



## Modell zur Quantifizierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Biobetrieben



**Christian Schader, Matthias Meier, Till Kuhn und Katja Jud, Bernadette Oehen, Andreas Gattinger, Matthias Stolze**

**Version 30.3.2012**

EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich  
FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria  
FiBL est basé en Suisse, Allemagne et Autriche

**FiBL Schweiz / Suisse**  
Ackerstrasse, CH-5070 Frick  
Tel. +41 (0)62 865 72 72  
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

# Inhalt

Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Hintergrund	5
2. Modellbeschreibung	6
2.1 Modellübersicht	6
2.2 Datenerfordernisse	7
2.3 Pflanzenbaumodell	8
2.4 Tierproduktionsmodell	9
2.5 Systemgrenzen / Produktallokationen	10
2.6 Modellierung von Massnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und von Treibhausgasemissionen	10
2.7 Ausgabe der Resultate	11
3. Diskussion	12
3.1 Stärken des Ansatzes	12
3.2 Grenzen des Modells	12
3.3 Verwendungszwecke	13
3.4 Geplante Weiterentwicklungen des Modells	13
Danksagung	14
Literatur	15

# Zusammenfassung

Während der Jahre 2009-2011 wurden am FiBL über verschiedene Projekte Grundlagen zur betrieblichen und produktbezogenen Energie- und Klimabilanzierung erarbeitet. Daraus wurde ein Modellansatz entwickelt, mit dem der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) auf Betriebsebene abgeschätzt werden können. Aus diesen Vorarbeiten ist 2011 und 2012 das FiBL-Betriebsmodell entstanden, mit dem es möglich ist:

1. detaillierte Klimabilanzen von Schweizer Biobetrieben durchzuführen,
2. zwischenbetriebliche Vergleiche anzustellen und
3. die Auswirkungen von betrieblichen Veränderungen oder Anpassungsstrategien auf die THG-Emissionen zu berechnen.

Die grosse Stärke des Betriebsmodells ist seine hohe Flexibilität in Bezug auf die Datenerfordernisse. So werden zur Analyse und Optimierung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen auf Schweizer Biobetrieben – wo vorhanden – betriebsindividuelle Daten berücksichtigt. Fehlen diese, werden Standarddaten verwendet. Im Modell werden alle erforderlichen Betriebsmittel und Prozesse zur Bewirtschaftung eines Betriebes, bzw. zur Produktion von Nahrungsmitteln berücksichtigt.

Hauptbestandteile des Betriebsmodells sind das sogenannte Pflanzenbau- und das Tierproduktionsmodell, welche untereinander über innerbetrieblicher Stoff- und Energieflüsse (organische Dünger, Futtermittel, Stroh) verknüpft sind.

Bei einer betrieblichen Bilanz werden die Emissionen der einzelnen Module aufsummiert und bezogen auf die funktionellen Einheiten Fläche\*Jahr<sup>-1</sup> und Produktion (Masse, Kalorien, Protein, Wertschöpfung) ausgedrückt. Der Energieverbrauch und die THG-Emissionen lassen sich für alle einzelnen Verfahren aus dem Tier- und Pflanzenbaumodell (z.B. Weizenproduktion, Milchproduktion) bilanzieren.

Durch seine Flexibilität was Datenerfordernisse, Systemgrenzen und funktionelle Einheiten betrifft, ist das Betriebsmodell sowohl für wissenschaftliche Analysen als auch Betriebsberatungen geeignet. Ein grosser Vorteil des Modells ist die Möglichkeit, verschiedene Klimaschutz und Energieeinsparmassnahmen zu modellieren und so betriebspezifisch die Auswirkungen der Massnahmen zu untersuchen. Derzeit sind 11 Massnahmen implementiert (z.B. reduzierte Bodenbearbeitung oder Weideanteil vergrössern bzw. standortangepasste Umstellung auf Vollweide), weitere Massnahmen können problemlos integriert werden.

Weiterhin ist geplant, das Modell auf andere Nachhaltigkeitskategorien (Luft- und Gewässerbelastung, Humusaufbau, Biodiversität, Ökonomie und Soziales) zu erweitern. Bisher wurde das Betriebsmodell nur auf Bio-Milchvieh und Bio-Gemischtbetrieben angewendet. Für die Abbildung weiterer Betriebstypen (z.B. Obst- und Gemüsebau) sind teilweise Anpassungen am Modell erforderlich.

Ziel dieses Papieres ist es, die Funktionsweise und Annahme des Modells transparent zu machen und zur Diskussion zu stellen. Dabei gehen wir zunächst auf das grundlegende Konzept ein und stellen danach die unterschiedlichen Module vor. Für Fragen, Anregungen und konstruktive Kritik sind wir dankbar, da dies für uns ein Mittel ist das Modell stetig weiterzuentwickeln und zu verbessern.

# Summary

During the period 2009-2011 a number of projects at FiBL have built a robust foundation for producing farm-level and product-related energy and greenhouse gas inventories. This has enabled us to develop a model that can be used to estimate energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions at farm level. In 2011 and 2012 this preliminary work gave rise to the FiBL farm model, which can be used to:

1. draw up detailed greenhouse gas inventories for Swiss organic farms,
2. make comparisons between farms, and
3. calculate the effects of farm management changes or adaptation strategies on GHG emissions.

The major strength of the farm model is its great flexibility in terms of data requirements. For example, where possible the analysis and optimisation of energy consumption and GHG emissions on Swiss organic farms is based on individual farm data. If these figures are not available, standard data is used. The model takes account of all the requisite inputs and processes involved in running a farm or producing food.

The principal components of the farm model are the crop production model and the animal production model, which are interlinked via intra-farm material and energy flows (organic fertilisers, animal feed, straw).

In a farm greenhouse gas inventory the emissions of the individual modules are summed and expressed in terms of the functional units of area\*year<sup>-1</sup> and production (mass, calories, protein, value added). A statement of energy consumption and greenhouse gas emissions can be produced for all the individual processes covered by the animal and crop production models (e.g. wheat production, milk production).

On account of its flexibility with regard to data requirements, system boundaries and functional units, the farm model can be used both for scientific research and to provide advice to farmers. A major advantage of the model is the facility to model various climate change mitigation options and energy saving measures, thereby making it possible to explore the effects of different measures on a particular farm. The model currently incorporates 11 measures (e.g. reduced tillage or increasing the proportion of pasture, or location-adapted conversion to full pasture); other measures could easily be incorporated.

There are plans to extend the model to include other aspects of sustainability (air and water pollution, humus buildup, biodiversity, economic and social factors). So far the model has been applied only on organic dairy farms and organic mixed farms. Some adjustments need to be carried out to enable the model to depict farms of other types (e.g. fruit production, horticulture).

The aim of this paper is to make the assumptions and methodology of the model transparent and open to discussion. To this end we first explore the underlying concept and then introduce the different modules. We welcome questions, comments and constructive criticism, since they help us to continuously develop and improve the model.

# 1. Hintergrund

Der Landwirtschaftssektor trägt direkt zu etwa 13.5% zu den globalen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bei (IPCC, 2007). Hauptquellen sind die Verdauung von Wiederkäuern, das Düngermanagement und die Nassreisproduktion. Hinzu kommen Emissionen aus anderen Sektoren, die notwendig sind, um in der Landwirtschaft benötigte Inputs zu produzieren oder zu transportieren. Damit macht der Nahrungsmittelsektor je nach Berechnungsmethode und Region etwa 30% der globalen Treibhausgasemissionen aus (Bellarby *et al.*, 2008). Die Landwirtschaft ist also nicht nur vom Klimawandel betroffen, sondern sie verursacht diesen Wandel mit.

In der Schweiz belaufen sich die direkten Emissionen der Landwirtschaft auf 11% der gesamten Klimagasemissionen. Forschung und Politik sind sich einig, dass auch in der Landwirtschaft Klimagasemissionen eingespart werden müssen. McKinsey (2009) schätzen das Vermeidungspotenzial im Landwirtschaftssektor auf über 50%. Auch in der Schweizer Landwirtschaft wird auf ein hohes Vermeidungspotenzial im Bereich von 30% geschlossen, da beobachtet wurde, dass viele Betriebe gleichen Typs sehr unterschiedliche Emissionen pro produzierter Einheit aufweisen (Hersener *et al.*, 2011).

Die Aggregation der Emissionen über den gesamten landwirtschaftlichen Sektor ist für die politische Diskussion relevant, die eigentliche Reduktion von Treibhausgasen aber muss auf den einzelnen Betrieben umgesetzt werden. Im Bio Suisse-Projekt „Massnahmenkatalog“ und dem daraus entstandenen Klimamerckblatt (<https://www.fibl-shop.org/shop/show.php?sprache=DE&art=1552>) wurden deshalb basierend auf einer Literaturanalyse 23 Massnahmen definiert, die potenziell zur Verringerung der Klimagasemissionen auf Biobetrieben führen können (Bischofberger und Gattinger, 2011). Ausserdem wurde deren Effektivität qualitativ beurteilt.

Eine Quantifizierung der potenziellen Einsparungsmöglichkeiten an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auf Betriebsebene fehlt bis jetzt (BLW, 2011). Die Einschätzung der quantitativen Wirksamkeit verschiedener Massnahmen zur Treibhausgasreduktion ist aber essentiell, um Landwirtinnen und Landwirten Anhaltspunkte für eine Verbesserung der Klimaeffizienz ihrer Betriebe geben zu können.

Während der Jahre 2009-2011 wurden am FiBL Grundlagen zur betrieblichen und produktbezogenen Energie- und Klimabilanzierung gelegt. Daraus wurde am FiBL ein Modellansatz entwickelt, wie der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen auf Betriebsebene abgeschätzt werden können.

Diese Grundlagen wurden 2011 und 2012 zum FiBL-Betriebsmodell verknüpft, mit dem es möglich ist,

- detaillierte Klimabilanzen von Betrieben durchzuführen,
- zwischenbetriebliche Vergleiche anzustellen,
- die Auswirkungen von betrieblichen Veränderungen oder Anpassungsstrategien auf die THG-Emissionen zu berechnen.

Damit ist das Modell auch für Betriebsberatungen geeignet.

Ziel dieses Papieres ist es, die Funktionsweise und Annahme des Modells transparent zu machen und zur Diskussion zu stellen. Dabei gehen wir zunächst auf das grundlegende Konzept ein und stellen danach die unterschiedlichen Module vor. Schliesslich werden die Stärken und

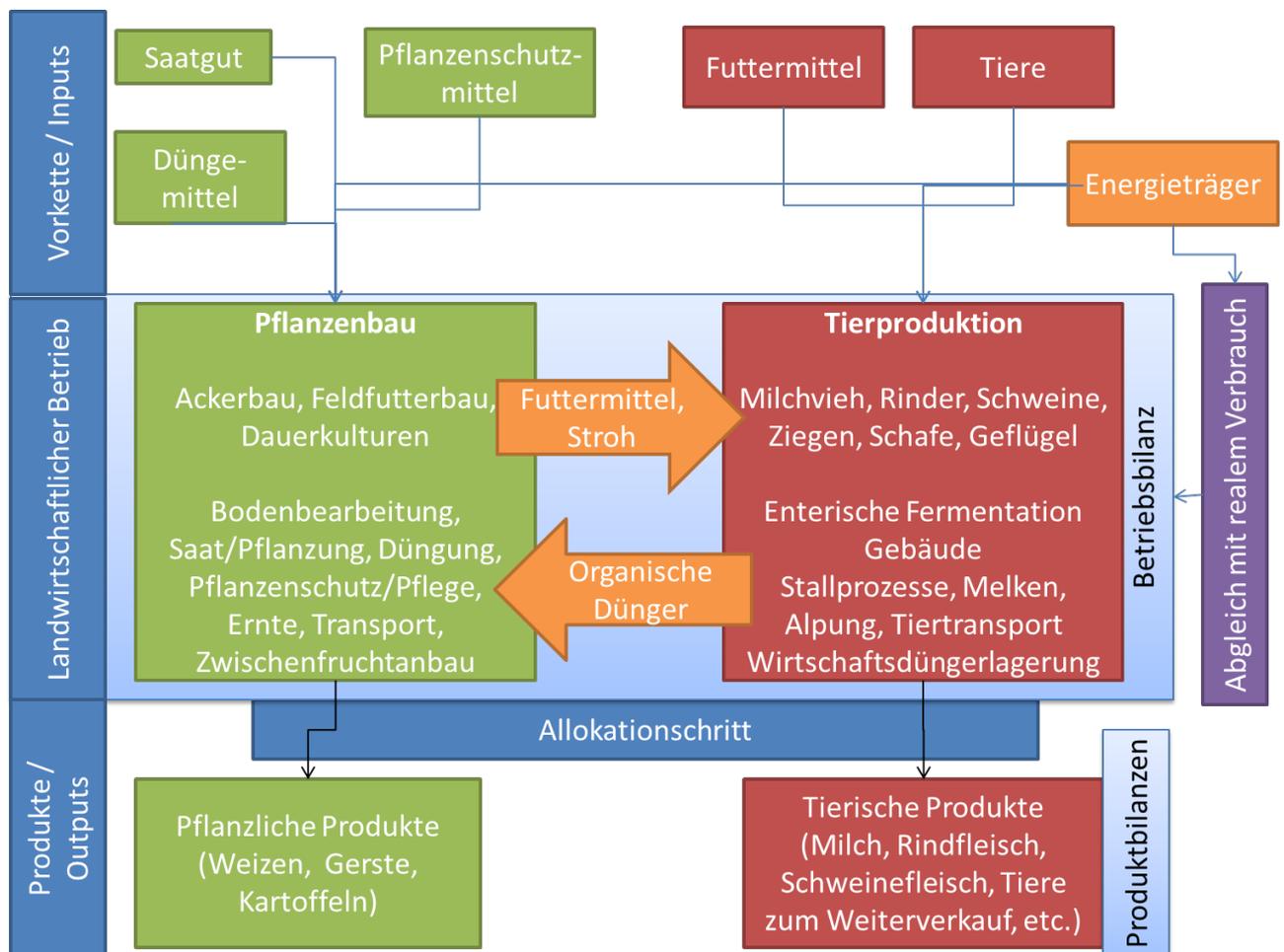
Grenzen des Ansatzes sowie potenzielle Verwendungszwecke diskutiert und auf geplante Weiterentwicklungen hingewiesen.

## 2. Modellbeschreibung

### 2.1 Modellübersicht

Das Betriebsmodell ist ein flexibles Werkzeug zur Analyse und Optimierung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen auf Schweizer Biobetrieben. Im Modell werden alle erforderlichen Betriebsmittel und Prozesse zur Bewirtschaftung eines Betriebes, bzw. zur Produktion von Nahrungsmitteln, berücksichtigt.

Hauptbestandteile des Betriebsmodells sind das sogenannte Pflanzenbau- und das Tierproduktionsmodell, welche untereinander über innerbetrieblicher Stoff- und Energieflüsse (organische Dünger, Futtermittel, Stroh) verknüpft sind (Abbildung 1).



**Abbildung 1 Schematischer Überblick über das FiBL-Betriebsmodell**

Das Pflanzenbaumodell ist unterteilt in separate Module zu den pflanzenbaulichen Arbeitsschritten (wie Bodenbearbeitung, Saat/Pflanzung, Düngung, Pflanzenschutz/Pflege, Bewässerung,

Ernte) inkl. Transport, Trocknung und Verarbeitung, in ein Modul zu Kohlenstoffsequestrierung<sup>1</sup> (C-Sequestrierung), sowie ein Modul zu Lachgas-Emissionen (N<sub>2</sub>O-Emissionen).

Das Tierproduktionsmodell besteht aus Modulen zu Futtermittelzukauf, enterischer Fermentation<sup>2</sup>, Stallgebäuden, Melken, Wirtschaftsdüngermanagement, Alpung und Tiertransport.

In beide Modelle fliessen die entsprechenden THG-Emissionen und der Energieverbrauch über Vorketten (zugekaufte Futtermittel, Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Maschinen, Gebäude, Energieträger und Tiere) ein. Die verwendeten Emissions- und Energieverbrauchsfaktoren beruhen teilweise auf Werten aus der ecoinvent-Datenbank (Frischknecht *et al.*, 2007; Nemecek und Kägi, 2007) und teilweise auf weitergehenden eigenen Berechnungen. Beispielsweise wurde zur Modellierung der N<sub>2</sub>O-Emissionen und der C-Sequestrierung ein eigenes Modell entwickelt, welches der Wirkungsweise von organischen Düngemitteln Rechnung trägt. Die enterische Fermentation wurde auf Basis der aktuellen Richtlinie des International Panel on Climate Change (IPCC, 2006) sowie eines Schätzmodells von Kirchgessner (1995) berechnet. Zur detaillierten Modellierung der zugekauften Futtermittel wurden Herkünfte und Mengen importierter Futtermittel über die Bio Suisse erhoben.

Bei einer betrieblichen Bilanz werden die Emissionen der einzelnen Module aufsummiert und bezogen auf die funktionellen Einheiten Produktionsfläche\*Jahr<sup>-1</sup> und Produktion (Masse, Kalorien, Protein, Wertschöpfung) ausgedrückt. Der Energieverbrauch und die THG-Emissionen lassen sich für alle einzelnen Verfahren aus dem Tier- und Pflanzenbaumodell (z.B. Weizenproduktion, Milchproduktion) bilanzieren.

Weitere Details und Annahmen zu den Modellierungen mit dem Betriebsmodell sind bei den jeweiligen Massnahmen aufgeführt.

## 2.2 Datenerfordernisse

Das Betriebsmodell ist auf unterschiedliche Datenlagen anpassbar. Liegen detaillierte Betriebsdaten, beispielsweise zum Diesel- oder Stromverbrauch vor, können diese integriert werden. Falls diese Daten nicht vorhanden sind, oder es im Projektkontext aus methodischen Gründen vorteilhaft ist, diese nicht zu benutzen, kann auf Standarddaten aus Datenbanken oder Daten aus der Literatur zurückgegriffen werden.

### Hintergrunddaten

Die Daten setzen sich zum grössten Teil aus Daten der ecoinvent-Datenbank und den Annahmen in den IPCC-Berichten und Schweizer Treibhausgasinventaren zusammen. Vereinzelt werden auch andere Datenquellen (Wissenschaftliche Literatur, Datenbanken, Experteninterviews) verwendet. Die Datenherkunft ist im Modell im Einzelnen ausgewiesen.

### Vordergrunddaten

Die grosse Stärke des Modells ist seine Flexibilität. Ähnlich der Unterscheidung der verschiedenen Tiers in den IPCC-Guidelines können betriebspezifische Daten je nach Datenlage, verfügbarer Zeit und Fragestellung in verschiedenen Detailgraden angegeben werden. Die Datenerfordernisse sind – wo in diesem Zusammenhang relevant – in der Beschreibung der einzelnen Modellteile erläutert.

---

<sup>1</sup> Einlagerung von Kohlenstoff im Boden

<sup>2</sup> Emission von Methan bei der Pansenfermentation

## 2.3 Pflanzenbaumodell

Das Pflanzenbaumodell umfasst die im Zusammenhang mit dem Anbau notwendigen Arbeitsschritte von der Bodenbearbeitung über Aussaat/Pflanzung, Düngung, Pflegemassnahmen bis zur Ernte, sowie gegebenenfalls die Trocknung des Erntegutes. Für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen und der C-Sequestrierung bzw. -Mineralisierung werden die Stickstoff- und Kohlenstoffflüsse modelliert.

### Pflanzenbauliche Arbeitsschritte

Die im Zusammenhang mit der Modellierung des Pflanzenbaus berücksichtigten Arbeitsschritte umfassen:

- Bodenbearbeitung/Saatbettvorbereitung
- Saat/Pflanzung,
- Düngung,
- Pflanzenschutz/Pflege,
- Bewässerung,
- Ernte,
- Transport des Erntegutes vom Feld zum Hof,
- Trocknung und Verarbeitung
- Zwischenfruchtanbau.

Der durch die Arbeitsschritte verursachte Energieverbrauch und die durch die Verbrennung fossiler Energieträger einhergehenden THG-Emissionen werden basierend auf Daten aus ecoinvent (Nemecek und Kägi, 2007) berechnet. Gegenwärtig decken die Arbeitsschritte den Ackerbau sowohl für biologische als auch konventionelle Produktion umfassend ab. Dagegen fehlen derzeit Daten zu Obst-, Gemüse- und Weinbau-spezifischen Arbeitsschritten.

### N<sub>2</sub>O-Emissionen

Die Berechnung der direkten und indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen basieren auf dem IPCC-Modell (IPCC, 2006) inkl. der darin aufgeführten Emissionsfaktoren. Der Stickstoffeintrag über unterirdische und oberirdische Ernterückstände sowie derjenige über Gründüngung werden mit berücksichtigt.

Um der im Gegensatz zu Mineraldünger unterschiedlichen Wirkungsweise von organischem Dünger Rechnung zu tragen, wurde das Modell weiterentwickelt. Der grösste Anteil des in organischen Düngern vorhandenen Stickstoffs ist nicht direkt für die Pflanze verfügbar, sondern muss über mikrobielle Prozesse in Verbindungen umgewandelt werden, die von der Pflanze aufgenommen werden können. Dabei kann ein Anteil des gesamten im organischen Dünger vorhandenen Stickstoffs in Form von stabilen C-N-Verbindungen langfristig im Boden eingelagert werden. Dieser Prozess ist abhängig vom Bodentyp, den klimatischen Bedingungen, der Grösse des Kohlenstoffinputs in den Boden sowie von der Bodenbearbeitung. Wird Stickstoff im Boden langfristig eingelagert, wird bei der Berechnung der Lachgasemissionen dieser Anteil von der totalen Stickstoffmenge abgezogen. Über die Koppelung des Stickstoffflusses an den Kohlenstofffluss kann der im Boden langfristig eingelagerte Stickstoff über den Kohlenstofffluss berechnet werden.

### C-Sequestrierung

Die Berechnung des innerhalb eines Jahres erfolgten Aufbaus bzw. Abbaus des Kohlenstoffs im Boden erfolgt anhand des SOC-Modells in (IPCC, 2006) unter Berücksichtigung des Boden-

typs, der klimatischen Bedingungen, der Grösse des Kohlenstoffinputs in den Boden sowie der Bodenbearbeitung. Die Berechnung des im Boden langfristig gebundenen (100 bis 1'000 Jahre) Kohlenstoffs erfolgt aus den über das SOC-Modell errechneten Boden-Kohlenstoffwerte aufbauend auf dem Modell von (Favoino und Hogg, 2008).

In der Klimabilanz der Pflanzenbauprodukte wird die C-Sequestrierung nur in der funktionellen Einheit Fläche\*Jahr<sup>-1</sup> ausgewiesen, da aufgrund der fehlenden Abhängigkeit vom Ertrag ein Bezug zur Menge Produkt nicht direkt möglich ist. Hierbei ist anzumerken, dass die in der Berechnung ausgewiesene C-Sequestrierung eine Momentaufnahme widerspiegelt und die Berechnung von der Annahme ausgeht, dass das Kohlenstoffdepot im Boden noch nicht aufgefüllt ist. Im Model noch unzureichend abgebildet ist die C-Sequestrierung auf Dauergrünland.

## 2.4 Tierproduktionsmodell

Das Tierproduktionsmodell ist in die Bereiche Futtermittelzukauf, Enterische Fermentation, Stallgebäude, Melken, Wirtschaftsdüngermanagement, Alpung und Tiertransport aufgeteilt. Diese werden in den folgenden Absätzen kurz skizziert.

### **Futtermittelzukauf**

Es werden alle zugekauften Futtermittel berücksichtigt. Futtermittel die vom Betrieb selbst produziert werden, sind im Pflanzenbaumodul bereits berücksichtigt. Dies betrifft auch Dauerwiesen und -weiden. Betriebe, die Futtermittel an Mühlen liefern und von diesen Mischfutter beziehen, können die Anteile dieser Futtermittel abziehen.

Bei zugekauften Futtermitteln können Herkunft, Transportdistanzen und Transportmittel individuell eingestellt werden. Derzeit können insbesondere für Milchkühe sehr detaillierte Futterrationen berechnet werden.

### **Enterische Fermentation**

Die enterische Fermentation von Milchkühen kann wahlweise nach Kirchgessner (1995), IPCC (2006) und weiteren Ansätzen abgeschätzt werden. Für andere Tierarten werden standardmässig IPCC-Schätzformeln verwendet.

### **Stallgebäude**

Zur Abbildung des Energieverbrauchs durch Stallinfrastruktur und Stallprozesse (Futtermittel, Ausmisten, etc.) werden Daten aus ecoinvent (Nemecek und Kägi, 2007) sowie nach Angaben von Mack (2008) verwendet. Eine Ausstattung der Dachflächen mit Solarthermik oder Photovoltaik kann unter Berücksichtigung von standortspezifischen Daten zu Dachausrichtung, -neigung und Sonnenscheindauer modelliert werden.

### **Melken**

Zur Abbildung des Energieverbrauchs durch das Melken und der dafür nötigen Infrastruktur werden Daten aus ecoinvent (Nemecek und Kägi, 2007) sowie nach Angaben von Mack (2008) verwendet. Energieverbrauchs-Optimierungsmöglichkeiten z.B. durch Wärmetauscher bei der Milchkühlung können berücksichtigt werden

### **Wirtschaftsdüngermanagement**

Bei der Modellierung von Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement wird streng nach den Richtlinien der IPCC (2006) vorgegangen. Dabei wird die Wirtschaftsdüngermenge in Weide, Festmist und Güllesysteme aufgeteilt. Effekte unterschiedlicher Jahres-

durchschnittstemperaturen können modelliert werden. Unterschiedliche Emissionsprofile durch Stallmistkompostierung werden nach Amon (1998) modelliert.

### **Alpung**

Falls relevant kann die Alpungsphase inklusive Transportemissionen modelliert werden. Dazu werden ecoinvent-Inventare verwendet (Nemecek und Kägi, 2007).

### **Tiertransport**

Transportmittel und -distanzen für Tiertransporte bei Zukauf und/oder Schlachtung können wahlweise berücksichtigt und individuell eingestellt werden. Dazu werden ecoinvent-Inventare verwendet (Nemecek und Kägi, 2007).

## **2.5 Systemgrenzen / Produktallokationen**

Im Zentrum der THG- und Energieverbrauchsberechnungen mittels des Betriebsmodells steht der landwirtschaftliche Betrieb.

Die THG-Emissionen, die durch den anfallenden Kot auf den Auslaufflächen und den Weiden entstehen, sowie die Emissionen der Hofdüngerlagerung und -behandlung (Wirtschaftsdüngermanagement) werden der Tierhaltung angelastet. THG-Emissionen, die durch das Ausbringen von Dünger in der Pflanzenproduktion entstehen, werden der Pflanzenproduktion angelastet. Werden pflanzliche Produkte für die Tierhaltung verwendet (Fütterung, Einstreu), werden die Emissionen aus der Pflanzenproduktion vollumgänglich der Tierhaltung angerechnet.

Die Allokation bei pflanzlichen und tierischen Koppelprodukten (z.B. Getreide und Stroh, Fleisch und Milch) erfolgt standardmässig ökonomisch, d.h. gemäss der Erlöse die durch die Produkte generiert werden. Andere Allokationsverfahren, z.B. nach Proteingehalt oder verwertbarer Energie sind einstellbar. Die zugrundeliegenden Preise sind dem Preiskatalog entnommen und können produkt-spezifisch angepasst werden.

## **2.6 Modellierung von Massnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und von Treibhausgasemissionen**

Derzeit sind die folgenden 11 Massnahmen im Betriebsmodell integriert, die direkt oder indirekt zur Reduktion des Energieverbrauchs und zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen auf Betrieben beitragen.

1. Standortangepasste Umstellung auf Vollweide,
2. Kraffutterfreie Fütterung der Milchkühe,
3. Einsatz von Zweinutzungsrasen,
4. Energieeffiziente Milchkühlungssysteme,
5. Schattenbäume auf Viehweiden,
6. Steigerung der Nutzungsdauer von Milchkühen,
7. Kompostierung von Stallmist,
8. Reduzierte Bodenbearbeitung,
9. Einsatz von Photovoltaik,
10. Optimierung der Effizienz von Maschinen und Traktoren / Ecodrive und
11. Optimierte Nutzungsdauer von Maschinen.

Die Klimawirkung dieser Massnahmen lässt sich derzeit direkt mit dem Modell betriebsindividuell berechnen. Weitere Massnahmen können nach Wunsch in das Modell eingebaut werden.

## 2.7 Ausgabe der Resultate

Neben der gesamtbetrieblichen Aggregation des Energieverbrauchs und der Klimagasemissionen, liefert das FiBL-Betriebsmodell die Resultate einzeln für jeden Betriebszweig absolut und als relativer Anteil an den gesamtbetrieblichen Werten. Zusätzlich werden innerhalb der einzelnen Betriebszweige die Energieverbrauchswerte und die THG-Emissionen einzeln für jedes Produkt aufgewiesen. Sämtliche Resultate werden sowohl tabellarisch aufgeführt als auch grafisch dargestellt.

## 3. Diskussion

Abschnitt werden Stärken und Grenzen des Ansatzes dargestellt. Darauf basierend werden dann Verwendungs- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten abgeleitet.

### 3.1 Stärken des Ansatzes

Die grosse Stärke des Betriebsmodell-Ansatzes ist seine Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten und der Datenerfordernisse. Grundsätzlich gilt, dass betriebsindividuelle Daten, etwa zu Bestandesmanagement, Futterstrategien oder Gebäuden, berücksichtigt werden können. Falls aber betriebsindividuelle Daten nicht vorliegen, eine Erhebung zu teuer ist oder für die betreffende Fragestellung nicht relevant ist, können wahlweise Standarddaten verwendet werden.

Verglichen mit anderen Modellen (z.B. Cool Farm Tool, <http://www.sustainable-living.unilever.com/news-resources/news/greenhouse-gases/cool-farm-tool-gets-cooler/>) liegen im Modell sehr hochwertige Daten zur Modellierung von Schweizer Bio-Betrieben aus Datenbanken und eigenen Erhebungen vor. Das Modell beinhaltet das Fachwissen von vielen Wissenschaftlern und Beratern des FiBLs.

Ausserdem bietet das FiBL-Betriebsmodell die Möglichkeit, die Umweltwirkungen (Energieverbrauch und THG-Emissionen) flexibel für den Gesamtbetrieb und bestimmte Produkte aufzuteilen. Die Allokationsregeln können betriebsindividuell modifiziert werden.

Bei der Entwicklung des FiBL-Betriebsmodells stand im Vordergrund, Charakteristika von Bio-betrieben besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Deshalb wurden insbesondere die N<sub>2</sub>O-Emissionsberechnungen an die spezifische Wirkungsweise von Wirtschaftsdüngern angepasst und ein C-Sequestrierungsmodell eingebaut.

### 3.2 Grenzen des Modells

Mit dem Modell können Betriebs- und produktbezogene Bilanzen des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen durchgeführt werden. Datengrundlagen und Modelle entsprechen den heutigen technischen und qualitativen Anforderungen. Die Berechnungen wurden in verschiedenen Pilotstudien getestet und meist FiBL-intern von Experten begutachtet.

Dennoch ist die Qualität der Resultate, die mit diesem Modell erzeugt werden können, durch die Datenqualität der betrieblichen Daten vorgegeben. Derzeit sind nur die Wirkungskategorien Energieverbrauch und THG-Emissionen im Modell implementiert. Ausserdem liegen Standarddaten zurzeit vor allem für Biobetriebe (insbesondere Milchvieh- und Gemischtbetriebe) in der Schweiz vor. Für die Übertragung des Modells auf andere Rahmenbedingungen sind teilweise Modellanpassungen nötig.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass dieses Modell primär für einzelbetriebliche Analysen konzipiert wurde. Betriebs- und Produktvergleiche sind grundsätzlich möglich sollten aber kontextspezifisch interpretiert werden. So ist es beispielsweise beim Vergleich von Tal- und Bergbetrieben häufig so, dass Bergbetriebe in einer produktbezogenen Bilanz ungünstiger abschneiden als Talbetriebe (aufgrund geringerer Produktivität). Dies liegt vor allem an den standortspezifischen Gegebenheiten und kann durch das Betriebsmanagement wenig beeinflusst werden. Daraus grundsätzlich zu schlussfolgern, dass eine Berglandwirtschaft oder eine

Raufutter-basierte Milchproduktion nicht vorteilhaft (weil nicht klimaeffizient) wäre halten wir für inkorrekt.

Fragen die die grundsätzliche Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion in der Schweiz betreffen, beispielsweise klimapolitische Massnahmen) sind unserer Meinung nach deshalb unter Berücksichtigung der gesamtsektoralen Auswirkungen zu untersuchen. Das FiBL hat hierzu geeignete Modelle entwickelt. Beispielsweise ist es mit dem Modell FARMIS möglich solche Fragestellungen zu beantworten (Sanders, 2007; Schader, 2009).

Auch einzelbetriebliche Ergebnisse, bspw. zu Optimierungsmassnahmen, müssen vorsichtig interpretiert werden. Beispielsweise wird das Emissionsprofil von rinderhaltenden Betrieben oft durch die Methanemissionen dominiert. Dies führt dazu, dass relative Verbesserungen durch Energieeinsparmassnahmen (z.B. optimierte Milchkühlung) die Gesamtemissionen des Betriebes nur marginal beeinflussen. Dennoch sind diese Massnahmen oft absolut sinnvoll, da sie einige der wichtigsten Stellschrauben des Betriebes betreffen.

### 3.3 Verwendungszwecke

Vor dem Hintergrund der oben diskutierten Stärken und Grenzen des Modells, eignet es sich insbesondere für folgende Verwendungszwecke:

- Detaillierte betriebliche und produktbezogene Analysen
- Wissenschaftliche Untersuchung der Auswirkung verschiedener Optimierungsmassnahmen
- Betriebsberatungen und Betriebsoptimierungen
- Monitoring- und Verifizierungsansätze, etwa für Zulieferbetriebe von Verarbeitungs- und Handelsbetrieben
- Betriebsvergleiche und Benchmarking

### 3.4 Geplante Weiterentwicklungen des Modells

Folgende Weiterentwicklungen des Modells sind geplant:

- **Modellierung weiterer betrieblicher Optimierungsmassnahmen:** Derzeit ist die detaillierte Abbildung von 11 verschiedenen Optimierungsmassnahmen möglich. Ziel ist es, die Massnahmenpalette in den nächsten Jahren stark zu erweitern.
- **Integration von Waldflächen in die Betriebsbilanz:** Auf die Treibhausgasemissionen eines Betriebes können Waldflächen einen enormen Einfluss haben. Es ist deshalb geplant diese in der Bilanz auszuweisen. Um die Vergleichbarkeit von betreiben nicht einzuschränken werden diese aber in der Bilanz separat ausgewiesen werden.
- **Abbildung weiterer Nachhaltigkeitsbereiche:** Bei der Betriebsoptimierung können Wechselwirkungen und Zielkonflikte zwischen Umwelt- und Nachhaltigkeitsbereichen auftreten. Daher sollten Energieverbrauch- und THG-Emissionen nicht isoliert betrachtet werden. Insbesondere die Bereiche Luft- und Gewässerbelastung, Humusaufbau, Biodiversität, Tierwohl, Ökonomie und Soziales sind mittelfristig geplant.
- **Erweiterung für Sonderkulturen:** Zurzeit sind im Modell Standarddaten zu den flächenmässig wichtigsten Ackerbau-, Feldfutterbau und Tierhaltungskategorien implemen-

tiert. Weitere Verfahren (z.B. Weinbau, Obst- und Gemüsebau) werden sukzessive eingebaut.

- **Erweiterung für konventionelle Betriebe:** Um mit dem Modell Vergleiche zwischen konventionellen Betrieben und Biobetrieben durchführen zu können, müssen Betriebsmittel, die im konventionellen Landbau üblich sind, in das Modell integriert werden.
- **Erweiterung für andere geographische Regionen:** Das Modell ist grundsätzlich geeignet, auch Betriebe in anderen Regionen zu analysieren und zu beraten. Hierzu müssen allerdings Standarddaten für diese Betriebe erhoben und eingebaut werden.
- **Vergleich mit anderen Modellen:** Um das Modell stetig zu verbessern, streben wir Vergleiche mit anderen Modellen an.

## Danksagung

Die Autoren dieses Diskussionspapier danken den vielen Experten, die die Modellentwicklung mit ihrem Wissen unterstützten. Dazu zählen: Barbara Früh, Hansueli Dierauer, Christoph Fankhauser, Silvia Ivemeyer, Peter Klocke, Paul Mäder, Eric Meili, Christophe Notz, Bernadette Oehen, Anet Spengler, Pamela Staehli und Christian Winkler. Ausserdem danken wir den Betriebsleitern, die ihre Betriebe schon einer Klimabilanzierung unterzogen haben, und damit zum Testen und Optimieren des Modells beigetragen haben.

# Literatur

- Amon, B.R. (1998). 'NH<sub>3</sub>-, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Festmistverfahrenskette Milchviehanbindehaltung Stall - Lagerung - Ausbringung'. Dissertation. Wien, Universität für Bodenkultur.
- Bellarby, J., Foerid, B., Hastings, A. and Smith, P. (2008). 'Cool Farming: Climate Change Impacts of Agriculture and Mitigation Potential', available online at: [www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/cool-farming-full-report/](http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/cool-farming-full-report/), accessed 23.12.2011.
- Bischofberger, N. and Gattinger, A. (2011). 'Klimaschutz auf Biobetrieben - Merkblatt', Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz.
- BLW (2011). 'Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft', Bern, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).
- Favoino, E. and Hogg, D. (2008). 'The potential role of compost in reducing greenhouse gases'. *Waste Manag Res* 26: 1, pp. 61-9.
- Frischknecht, R., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Jungbluth, N., Nemecek, T., Reblitzer, G. and Spielmann, M. (2007). 'Overview and methodology. Final report ecoinvent v2.0 No.1', Duebendorf, Switzerland, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Hersener, J.-L., Baumgartner, D. and Dux, D. (2011). 'Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Schlussbericht', Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).
- IPCC (2006). '2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use', Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (2007). 'Climate Change 2007 - Synthesis report', Cambridge, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Kirchgessner, M. (1995). *Tierernährung*, Frankfurt/Main: DLG-Verlag.
- Mack, G. (2008). 'Personal communication. ART-internal data on energy use of livestock housing systems, 12 January 2008', Aadorf, Switzerland.
- McKinsey (2009). 'Pathways to a Low-carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve', available online at: <https://solutions.mckinsey.com/climateDesk/default.aspx>, accessed 23.12.2011.
- Nemecek, T. and Kägi, T. (2007). 'Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Data v2.0. Ecoinvent report No. 15', Zürich and Dübendorf, ecoinvent centre. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station (ART).
- Sanders, J. (2007). 'Economic impact of agricultural liberalisation policies on organic farming in Switzerland'. PhD thesis. *Institute of Rural Sciences*. Aberystwyth, University of Wales.
- Schader, C. (2009). 'Cost-effectiveness of organic farming for achieving environmental policy targets in Switzerland'. Ph.D. thesis. *Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences*. Aberystwyth, Aberystwyth University, Wales. Research Institute of Organic Farming (FiBL), Frick, Switzerland.