

PC gestützte Analyse der Klimarelevanz landwirtschaftlicher Anbausysteme

Björn Küstermann¹, Harald Schmid¹, Harald Amon², Kurt-Jürgen Hülsbergen¹

¹Lehrstuhl für Ökologischen Landbau

²Leitung Versuchsstationen
Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München
Alte Akademie 12
85350 Freising
kuestermann@wzw.tum.de

Abstract: Die anthropogen verursachte Klimaveränderung rückt stärker in das Bewusstsein der breiten Öffentlichkeit. In Klimaschutzdiskussionen spielt auch die Landwirtschaft eine wichtige Rolle. Der im Beitrag vorgestellte Modellansatz ermöglicht die Analyse und Bewertung betrieblicher C- und N-Kreisläufe und ist Grundlage für Aussagen zur Klimarelevanz unterschiedlicher Anbausysteme. Die Anwendung in den Versuchsstationen der TU München sowie in 81 Praxisbetrieben zeigt in Abhängigkeit von Anbaustruktur und Produktionsintensität eine große Variabilität der Emissionspotentiale und unterstreicht die Notwendigkeit des einzelbetrieblichen Managements. Hier können praktikable Betriebs- und Umweltmanagementsysteme wie das Modell REPRO einen wertvollen Beitrag leisten.

1 Einleitung

Die anthropogen verursachte Klimaveränderung rückt stärker in das Bewusstsein der breiten Öffentlichkeit und wird wohl das Umweltthema der Zukunft. In Klimaschutzdiskussionen spielt auch die Landwirtschaft eine wichtige Rolle, da sie nicht unerheblich zum Treibhauseffekt beiträgt, aber auch einen wertvollen Beitrag zur Emissionsminderung liefern kann.

Es werden zunehmend praktikable Managementinstrumente nachgefragt, die auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Algorithmen die Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebssysteme zulassen. Das im Beitrag vorgestellte PC-Modell ermöglicht die Quantifizierung bewirtschaftungsbedingter und standortabhängiger C- und N-Flüsse sowie klimarelevanter Emissionen. Es wurde in das Betriebs- und Umweltmanagementsystem REPRO integriert, um die breite Anwendung bei einem günstigen Aufwand/Nutzen-Verhältnis sicherzustellen.

2 Material und Methoden

Mit der Entwicklung wurden Modellparameter und Algorithmen angepasst, erweitert

bzw. neu abgeleitet [Kü07], so z.B. eine Methodik zur Quantifizierung der C-Rhizodeposition. Auf der Grundlage umfangreicher Stammdatenbanken werden die Wurzelmenen in Abhängigkeit von Ertrag, Bodenart und Anbauverfahren fruchtartenspezifisch geschätzt. Emissionen der Tierhaltung werden in Abhängigkeit von Leistung, Fütterung sowie Haltungsverfahren berechnet. Die Quantifizierung direkter und indirekter CO₂-Emissionen erfolgt ausgehend vom Betriebsmittel- und Technikeinsatz in Kopplung mit der Energiebilanz [Hü03]. Das C-Quellen- und Senkenpotenzial der Böden wird mit Humusbilanzen bestimmt. Bodenbürtige N₂O-Emissionen werden in Abhängigkeit von der flächenbezogenen N-Zufuhr nach IPCC [IPCC96] quantifiziert. Alle Emissionen werden entsprechend ihres spezifischen Treibhauspotentials in CO₂-Äquivalente umgerechnet und in einer betriebsindividuellen Gesamt-Emissionsinventur zusammengefasst.

Die technische Umsetzung erfolgte auf Basis der integrierten Programmierungsumgebung (IDE) Delphi in Object-Pascal. Alle Strukturelemente und Teilbereiche des Landwirtschaftsbetriebes werden als hierarchisch gegliederte Objekte betrachtet. Alle vom Programm verwalteten Daten sind über Schlüsselsysteme in miteinander verknüpften relationalen Paradox-Datenbanken abgelegt. Der Zugriff geschieht auf Basis sensitiver Formalkomponenten sowie SQL-Anweisungen. Formulare, Daten- und Serviceunits werden vom Hauptprogramm über mr-Codes aufgerufen und bestimmen ihren Nachfolger durch Rückgabe dieser Codes.

Der Ansatz kommt auf der Grundlage mehrjähriger Standort- und Bewirtschaftungsdaten erstmals auf den Versuchstationen der TU München sowie in 81 Praxisbetrieben zum Einsatz. Erfasst wurde ein großes Spektrum von Standorten, Betriebsstrukturen und Bewirtschaftungsintensitäten. Um die Vergleichbarkeit zu wahren, wird nachfolgend nur der Pflanzenbau betrachtet. Die Betriebe wurden nach ihrem Energieinput auf dem Ackerland in Low-Input-Systeme (LI) (bis 10 GJ/ha) und High-Input-Systeme (HI) (mehr als 10 GJ/ha) unterteilt. Ziel ist es, die Betriebssysteme zu charakterisieren, Entwicklungen im C- und N-Haushalt darzustellen sowie Aussagen zu den Klimawirkungen der Produktion zu machen. Die Ergebnisse dieses Benchmarkings bilden die Grundlage der betriebsindividuellen Schwachstellenanalyse und Betriebsoptimierung.

3 Ergebnisse

Im Mittel der LI-Systeme werden bei extensiver Wirtschaftsweise (geringer Mineraldünger-, Pflanzenschutzmittel- und Dieseleinsatz) flächenbezogen weniger als 50 % des Energieeinsatzes und der CO₂-Emissionen der HI-Systeme erreicht. Allerdings werden von den LI-Systemen auch nur etwa 50 % der Erträge erzielt; produktbezogen ist der Energieinput beider Gruppen auf gleichem Niveau. Zu beachten sind die ungünstigeren Standortbedingungen und Ertragspotentiale (Ackerzahl 45 bzw. 58) der LI-Systeme, die überwiegend ökologisch wirtschaftende Betriebe umfassen. Der weite Schwankungsbereich zeigt, dass die Energieeffizienz nicht nur vom Anbausystem, sondern auch vom einzelbetrieblichen Management, der Biomassenutzung, und weiteren Faktoren abhängt. Hohe Energieoutputs werden bei hohem Harvest-Index (Nutzung der Nebenprodukte) erreicht.

In der Klimabilanz werden neben dem Energieeinsatz auch die N₂O-Emissionen und die C-Sequestrierung der Böden einbezogen. Aus dem höheren N-Input resultieren bei den HI-Systemen N₂O-Emissionen [kg CO₂ ha⁻¹] von 1412 im Vergleich zu 839 bei den LI-Systemen. Mit Humusbilanzen wurde für die LI-Systeme eine C-Anreicherung und CO₂-Rückbindung von 205 kg CO₂ ha⁻¹ ausgewiesen, während bei den HI-Systemen eine Humusabreicherung und die CO₂-Freisetzung von 104 kg CO₂ ha⁻¹ bilanziert werden. In der Summe errechnet sich für die LI-Systeme ein mittleres Treibhauspotential [kg CO₂ ha⁻¹] von 1017, bei den HI-Systemen von 2273. Produktbezogen [kg CO₂ GE⁻¹] emittieren die LI-Systeme 27, die HI-Systeme 29.

Tab. 1: Kennzahlen zur Energie-, C- und Klimabilanz der untersuchten Betriebe

Anzeigeebene	ME	MW	Min	Max	MW	Min	Max
		LI	LI	LI	HI	HI	HI
Energiebindung	GJ ha ⁻¹	75	28	142	139	86	192
Ertrag	GE ha ⁻¹	38	11	88	79	49	108
Einsatz fossiler Energie	GJ ha ⁻¹	6,3	3,6	9,9	13,6	10,1	17,8
Energieintensität	MJ GE ⁻¹	166	97	431	172	112	301
CO ₂ -Emissionen Energieeinsatz	kg CO ₂ ha ⁻¹	383	215	634	757	503	1023
N ₂ O-Emissionen	kg CO ₂ ha ⁻¹	839	386	1438	1412	1054	1866
C-Seq. Boden	kg CO ₂ ha ⁻¹	-205	575	-1703	104	1256	-1767
Treibhauspotential flächenbezogen ¹	kg CO ₂ ha ⁻¹	1017	-155	2263	2273	61	4110
Treibhauspotential produktbezogen ²	kg CO ₂ GE ⁻¹	27	-3	57	29	1	45

¹ = CO₂-Emissionen Energieeinsatz + N₂O-Emissionen + C-Seq. Boden; ² = Treibhauspotential flächenbezogen / Ertrag

Abschließend wird die Bedeutung der C-Bindung zur Minderung der Treibhausgasemissionen erläutert (Abb. 1). Mit steigender C-Bindung im Humus gehen die CO₂-Emissionen zurück. Einige Betriebe wirtschaften nahezu CO₂ neutral. Dies wird insbesondere in den ökologisch wirtschaftenden Betrieben Scheyern und Viehhausen deutlich. Vielgliedrige, leguminosenbasierte Fruchtfolgen und der Einsatz organischer Wirtschaftsdünger führen zum Aufbau organischer Bodensubstanz während eine intensivere Fruchtfolge, das deutlich höhere Ertragspotential und die fehlenden Wirtschaftsdünger der Tierhaltung im integrierten Betriebsteil Scheyern zu einer Abnahme der Boden-C-Vorräte führen. In Thalhausen und Dürnast führen der Verbleib der Nebenprodukte (Stroh), der geringere Anteil humuszehrender Fruchtarten und der Einsatz von Gülle zu positiven Humusbilanzen, während der hohe Maisanteil in der VS Hirschau trotz des Einsatzes organischer Wirtschaftsdünger lediglich ausgeglichene Bilanzen ermöglicht.

Die große Variabilität der Ergebnisse zeigt, dass es auf das einzelbetriebliche Management ankommt wenn in Ausrichtung von Anbaustruktur und Produktionsintensität Einfluss auf die C-Speicherung genommen werden soll. Dabei darf nicht vergessen werden, dass eine C-Anreicherung immer zeitlich begrenzt ist und mit dem Erreichen neuer C-Fließgleichgewichte letztlich auf null absinkt [Jo95]. Aussagen zur Klimarelevanz landwirtschaftlicher Betriebe müssen vielmehr eine Vielzahl von Einflussfaktoren berücksichtigen. Neben der C-An- bzw. -Abreicherung sind dies Emissionen durch den Einsatz

fossiler Energieträger sowie die N₂O-Emissionen, die aufgrund ihres sehr hohen Treibhauspotentials großen Einfluss auf die Klimarelevanz haben. Die Versuchsstationen der TU München lassen sich sehr gut in die Ergebnisse der Praxisbetriebe einordnen. Die hohen Emissionen im integrierten Betriebsteil Scheyern resultieren aus einem hohen Energieeinsatz, negativen Humusbilanzen sowie einem intensiven N-Kreislauf. Die Stationen Hirschau, Thalhausen und Dürnast unterscheiden sich aufgrund vergleichbarer Anbaustruktur und Produktionsintensität nur wenig. Der ökologische Betriebsteil Scheyern und auch Viehhausen erreichen bei produktbezogener Betrachtung im Vergleich der LI-Systeme geringe Werte. Gründe dafür sind hohe Erträge bei geringem Energieeinsatz und geringen N₂O-Emissionen. Insgesamt emittieren die LI-Systeme je Flächeneinheit (ha) deutlich weniger als die HI-Systeme (Tab. 1), nicht aber je Produkteinheit. Hier zeigt sich aufgrund des Ertrageinflusses eine enorme Variabilität. Die Ergebnisse belegen, dass sowohl in LI- als auch HI-Systemen bei angepasster Produktionsintensität hohe Energie- und CO₂-Effizienzen und geringe Emissionen möglich sind.

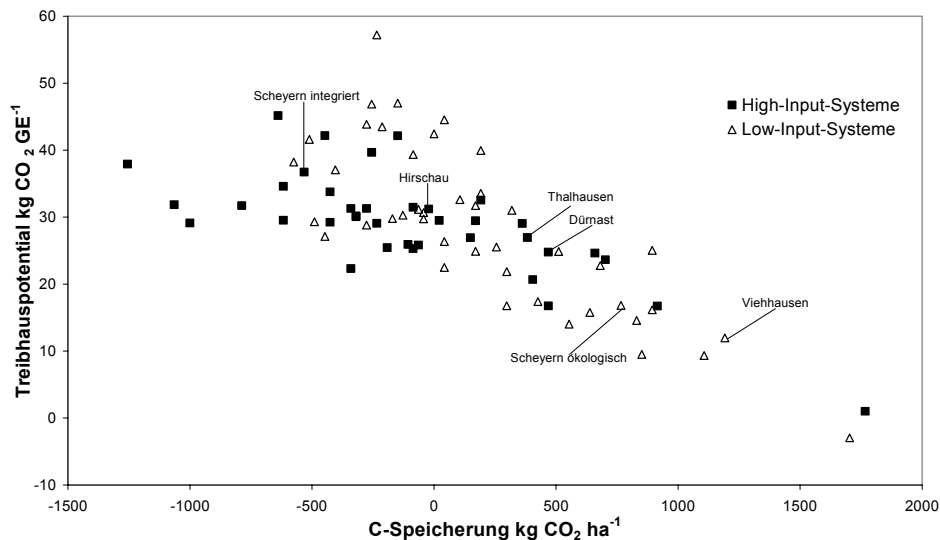


Abb. 1: Produktbezogenes Treibhauspotential der untersuchten Betriebe

Literaturverzeichnis

- [Hü03] Hülsbergen, K.-J.: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker, Aachen, 2003.
- [Kü07] Küstermann, B., Kainz, M., Hülsbergen, K.-J.: Modelling Carbon Cycles and Estimation of Greenhouse Gas Emissions from Organic and Conventional Farming Systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(0), 2007.
- [Jo95] Johnson, M.G., Levine, E. R., Kern, J. S.: Soil organic matter: Distribution, genesis, and management to reduce greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution* 82, p.593-615, 2007.