung des Luzerne/Klee/Gras-Anteils ein geringerer Rückfluss an Stallmist in das System angenommen, wodurch sich ebenfalls das Nährstoffangebot verringerte. Neben den geringen Winterrapserträgen ist somit das niedrigere Nährstoffangebot als Hauptursache für die Verschlechterung der Energieeffizienz des „ÖL“ im zweiten Versuchsabschnitt anzusehen.

Literatur

- APPL, M., 1997: Ammonia, methanol hydrogen, carbon monoxide – modern production technologies. London, CRU.
- DEIKE, S., B. PALLUTT, E. MOLL, O. CHRISTEN, 2006a: Effect of different weed control strategies on the nitrogen efficiency in cereal cropping systems. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XX*, 809-816.
- DEIKE, S., B. PALLUTT, O. CHRISTEN, 2006b: Bedeutung des chemischen Pflanzenschutzes beim Anbau von Pflanzen zur Energienutzung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **18**, 132-133.
- GREEN, M.B., 1987: Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: HELSEL, Z.R., (Ed.): *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Amsterdam, Elsevier, pp. 165-177.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. FEIL, S. BIERMANN, G.-W. RATHKE, W.D. KALK, W. DIEPENBROCK, 2001: A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **86**, 303-321.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. FEIL, W. DIEPENBROCK, 2002: Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. *Fields Crop Research* **77**, 61-76.
- JENSEN, T.K., G. KONGSHAUG, 2003: Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. York, The International Fertiliser Society (ifs), Proceedings No. 509.
- KALK, W.D., K.-J. HÜLSBERGEN, 1999: Dieselkraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion. *Landtechnik* **54** (6), 332-333.
- KALTSCHMITT, M., A. REINHARDT (Eds.), 1997: *Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung*. Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg Verlag.
- MÜLLER, M., 1989: *Technologische Prozesse in der Pflanzenproduktion*. Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- PINSTRUP-ANDERSEN, P., 1999: Towards Ecologically Sustainable World Food Production. UNEP Industry and Environment, United Nations Environment Program, Paris, vol. 22, pp. 10-13.
- REINHARDT, G.A., 1993: *Energie- und CO₂-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe: Theoretische Grundlagen und Fallstudie Raps*. Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg Verlag.
- TZILIVAKIS, J., D.J. WARNER, M. MAY, K.A. LEWIS, K. JAGGARD, 2005: An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems* **85**, 101-119.
- UHLIN, H.-E., 1999: Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **73**, 63-81.
- WOOD, R., M. LENZEN, C. DEY, S. LUNDIE, 2006: A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agricultural Systems* **89**, 324-348.