

# Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit von bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben

Harald Schmid<sup>1</sup>, Michaela Braun<sup>2</sup>, Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, <sup>2</sup> Bioland Beratung GmbH

## Zusammenfassung

Im Projekt Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen werden in verschiedenen Agrarregionen Deutschlands Untersuchungen zu Treibhausgas- (THG)-Emissionen ökologischer und konventioneller Betriebe durchgeführt. Der Beitrag gibt eine Übersicht zu den Stoff- und Energiebilanzen sowie den THG-Emissionen im Pflanzenbau der 20 bayerischen Pilotbetriebe. Es werden methodische Grundlagen und Ergebnisse modellgestützter Analysen dargestellt sowie Strategien zur Emissionsminderung diskutiert.

Im ökologischen Pflanzenbau (öko.) wird deutlich weniger fossile Energie eingesetzt (5 bis 11 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) als im konventionellen Pflanzenbau (kon.), (12 bis 17 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Beide Betriebsgruppen erreichen im Mittel etwa die gleiche Energieintensität (öko: 186 MJ GE<sup>-1</sup>; kon: 198 MJ GE<sup>-1</sup>), und Output-Input-Verhältnis (öko.: 15; kon.: 12), bei einer großen einzelbetrieblichen Schwankungsbreite.

Flächenbezogen ergeben sich deutlich geringere THG-Emissionen im ökologischen Pflanzenbau (868 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) gegenüber dem konventionellen Pflanzenbau (2431 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Es zeigen sich geringere produktbezogene THG-Emissionen in den Ökobetrieben (19 kg CO<sub>2</sub> eq GE<sup>-1</sup> gegenüber 32 kg CO<sub>2</sub> eq GE<sup>-1</sup> (kon.).

Wesentliche Einflussfaktoren auf die produktbezogenen THG-Emissionen sind die Ertragsleistungen, die Gestaltung der Anbauverfahren, die Intensität der Bewirtschaftung (Betriebsmittel- und Energieeinsatz) sowie die von der Fruchtfolge und Düngung abhängige Humusbilanz (C-Sequestrierung der Böden).

## Abstract

The article describes the energy and nutrient fluxes of 20 farms in Bavaria. The methodology and results of the model-based analyses and the strategies to reduce emissions will be discussed.

From an energy point of view, organic farming systems (org.) are low-input systems (5-11 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), the conventional farm system (con.) is run with high inputs (12-17 GJ ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

Both farming systems achieve nearly the same energy efficiency (org.: 186 MJ GE<sup>-1</sup>; con.: 198 MJ GE<sup>-1</sup>), and energy output/input ratio (org.: 15; con.: 12). The variation between farms themselves is very high. The area-related greenhouse gas emissions (GGE) of organic farms (868 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) are lower than the conventional farms (2431 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). In addition, the product related GGE of the organic farms are also lower (19 kg CO<sub>2</sub> eq GE<sup>-1</sup> compared to 32 kg CO<sub>2</sub> eq GE<sup>-1</sup>). Important factors which influence the product-related GGE are yield, the method of production, the intensity of cultivation (pesticides, fertiliser) as well as C sequestration, which depends on crop rotation and manuring.

## Einleitung

Wenngleich es zahlreiche Untersuchungen zu Teilprozessen von Treibhausgas- (THG)-Emissionen in der Landwirtschaft gibt, so fehlen doch ganzheitliche betriebliche Analysen, die alle relevanten THG-Flüsse einschließen. Eine Emissionsminderung setzt die Kenntnis der emittierenden Prozesse voraus. Bisher ist noch weitgehend unklar, in welchem Umfang durch die Systemoptimierung von Betrieben Emissionen reduziert werden können. Kontrovers wird der Einfluss von Landbausystemen und Intensitätsniveaus auf die Klimabilanz diskutiert. Die Daten und verfügbaren Methoden sind unzureichend, um betriebsspezifische Aussagen zu Klimawirkungen zu treffen und umsetzbare Minderungsstrategien abzuleiten.

Im Projekt „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen“ werden daher seit 2009 in 80 Praxisbetrieben und 6 Versuchsstationen in verschiedenen Agrarregionen Deutschlands Untersuchungen zur Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebe durchgeführt. Projektziele sind:

- die Analyse der Klimawirkungen landwirtschaftlicher Produktions- und Betriebssysteme,
- die Berechnung vollständiger und detaillierter THG-Bilanzen im Pflanzenbau und in der Milchviehhaltung unter Nutzung von Messdaten und leistungsfähigen Modellen,
- die Ableitung von umsetzbaren Strategien zur Emissionsminderung,
- die Entwicklung von Instrumenten zur Klimaschutzberatung.

Nachfolgend werden methodische Grundlagen und Ergebnisse der Analysen im Pflanzenbau vorgestellt; Ergebnisse zur Milchviehhaltung werden von Frank et al. (2012) beschrieben.

## Material und Methoden

In den Pilotbetrieben wurden Standort- und Bewirtschaftungsdaten erfasst und in eine zentrale Projektdatenbank (NutriWeb) übernommen. Über eine Schnittstelle wurden diese Daten an das Modell REPRO (Hülsbergen 2003) übergeben, um Stickstoff-, Humus-, Energie- und Treibhausgasbilanzen zu berechnen. Die im Modell erfassten Stoff- und Energieflüsse, die verwendeten Algorithmen und Bilanzparameter sind detailliert beschrieben:

- die N-Bilanzierung (Küstermann et al. 2010) erfasst alle auf Betriebsebene relevanten N-Flüsse und N-Pools im System Boden – Pflanze – Tier – Umwelt. Im N-Umsatzmodul werden unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs, der Bodeneigenschaften und des Bodenprofilaufbaus die N-Verluste quantifiziert. Der N-Saldo kennzeichnet summarisch die Höhe der potenziellen N-Verluste. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen als Eingangsgröße der Treibhausgas- (THG)-Bilanz werden nach IPCC (1997) berechnet.
- die Energiebilanzierung (Hülsbergen et al. 2001) erfolgt als Prozessanalyse, die den direkten Einsatz (Diesel, Elektroenergie) und den indirekten Einsatz fossiler Energie (Betriebsmittel, Maschinen, Geräte) detailliert erfasst und dem Energieoutput gegenüberstellt. Die Energieintensität kennzeichnet den Energieinput je Produkteinheit. Die mit dem Einsatz fossiler Energie verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen in die THG-Bilanz ein.
- die Kohlenstoffbilanzierung erfolgt nach Küstermann et al. (2008). Ausgehend von der C-Assimilation werden die innerbetrieblichen C-Flüsse und C-Pools quantifiziert. Die C-Sequestrierung der Böden wird mit einer detaillierten Humusbilanz ermittelt, die Standortfaktoren, Erträge und Anbauverfahren als Einflussfaktoren berücksichtigt.

Um die Emissionen zusammenfassend bewerten zu können, werden sie in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet [CO<sub>2</sub> eq] unter Beachtung ihrer Wirksamkeit (CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 296).

## Ergebnisse und Diskussion

Die Pilotbetriebe sind sehr unterschiedlich strukturiert (Tab. 1); neben Marktfruchtbetrieben sind Milchvieh- und Gemischtbetriebe in die Untersuchungen einbezogen. Die Erträge erreichen – bezogen auf die erzeugten Getreideeinheiten (GE) – im Mittel der Ökobetriebe 59 % der Erträge der konventionellen Pilotbetriebe. Das Ertragsniveau beeinflusst nahezu alle Nachhaltigkeits- und Effizienzparameter, z.B. die produktbezogenen Emissionen, die Energie- und Nährstoffeffizienz. So ist die Energiebindung direkt vom Ernteertrag und der Energiekonzentration der Ernteprodukte abhängig; sie beträgt im Mittel der Ökobetriebe  $116 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , im Mittel der konventionellen Betriebe  $170 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Unter Berücksichtigung des geringeren Energieinputs der Ökobetriebe wird in beiden Betriebsgruppen eine vergleichbare Energieeffizienz erreicht – gemessen an den Kriterien Energieoutput-Input-Verhältnis und Energieintensität. Bei der Weizenproduktion in Ökobetrieben führt der geringere Einsatz an fossiler Energie aufgrund des geringeren Ertrages zur gleichen produktbezogenen Energieintensität wie beim konventionellen Landbau (Abb. 1).

**Tab. 1: Betriebsstrukturen, Erträge und Energieeffizienz der bayerischen Pilotbetriebe**

Kennzahlen	kon. Betriebe (10 Betr.)			öko. Betriebe (10 Betr.)		
	Mittel	min	max	Mittel	min	max
<b>Betriebsstruktur</b>						
Landwirtschaftl. Nutzfläche (ha)	84	30	196	122	30	516
Tierbesatz (GV ha <sup>-1</sup> )	1,16	0,00	2,61	0,69	0,00	1,62
<b>Ertragskennzahlen</b>						
Ertrag (GE ha <sup>-1</sup> )	75	53	99	44	33	55
Energiebindung (GJ ha <sup>-1</sup> )	170	107	240	116	68	173
<b>Energiehaushalt</b>						
Energieinput (GJ ha <sup>-1</sup> )	14	12	17	8	5	11
Nettoenergieoutput (GJ ha <sup>-1</sup> )	155	93	223	107	61	161
Energieintensität (MJ GE <sup>-1</sup> )	198	130	273	186	136	230
Output/Input-Verhältnis	12	8	14	15	8	23

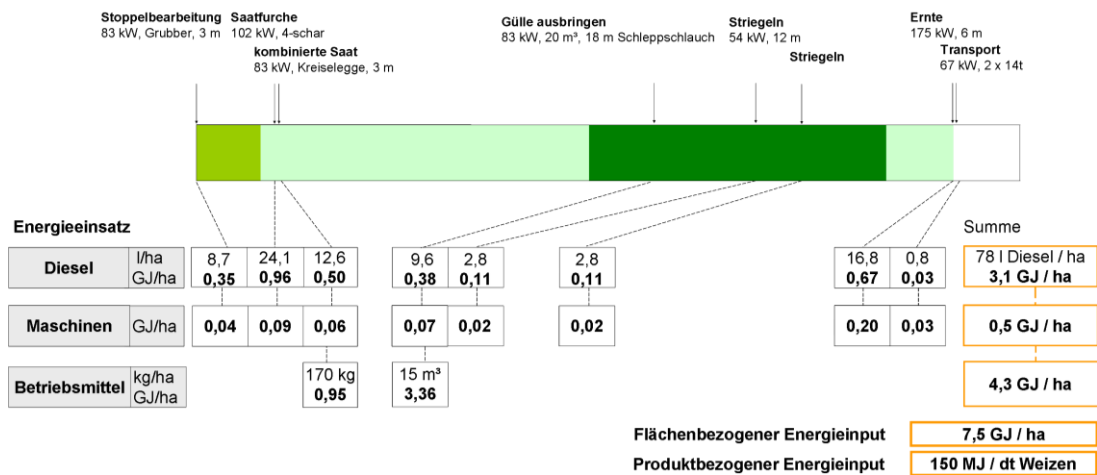
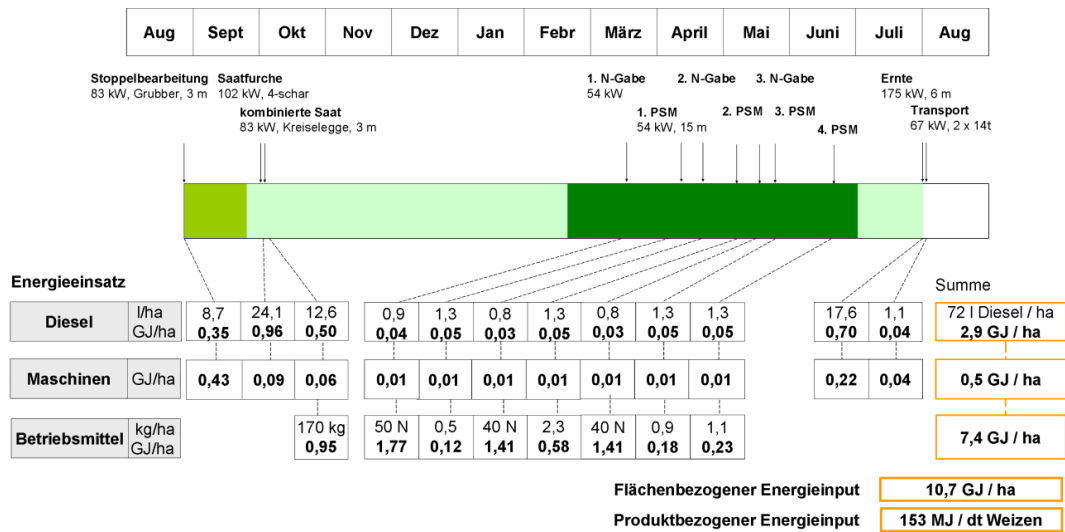


Abb. 1: Energieinput und Energieintensität der Weizenproduktion; oben: konv. Landbau ( $70 \text{ dt ha}^{-1}$ ); unten: ökolog. Landbau ( $50 \text{ dt ha}^{-1}$ )

Auffallend ist aber die enorme betriebsbezogene Schwankungsbreite dieser Energieeffizienzparameter, die durch unterschiedliche Standort- und Ertragspotenziale sowie durch Managementeinflüsse (Bewirtschaftungsintensität, Verfahrensgestaltung) verursacht wird. Die überbetriebliche Auswertung zeigt einen linearen Zusammenhang zwischen dem Einsatz fossiler Energie im Pflanzenbau und der erzielten Energiebindung in den Ernteprodukten (Abb. 2). Im ökologischen Pflanzenbau wird je ha Anbaufläche deutlich weniger fossile Energie eingesetzt ( $5 \text{ bis } 11 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) als im konventionellen Pflanzenbau ( $12 \text{ bis } 17 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ); dies ist vor allem auf den geringeren Betriebsmitteleinsatz (kein Einsatz von Mineral-N und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln) zurückzuführen.

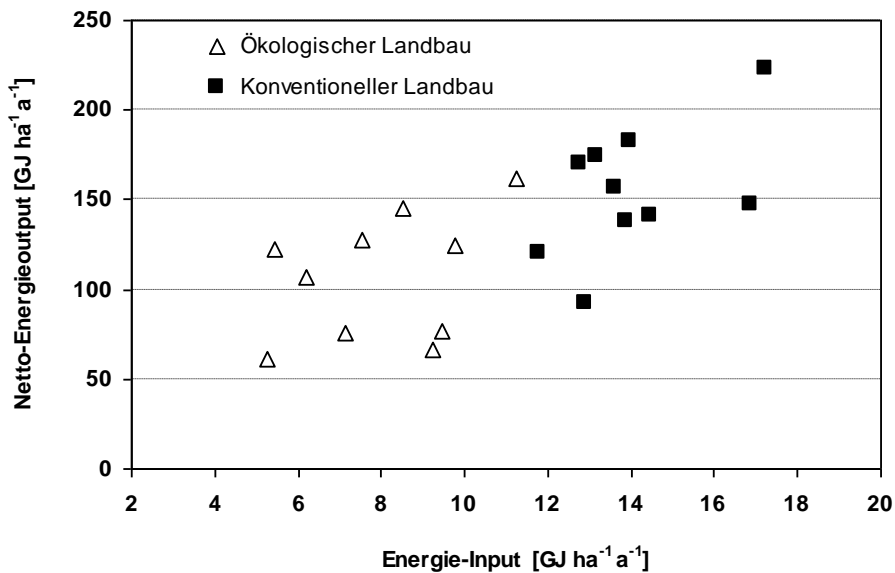


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Energie-Input und Netto-Energieoutput

Der Energieinput ist ein Indikator der Anbauintensität; er bestimmt nicht nur die Erträge, sondern auch die flächenbezogenen THG-Emissionen wesentlich (Abb. 3). Allerdings können bei gleichem Energieinput auch unterschiedliche THG-Emissionen auftreten, da weitere Faktoren (N<sub>2</sub>O-Emissionen, C-Sequestrierung) die Gesamtemissionen beeinflussen.

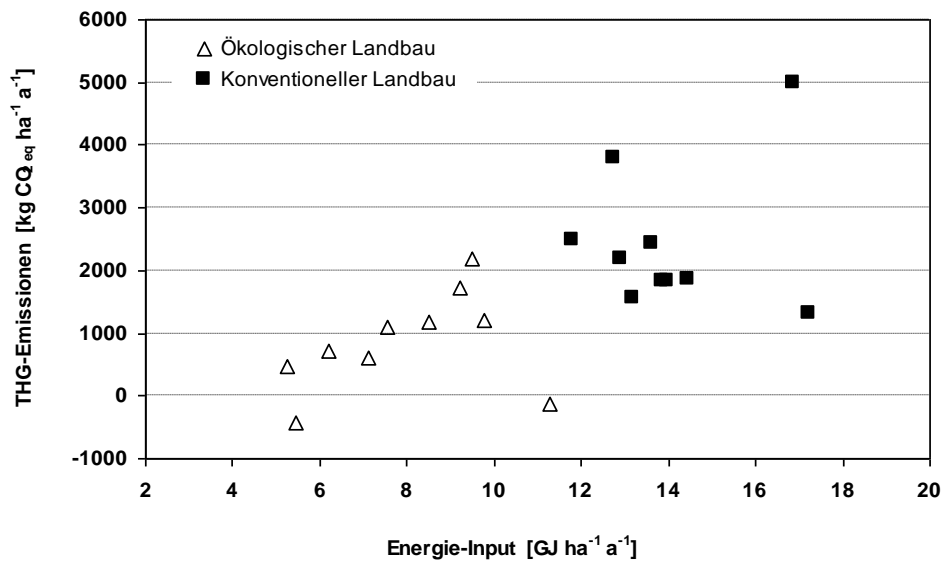


Abb. 3: Zusammenhang zwischen dem Energie-Input und flächenbezogenen THG-Emissionen

Die Stickstoffbilanzen der Pilotbetriebe wurden schlag-, fruchtarten- und betriebsbezogen berechnet; hier sind die betrieblichen Mittelwerte dargestellt (Tab. 2). Bei der Bilanzierung wurden vereinfachend N-Immissionen von 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹ angenommen. Die N-Salden kennzeichnen das N-Verlustpotenzial; sie sind in den bayerischen Pilotbetrieben auf einem moderaten Niveau. Extreme N-Überschüsse sind nicht zu verzeichnen. Zum Vergleich: Im Mittel der Bundesrepublik Deutschland betragen die N-Salden etwa 100 kg ha⁻¹ a⁻¹. In einigen Ökobetrieben treten negative N-Salden auf, die auf eine N-Unterversorgung hinweisen. Unter diesen Bedingungen ist davon auszugehen, dass Stickstoff zum ertragsbegrenzenden Faktor wird; teilweise ist mit der Abnahme der Boden-N-Vorräte zu rechnen.

Tab. 2: Stickstoff- und Treibhausgasbilanz der bayerischen Pilotbetriebe

Kennzahlen	kon. Betriebe (10 Betr.)			öko. Betriebe (10 Betr.)		
	Mittel	min	max	Mittel	min	max
Stickstoffhaushalt (kg N ha <sup>-1</sup> )						
Entzug Ges.	218	157	324	170	114	241
Abfuhr	198	119	324	152	85	241
Zufuhr Ges.	255	209	376	177	125	247
Symbiont. N-Fixierung	23	0	80	49	26	114
org. Wirtschaftsdünger	110	4	243	87	30	166
Mineraldünger	80	0	182	0	0	0
Δ N org. Bodenvorrat	-8	-62	30	13	-13	49
N-Saldo	44	-29	84	-6	-54	53
Treibhauspotenzial (THG), flächenbezogen (kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )						
CO <sub>2</sub> -Emission (Anbau)	781	371	1425	398	185	790
N <sub>2</sub> O-Emissionen	1355	1105	1933	962	720	1270
C-Speicherung im Humus*	295	-1176	2397	-492	-1881	486
Treibhauspotenzial	2431	1324	4995	868	-415	2185
Treibhauspotenzial (THG), produktbezogen						
THG (kg CO <sub>2</sub> eq GE <sup>-1</sup> )	32	17	51	19	-10	42
THG (kg CO <sub>2</sub> eq GJ <sup>-1</sup> )	15	6	29	9	-3	24

\* positive Werte bedeuten Humusabbau und die Abgabe von Boden-C an die Atmosphäre

Die THG-Bilanz (Tab. 2) berücksichtigt die CO<sub>2</sub> eq-Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie in den pflanzenbaulichen Produktionsverfahren (Anbau), die durch den N-Einsatz verursachten N<sub>2</sub>O-Emissionen sowie die C-Sequestrierung der Böden.

Flächenbezogen ergeben sich deutlich geringere THG-Emissionen im ökologischen Pflanzenbau (im Mittel 868 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) gegenüber dem konventionellen Pflanzenbau (2431 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Erträge zeigen sich geringere produktbezogene Emissionen in den Ökobetrieben.

Die günstige THG-Bilanz der untersuchten ökologischen Pilotbetriebe ist vor allem auf die positive Humusbilanz zurückzuführen. Die C-Sequestrierung (Abb. 4) ist ein entscheidender Einflussfaktor auf die Gesamtemissionen. Zwei ökologische Pilotbetriebe erreichen durch ein entsprechendes Management (Leguminosen basierte Fruchtfolgen, Kompostwirtschaft) eine C-Anreicherung von ca. 500 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Eine Strategie zur Minderung von THG-Emissionen besteht somit in der Nutzung des C-Senkenpotenzials der Böden. Extrem humuszehrende Wirtschaftsweisen (hohe Maiskonzentrationen, Grünlandumbrüche) sind aus Klimaschutzgründen kritisch zu bewerten. Allerdings ist zu beachten, dass sich bei ausreichend langer gleichbleibender Bewirtschaftung neue C-Fließgleichgewichte im Boden einstellen werden.

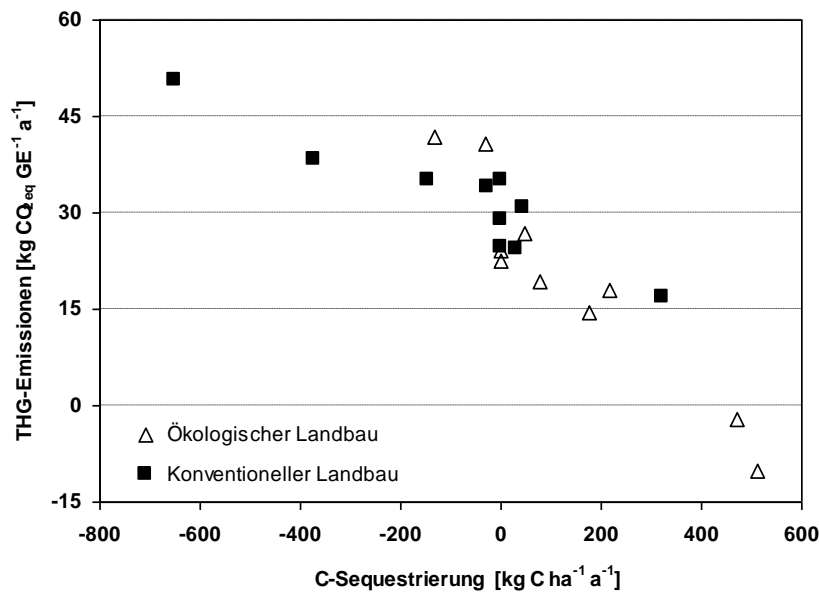


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der C-Sequestrierung und den produktbezogenen THG-Emissionen

## Schlussfolgerungen

## 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

Frank, H., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2012): Modell zur Energiebilanzierung der Milchviehhaltung - Anwendung in Pilotbetrieben.

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. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86, 303-321.

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

IPCC (1997): Revised 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris.

Küstermann, B., Kainz, M., Hülsbergen, K.J. (2008): Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23, 1-16.

Küstermann, B., Christen, O., Hülsbergen, K.-J. (2010): Modelling nitrogen cycles of farming system as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 70-80.

Zitiervorschlag: Schmid H, Braun M & Hülsbergen K J (2012): Klimawirksamkeit und Nachhaltigkeit von bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben. In: Wiesinger K & Cais K (Hrsg.): *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband*. –Schriftenreihe der LfL 4/2012, 137-143