

# **Modell zur Energiebilanzierung der Milchviehhaltung - Anwendung in Pilotbetrieben**

Helmut Frank, Harald Schmid, Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme,  
Alte Akademie 12, 85354 Freising-Weihenstephan

## **Zusammenfassung**

Der Beitrag stellt ein Modell zur Energiebilanzierung der Milchviehhaltung vor, das in der Lage ist, Praxisbetriebe auf einzelbetrieblicher Ebene zu bilanzieren. Die Modellanwendung in ökologischen und konventionellen Betrieben zeigt, dass die ökologischen Betriebe im Mittel einen geringeren produktbezogenen Energieeinsatz je kg Milch aufweisen als die konventionellen Betriebe. Die größten Energieinputs sind die Futterbereitstellung, die Milchgewinnung und die Nachzucht. Insbesondere durch die Wahl der Futtermittel und die Nutzungsdauer der Milchkühe kann die Energiebilanz der Milchviehhaltung beeinflusst werden.

## **Abstract**

The article presents a newly developed method that allows the calculation of complete fossil energy balances for dairy farms. The model was adopted in organic and conventional dairy farms in Germany. The results show on average a lower product-specific energy input in the organic farms than in the conventional farms. The biggest energy inputs are the production of feed, the milking process and the production of heifers. The choice of different feeds and the lifetime of the cows are especially influential on the energy balance.

## **Einleitung**

Die moderne Landwirtschaft ist vom Einsatz fossiler Energie (FAO 2010) abhängig; eine weitere Verknappung fossiler Energieressourcen ist absehbar (Chow et al. 2003). Zudem ist zu erwarten, dass der Energiebedarf nicht allein durch regenerative Energiequellen zu decken ist (IEA 2010). Dies erfordert eine effizientere Nutzung der verfügbaren Energiequellen. Viele Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Energieeinsatz und der Energieeffizienz der Landwirtschaft, jedoch nur wenige mit der Milchviehhaltung. Bisher liegen keine anwendbaren Modelle vor, die es ermöglichen, eine vollständige Energiebilanz für landwirtschaftliche Betriebe mit Milchviehhaltung zu berechnen. Dies ist aber eine Voraussetzung für die Ableitung von Optimierungsstrategien zur Erhöhung der Energieeffizienz.

Im Rahmen des Verbundprojekts „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ wurde ein Modell zur Energiebilanzierung der Milchviehhaltung entwickelt. Dieses Modell ermöglicht es, vollständige Energiebilanzen der Milchviehhaltung unter Einbeziehung aller relevanten Inputs abzubilden. Zudem werden Allokationsregeln definiert, womit die Bewertung des Gesamtsystems mit dem Hauptprodukt Milch unter Berücksichtigung der Koppelprodukte Altkühe und Kälber möglich ist. Das Modell kam in 12 ökologischen und 12 konventionellen Betrieben mit Milchviehhaltung in Süd- und Westdeutschland zum Einsatz. Dieser Beitrag stellt das Modell und die Ergebnisse der Modellanwendung vor. Ziel ist

es, die Haupteinflüsse auf den Energieinput zu identifizieren. Darüber hinaus findet eine Systembewertung unterschiedlicher Produktionssysteme statt.

## **Material und Methoden**

Die Milchviehhaltung ist ein komplexer Prozess, der intensiv mit dem gesamten Betriebssystem verknüpft ist. Aus diesem Grund erfolgt die Analyse auf der Systemebene des landwirtschaftlichen Betriebssystems. Die Energiebilanzierung erfolgt als Prozessanalyse, das bedeutet, die Bilanzierung orientiert sich an den technischen Produktionsschritten und den stofflichen Inputs in das System (Jones 1989). Die Systemgrenze ist der landwirtschaftliche Betrieb. Stoff- und Energieströme, die in das System eingehen, werden als Inputs bewertet, Stoffflüsse, die das System verlassen als Outputs. Die Energieinputs umfassen die direkten und indirekten Energieinputs (Kalk und Hülsbergen 1997). Direkte Energieinputs kommen durch den Einsatz von Energieträgern wie Kraftstoffe und Strom zustande, indirekte Energieinputs durch die Nutzung von Maschinen und Geräten, Gebäuden und baulichen Anlagen sowie den Einsatz von Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel, Wasser oder Siloplanen. Hinzu kommen die indirekten Inputs durch den Zukauf von Futtermitteln und Tieren. Die einzelnen Input werden mit Energieäquivalenten bewertet. Dadurch wird der Energieeinsatz ausgedrückt, der für die Erzeugung, Wartung und die Entsorgung der Güter aufgewendet wird. Im Rahmen der Prozessanalyse wird die Milchviehhaltung in verschiedene Prozessschritte eingeteilt. Diese wurden folgendermaßen definiert: Erzeugung eigener Futtermittel und Futterzukauf, Futterlagerung und -vorlage, Haltungssystem, Entmistung und Düngerlagerung, Nachzucht sowie Milchgewinnung.

Die Umsetzung der Berechnung erfolgt in Access- und Excel-Datenbanken. Das Modell lehnt sich an die Grundlagen und die Konzeption des Betriebsbilanzierungsmodells REPRO (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2008) an und baut darauf auf. Die einzelnen Prozessschritte werden in einzelnen Teilmodulen umgesetzt, die miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen.

Die Milchviehhaltung ist ein Prozess, bei dem mehrere Produkte entstehen. Aus diesem Grund ist eine Allokation des Energieeinsatzes auf die einzelnen Produkte notwendig. ISO 14044 empfiehlt zwar, auf eine Allokation zu verzichten oder die Systemgrenzen so zu wählen, dass keine Allokation notwendig ist (Systemgrenzenerweiterung). Allerdings ist für eine betriebliche Betrachtung die Systemgrenze auf den Betrieb determiniert und eine Systemerweiterung nicht zweckdienlich. Aus diesem Grund erfolgt eine Allokation nach Vorschlag von ISO 14044 auf Grundlage der physikalischen Zusammenhänge der Produkte. Hier wird der Energieoutput in Form der Produkte ausgedrückt mit dem energetischen Brennwert der Produkte herangezogen. Die Belastung der einzelnen Produkte mit dem gesamten Energieeinsatz erfolgt proportional zum Anteil des Energieoutputs durch das einzelne Produkt am gesamten Energieoutput.

Das Modell kam in 12 ökologischen und 12 konventionellen Betrieben in Süd- und Westdeutschland in den Jahren 2009 und 2010 zur Anwendung (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Kennzeichnung der Untersuchungsbetriebe**

		ökologisch			konventionell		
		MW	MIN	MAX	MW	MIN	MAX
<b>Pflanzenbau</b>							
Landwirtschaftliche Nutzfläche	ha	73,4	30,1	188,4	57,2	29,8	109,3
davon Grünland	% LN	56	26	100	100	48	15
davon Acker	% LN	44	0	74	18	52	0
<b>Milchviehhaltung</b>							
Anzahl Milchkühe		42,1	17,8	91,1	49,9	29,3	73,0
Tierbesatz gesamt	GV ha <sup>-1</sup>	1,36	0,50	2,08	2,62	1,70	3,96
Milchleistung	kg ECM	6360	4236	7510	8327	6273	10298
Erstkalbealter	Monate	30,8	26,8	35,4	29,0	26,9	32,9
Anzahl Laktationen		3,1	2,2	4,4	2,1	1,7	2,6

## Ergebnisse

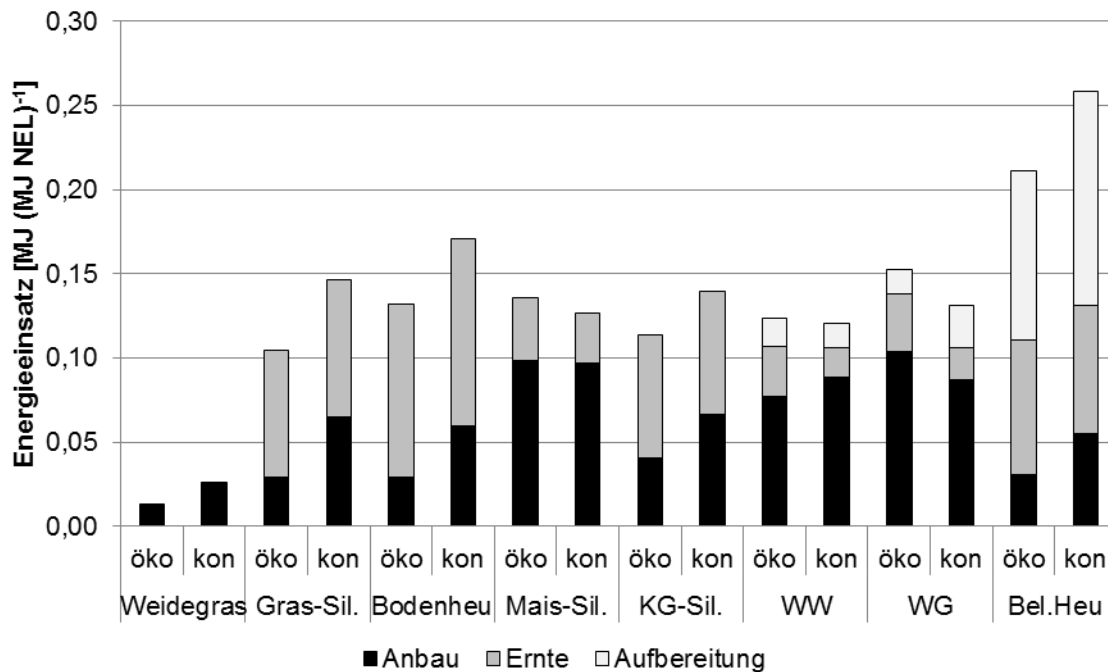
Die Ergebnisse der Modellanwendung in Tabelle 2 zeigen den fossilen Energieeinsatz je kg energiekorrigierter Milch (ECM) als Mittelwert der ökologischen und konventionellen Betriebe sowie als Wert des Betriebs mit dem geringsten und dem höchsten Energieeinsatz.

**Tabelle 2: Energieeinsatz je kg Milch in MJ (kg ECM)<sup>-1</sup>**

	ökologisch			konventionell		
	MW	MIN	MAX	MW	MIN	MAX
<b>Fossiler Energieeinsatz</b>	<b>2,31</b>	<b>1,86</b>	<b>2,94</b>	<b>2,58</b>	<b>2,27</b>	<b>2,86</b>
Erzeugung eigenes Futter	0,49	0,29	0,77	0,48	0,29	0,85
Zukauffuttermittel	0,13	0,02	0,61	0,50	0,04	0,88
Futterlagerung	0,21	0,09	0,35	0,19	0,12	0,26
Haltungssystem	0,27	0,17	0,48	0,17	0,13	0,25
Entmistung und Düngerlagerung	0,15	0,06	0,28	0,15	0,07	0,32
Nachzucht	0,33	0,16	0,54	0,38	0,24	0,65
Milchgewinnung	0,73	0,68	0,80	0,71	0,67	0,76

Die ökologischen Betriebe weisen mit 2,31 MJ (kg ECM)<sup>-1</sup> einen geringeren Energieeinsatz auf als die konventionellen Betriebe mit 2,58 MJ (kg ECM)<sup>-1</sup>. Die Betrachtung der Minimum und Maximum-Werte zeigt eine große Streuung zwischen den Betrieben, die bei den ökologischen Betrieben höher ist. Den bedeutendsten Anteil mit 36 % (ökologisch) bzw. 44 % (konventionell) am fossilen Energieeinsatz hat die Futterbereitstellung, die sich aus der Eigenfuttererzeugung, dem Futterzukauf und der Futterlagerung ergibt. Hier bestehen große Unterschiede innerhalb und zwischen den ökologischen und konventionellen Produktionssystemen. Die Energieeffizienz der

Eigenfuttererzeugung hängt wesentlich von den Bewirtschaftungsverfahren, den Erträgen und den Standortfaktoren ab. Abbildung 1 zeigt den Energieeinsatz für die Erzeugung verschiedener eigenbetrieblicher Futtermittel auf den Pilotbetrieben.

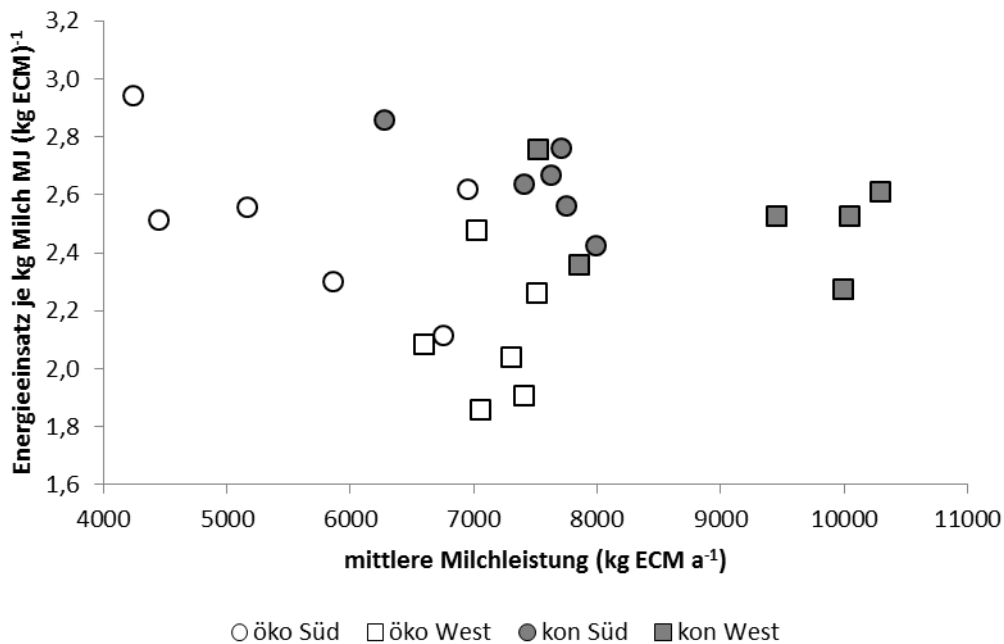


**Abbildung 1: Energieeinsatz für die Erzeugung verschiedener Futtermittel**

Durch die Gestaltung der Futtration kann deutlich Einfluss auf den Energieeinsatz für ihre Erzeugung genommen werden. Wesentlichen Einfluss hat der Futterzukauf, der besonders in den konventionellen Betrieben oft energieintensiv produzierte Futtermittel wie Raps- oder Sojaextraktionsschrot umfasst.

Ein weiterer großer Energieinput ist die Milchgewinnung, die sich zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben nicht unterscheidet, da hier die gleiche Technik zum Einsatz kommt. Es folgt der Energieeinsatz für die Erzeugung der zur Remontierung notwendigen Nachzucht. Dieser liegt in den konventionellen Betrieben höher, was an einem höheren Energieeinsatz für die Färsenaufzucht und einer geringeren Nutzungsdauer und damit einem erhöhten Bedarf an Färsen in den konventionellen Betrieben liegt. Dagegen ist der Energieeinsatz für das Haltungssystem in den ökologischen Betrieben höher als in den konventionellen Betrieben. Dies ist vor allem auf den größeren Anteil von Stallssystemen mit hohem Einstreubedarf zurückzuführen.

In Abbildung 2 ist der produktspezifische Energieeinsatz der einzelnen Betriebe in Abhängigkeit von der Milchleistung dargestellt.



**Abbildung 2: Energieeinsatz für die Milchproduktion in Abhängigkeit von der Milchleistung**

Es zeigt sich, dass die Betriebe in der Region West meist einen geringeren produktbezogenen Energieeinsatz aufweisen als die Betriebe der Region Süd. Zudem liegt die Milchleistung in den West-Betrieben meist höher als in den Süd-Betrieben. Die Betrachtung in Abhängigkeit von der Milchleistung liefert keine eindeutigen Aussagen. Während bei den ökologischen Betrieben eine Abnahme des Energieeinsatzes mit steigender Milchleistung zu beobachten ist, tritt dies bei den konventionellen Betrieben weniger stark in Erscheinung. Die Milchleistungen der konventionellen Pilotbetriebe in der Region Süd weisen nur eine geringe Variabilität auf.

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sich ökologische und konventionelle Betriebssysteme im Gesamtenergieeinsatz je kg erzeugter Milch im Mittel nur relativ wenig unterscheiden. Es bestehen aber große einzelbetriebliche Unterschiede. So liegt der produktbezogene Energieeinsatz bei den ökologischen Betrieben mit der geringsten Effizienz höher als bei den konventionellen Betrieben mit dem höchsten Energieeinsatz. Dies ist hauptsächlich auf Standort- und Managementeinflüsse zurückzuführen. Insgesamt zeigen die konventionellen Pilotbetriebe eine geringere Variabilität. Die größten Unterschiede innerhalb der Produktionssysteme zeigen sich in der Futtererzeugung und im Futterzukauf. Hier spielt insbesondere die Gestaltung der Futterration und die Effizienz der Futtererzeugung eine Rolle (Abbildung 1). Während die ökologischen Betriebe einen geringeren Energieeinsatz je Einheit Futtermittel benötigen, setzen sie wegen der überwiegend geringeren Milchleistung mehr Futtermittel je kg Milch ein. Die konventionellen Betriebe setzen dagegen oft weniger Grundfutter ein, dies wird jedoch durch den Zukauf von (Kraft-)Futtermitteln ausgeglichen. Im Bereich der Milchgewinnung, dem zweitgrößten Energieeinsatz, sind keine Unterschiede zwischen den Produktionssystemen erkennbar, da hier die gleiche technische Ausstattung zum Einsatz kommt. Dagegen zeigen sich im Haltungssystem Unterschiede. Der höhere produktbezogene Energieeinsatz der ökologischen Betriebe ist zum einen auf die geringere Milchleistung zurückzuführen, wodurch sich ein rechnerischer Effekt ergibt. Daneben weisen vermehrt Stallsysteme mit hohem Einstreubedarf auf. Zwar benötigen Ställe mit planbefestigtem

Boden gegenüber Ställen mit Güllekanälen beim Bau weniger Energie, jedoch wird dies durch den Strohbedarf ausgeglichen.

Ein wesentlicher Energieinput ist die Nachzucht. Bei der Erzeugung der Färsen spielt das Erstkalbealter und das Fütterungsregime eine entscheidende Rolle. Die konventionellen Färsen benötigen insgesamt mehr Energie, da die Futtererzeugung energieaufwändiger ist (vgl. Abbildung 1). Zudem weisen die konventionellen Betriebe eine geringere Nutzungsdauer der Milchkühe auf, wodurch mehr Färsen zur Remontierung der Herde benötigt werden. Die Nutzungsdauer der Milchkühe beeinflusst den Energieeinsatz für die Nachzucht entscheidend.

Mit der neu entwickelten Energiebilanzmethode können die größten Energieinputs in der Milchviehhaltung identifiziert werden und somit Optimierungspotenziale abgeleitet werden. Die vorgestellte Energiebilanz ist in eine Treibhausgasbilanz eingebettet. Durch den Einsatz fossiler Energie ergeben sich Treibhausgasemissionen. Diese energiebedingten Treibhausgasemissionen stellen in der Milchviehhaltung nur eine von mehreren Quellen dar. Wie Untersuchungen von Frank et al. (2011) zeigen, haben sie einen Anteil von rund 25 % an den Gesamtemissionen, wodurch es durch ihre Nicht-Berücksichtigung in Treibhausgasbilanzen zur deutlichen Unterschätzung der Emissionen kommen kann.

## **Danksagung**

Das Projekt „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ wurde von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und aus Sondermitteln des Johann Heinrich von Thünen-Instituts zur nationalen Klimaberichterstattung gefördert. Projektpartner waren der Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München, das Institut für Ökologischen Landbau des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, das Institut für Organischen Landbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, das Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg sowie die Bioland Beratung GmbH.

## **Literatur**

Chow, J.; Kopp, R. J.; Portney, P. R. (2003): Energy Resources and Global Development. In: Science (302), S. 1528–1531.

Frank, H.; Schmid, H.; Hülsbergen, K. -J (2011): Analyse des Einsatzes fossiler Energie und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Milchviehhaltung – methodischer Ansatz und erste Ergebnisse. In: Eurich-Menden, B. (Hrsg.): Emissionen der Tierhaltung. Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik ; KTBL-Tagung 6. - 8. Dezember 2011 Kloster Banz, Bad Staffelstein.

Hülsbergen, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker-Verlag, Aachen

International Energy Agency (IEA) (2010): World Energy Outlook 2010.

DIN EN ISO 14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

Jones, M. R. (1989): Analysis of the Use of Energy in Agriculture - Approaches and Problems. In: Agricultural Systems 29, S. 339–355.

Kalk, W. -D; Hülsbergen, K. -J: Methodik zur Einbeziehung des indirekten Energieverbrauchs mit Investitionsgütern in Energiebilanzen von Landwirtschaftsbetrieben. In: Kühn-Archiv, 90 (1996).

Kraatz, S. (2008): Ermittlung der Energieeffizienz in der Tierhaltung am Beispiel der Milchviehhaltung. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin.

Küstermann, B.; Kainz, M.; Hülsbergen, K.-J (2008): Modeling carbon cycles and estimation of green-house gas emissions from organic and conventional farming systems. In: Renewable Agriculture and Food Systems 23, S. 38–52.

Zitiervorschlag: Frank H, Schmid H & Hülsbergen, K-J (2012): Modell zur Energiebilanzierung der Milchviehhaltung - Anwendung in Pilotbetrieben. In: Wiesinger K & Cais K (Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband. – Schriftenreihe der LfL 4/2012, 36-42