

# Erfassen und Bewerten von Treibhausgasemissionen im landwirtschaftlichen Betrieb

H. Eckert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jena, Am Rosenhang 6

## 1. Einleitung und Situation

Die Landwirtschaft ist an den Gesamtemissionen der Treibhausgase (THG) in Deutschland zu ca. 11 % beteiligt und gilt damit als bedeutender Emittent. Das macht die Erfassung der Emissionsinventare im landwirtschaftlichen Betrieb nötig, weil Maßnahmen zur Verminderung von THG dort ansetzen müssen, wo sie entstehen. Nur so können Minderungspotenziale erkannt, Beratungsangebote genutzt und gegenüber der Öffentlichkeit argumentative Kompetenz gewahrt werden. Zur Erfassung des Emissionsinventars gibt es einheitliche Berechnungsverfahren, die auch einzelbetrieblich anwendbar sind (NIR, 2007, IPCC, 2006, Dämmgen et al., 2008). Auf Beschluss des USL-Fachausschusses ist 2004 die THG-Emission in das Kriteriensystem KUL (Übersichten s. Eckert et. al. 1999, Breitschuh et al. 2008) eingegliedert worden.

Die Landwirtschaft emittiert neben CO<sub>2</sub> auch die hinsichtlich Klimawirksamkeit wesentlich potenteren Treibhausgase CH<sub>4</sub> (Rinderhaltung) und N<sub>2</sub>O (Stickstoffumsatz), die einen GWP-Faktor von 21 bzw 310 aufweisen (CO<sub>2</sub>=1). Gemessen an der Wertschöpfung ist daher die THG-Emission des Agrarsektors überproportional hoch (Tabelle 1).

Tab. 1: THG-Emission der deutschen Landwirtschaft (NIR<sup>1</sup> 2007, Wegener 2007)

Treibhausgas	2004		t CO <sub>2</sub> -Äq/ha LF
	Mt CO <sub>2</sub> -Äq	rel. zu Deutschland	
CO <sub>2</sub>	48	5	2,8
CH <sub>4</sub>	25	44	1,5
N <sub>2</sub> O	40	65	2,4
<b>∑ Landwirtschaft</b>	<b>113</b>	<b>11</b>	<b>6,6</b>
<b>∑ Deutschland</b>	<b>1017</b>	<b>100</b>	-

<sup>1</sup>National Inventory Report (Nationales Treibhausgasinventar)

Insgesamt emittiert die deutsche Landwirtschaft 113 Mt CO<sub>2</sub>-Äq (ca. 11 % der Gesamtemission Deutschlands). Das entspricht ca. 6,6 t CO<sub>2</sub>-Äq. je ha LF. Davon entfallen 2,8 t auf CO<sub>2</sub>, 1,5 t auf CH<sub>4</sub> und 2,4 t auf N<sub>2</sub>O. Die rel. hohe Emission bei CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O wird vor allem durch die Bearbeitung organischer Böden verursacht, die mit einer Emission von fast 30 Mt CO<sub>2</sub>-Äq (1,7 t CO<sub>2</sub>-Äq/ha) den größten Einzelposten der landwirtschaftlichen THG-Emission stellen (Wegener 2007).

## 2. Erfassen und Bewerten landwirtschaftlicher THG-Emissionen

### 2.1. Ermittlung des THG-Inventars im Landwirtschaftsbetrieb

Die Aufnahme des betrieblichen Emissionsinventars muss Mindestanforderungen entsprechen, um neben betrieblichen Beratungsaufgaben auch eine außerbetriebliche Ergebnisverwendung zu ermöglichen. Sie muss

- vollständig sein und Ausgrenzungen begründet benennen,
- hinreichend genau sein,
- weitgehend den Richtlinien entsprechen und
- dokumentiert und reproduzierbar sein (Dämmgen und Lüttich 2002).

Das Grundprinzip aller Berechnungen zur Erfassung von THG besteht darin, eine Aktivität mit einem Emissionsfaktor zu belegen:

$$\text{Emissionsstrom} = \text{Aktivität} * \text{Emissionsfaktor}$$

Beispiele:

$$\text{CO}_2\text{-Emission} = \text{Energieverbrauch in GJ} * \text{CO}_2\text{-Emission je GJ}$$

$$\text{CH}_4\text{-Emission} = \text{Anzahl Tierplätze} * \text{CH}_4\text{-Emission je Tierplatz}$$

$$\text{N}_2\text{O-Emission} = \text{N-Umsatz in kg N/ha} * \text{N}_2\text{O-Emission je kg N-Umsatz.}$$

Dabei wird zwischen einfacheren Verfahren, die sich auf statistische Größen und mittlere Emissionsfaktoren stützen, verbesserte Verfahren, die sich zumindest teilweise auf gemessene oder berechnete Ausgangsgrößen beziehen und detaillierte Verfahren, die den Gesamtprozess in Teilprozesse bzw. Teilpopulationen auflösen, unterschieden (IPCC 2006, Dämmgen et al. 2008, unveröff.) Für Landwirtschaftsbetriebe kommt je nach THG und betrieblicher Datenlage der detaillierte bzw. verbesserte Ansatz in Frage, wobei Letzteres von der Datenqualität des jeweiligen Auswertungsbetriebs abhängt.

#### 2.1.1 CO<sub>2</sub>-Emission

CO<sub>2</sub> entsteht direkt durch den Verbrauch von Energieträgern (Treibstoffe, Brennstoffe, Zukauffutter, Saatgut etc.) und indirekt durch den Verbrauch von Betriebsmitteln, deren Herstellung zu CO<sub>2</sub>-Emissionen führt (Strom, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel etc.). Daneben entstehen erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Netto-Mineralisationsprozesse (Humusoxidation) und durch Kalkung. Aufgrund der unzureichenden Datenlage werden beide Prozesse in KUL vorerst nicht berücksichtigt. Allerdings ist vorgesehen in Betrieben, die organische Böden bearbeiten, die zusätzliche CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emission zu erfassen.

Grundlage zur Erfassung des CO<sub>2</sub>-Emissionsinventars ist die Energiebilanz, die den direkten und indirekten Verbrauch an Energieträgern in GJ ermittelt. Durch Multiplikation des Heizwerts (GJ) mit dem Emissionsfaktor (kg CO<sub>2</sub>/GJ) des jeweiligen Energieträgers ergibt sich der CO<sub>2</sub>-Emissionsstrom.

Ausgegrenzt werden nicht eindeutig quantifizierbare Energieinputs (menschliche Arbeitskraft, Immobilienbestand, Maschinen und Geräte), deren Bewertung unklar ist und in der Literatur auch sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Da der Anteil dieser Größen am Gesamtenergieinput gering ist und in keinem Verhältnis zum hohen Erhebungsaufwand steht, ist eine Ausgrenzung im Interesse von Transparenz und Machbarkeit zu rechtfertigen (Pimentel, 1992; Born, 1992).

### 2.1.2 CH<sub>4</sub>-Emission

Hauptquellen der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung sind die direkte stoffwechselbedingte (ruminale) Emission, die ca. 80 % der gesamten Methanemission ausmacht und die Emission aus Wirtschaftsdünger, die mit ca. 20 % veranschlagt wird.

Für die ruminale Emission berechnet sich der CH<sub>4</sub>-Emissionsfaktor EF nach

$$EF = BE * X_{CH_4} / E_{CH_4} \text{ (IPCC 2006).}$$

EF = CH<sub>4</sub>-Emissionsfaktor (kg CH<sub>4</sub>/Tier\*a)

BE = Bruttoenergie des Futters (MJ/Tier\*a)

X<sub>CH<sub>4</sub></sub> = CH<sub>4</sub>-Konversionsrate (Anteil Bruttoenergie, der in CH<sub>4</sub> umgewandelt wird = 0,065 für Rinder)

E<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Energiegehalt CH<sub>4</sub> (55,56 MJ/kg CH<sub>4</sub>).

Für Tiergruppen, für die die Bruttoenergie des Futters nicht belegbar zur Verfügung steht, kommen Standard-Emissionsfaktoren zum Einsatz, die verbindlich vorliegen (NIR 2007).

Die Emission aus dem Wirtschaftsdüngermanagement berechnet sich aus dem Anteil des umsetzbaren C, der sich aus Futterverdaulichkeit und Aschegehalt ermittelt (NIR 2007).

$$EF_{WD} = VS * 365 \text{ d} * B_O * P_{CH_4} * MCF$$

EF<sub>WD</sub> = CH<sub>4</sub>-Emissionsfaktor (kg CH<sub>4</sub>/Tier\*a)

VS = umsetzbarer C (Futter-TM \* (1-V) \* (1-A)); V = %Verdaulichkeit/100, A = % Asche/100)

B<sub>O</sub> = Methan-Bildungspotential (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS)

P<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Dichte von Methan (0,67 kg/m<sup>3</sup>)

MCF = Konversionsfaktoren für Aufstallung und Klimaregion

Auch hier ist in Ermangelung exakter betrieblicher Daten auf Standardwerte zurückzugreifen, die das Methanbildungspotential aus den Exkrementen verbindlich vorgeben (Dämmgen et al. 2008, IPCC 2006).

### 2.1.3 N<sub>2</sub>O-Emission

Es sind im Wesentlichen die Prozesse der Nitrifikation ( $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_3$ ) und der Denitrifikation ( $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$ ), durch die N<sub>2</sub>O freigesetzt wird, das dann via Bodenluft die Atmosphäre erreichen kann. Einflussgrößen für diesen Prozess sind die N-Umsatzraten sowie Bodenparameter wie Temperatur, Luftvolumen, Wassersättigung etc. In Anlehnung an IPCC (1995) und Dämmgen et al. (2002 und 2008) wird unabhängig von der Art des N unterstellt, dass 1 % des Stickstoff-Umsatzes als N<sub>2</sub>O-N emittiert wird. Auf dieser Grundlage erfolgt die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emission nach

$$N_2O\text{-Emission (kg N}_2\text{O/ha)} = \frac{N\text{-Umsatz (kg N/ha)} * 1,57}{100}$$

(1,57 = N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>O-N)

Als N-Umsatz zählt jede Art der N-Einbringung in den Boden (Wirtschaftsdünger, Mineraldünger, symbiontische N-Bindung, Rückführung von Ernterückständen, Gründüngung, NH<sub>3</sub>-Emissionen etc.).

## 2.2 Kriterien zur Beurteilung der THG-Emissionen im Landwirtschaftsbetrieb

Im Rahmen von KUL charakterisieren zwei Kriterien die Treibhausgasemission des Betriebs:

- a) die **spezifische Emission** (Emission in kg CO<sub>2</sub>-Äq je GJ Marktproduktion), die angibt, wie viel kg CO<sub>2</sub>-Äq emittiert worden sind, um 1 GJ Marktprodukt zu erzeugen und
- b) der **Treibhausgassaldo** in kg CO<sub>2</sub>-Äq/ha, der die Netto-CO<sub>2</sub>-Vermeidung kennzeichnet.

Die Dokumentation der betrieblichen THG-Emission und Berechnung der beiden Kriterien erfolgt über ein Excel-Arbeitsblatt (Tab. 2), das Art und Umfang der THG-Emissionen, die Marktproduktion und die Berechnung der beiden Kriterien angibt.

Die linke Spalte zeigt die diversen THG-Quellen (Aktivität) des Produktionsprozesses vom Treibstoffverbrauch bis zur NH<sub>3</sub>-Emission. Die zweite Spalte kennzeichnet die Größe der jeweiligen Aktivität in GJ, N oder kg CH<sub>4</sub> und die nächsten vier Spalten geben die Emission in kg/ha für die drei THG und die einheitliche Bezugsgröße kg CO<sub>2</sub>-Äq an, die sich aus kg THG multipliziert mit dem GWP-Faktor des jeweiligen THG ergibt.

### 2.2.1 Ermittlung der spezifischen Emission

Für den Beispielsbetrieb ermittelt sich eine Emission von 5434 kg CO<sub>2</sub>-Äq, ein Wert der wenig aussagt, aber durch Bezug auf das verkaufte Marktprodukt aussagefähig wird. Die Marktproduktion um-

fasst den Verkauf pflanzlicher und tierischer Marktprodukte und evtl. den Verkauf von Wärme, Strom oder Rapsöl. Im Beispiel (Tab. 2) sind das 100,7 GJ/ha. Aus THG-Gesamtemission (kg CO<sub>2</sub>-Äq) geteilt durch die Marktproduktion (GJ), ergibt sich die spezifische Emission mit 54 kg CO<sub>2</sub>-Äq/GJ Marktproduktion. Der betriebsspezifische Toleranzbereich liegt zwischen 42 und 63, d.h. der ermittelte Wert liegt im Toleranzbereich.

Tab. 2: Erfassung der THG-Emission im Landwirtschaftsbetrieb

Betrieb	Tierbesatz: 0,5 RGV/ha; BF = 1000 ha; 15 % E.-Pflanzen				
	THG-Emission in kg/ha Bilanzfläche (BF)				
Aktivität	je ha BF	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Σ CO <sub>2</sub> -Äq
Zukauf Treibstoffe	4,7 GJ	343	-	-	343
Mineraldünger	6,0 GJ	340	-	2,2	1016
Strom (0,35 MWh)	3,9 GJ	216	-	-	216
Futter	18,4 GJ	1840	-	-	1840
Sonstiger Zukauf	2,0 GJ	146	-	-	146
Gülle (0,5 GV) + 50 ha BG-Gülle (35/8)	43 kg N	-	18	0,7	587
Ruminale CH <sub>4</sub> -Emission	55 kg CH <sub>4</sub>	-	55	-	1155
Symbiotische N-Bindung	10 kg N	-	-	0,2	48
NH <sub>3</sub> -Emission (0,5 GV+50 ha BG-Gülle)	17 kg N	-	-	0,3	83
<b>Summe THG-Emission (kg/ha BF)</b>		<b>2885</b>	<b>73</b>	<b>3,4</b>	<b>5434</b>
Verkauf pflanzlicher Marktprodukte/ha	75,4 GJ	* 100 kg CO <sub>2</sub> -Äq/GJ			7540
Verkauf tierischer Marktprodukte/ha	8,8 GJ	* 70			616
Verkauf Wärme, Strom, Rapsöl	16,5 GJ	* 85; 56; 73 kg CO <sub>2</sub> -Äq/GJ			1126
<b>Summe Marktproduktion/ha BF</b>	<b>100,7 GJ</b>				<b>9282</b>
<b>Spez. THG-Emission (kg CO<sub>2</sub>-Äq/GJ M.-Produkt)</b>		<b>54</b>	Toleranzbereich < 42 ... 63		
<b>THG-Saldo (kg CO<sub>2</sub>-Äq/ha BF)</b>		<b>3849</b>	Toleranzbereich > 4515 ... 3010		

## 2.2.2 Ermittlung des THG-Saldos

Der THG-Saldo errechnet sich aus

$$\text{THG-Saldo (kg CO}_2\text{-Äq/ha)} = \text{Marktprodukt (GJ)} * \text{Emissionsfaktor (kg CO}_2\text{-Äq/GJ)} \text{ minus THG-Emission (kg CO}_2\text{-Äq/ha)}$$

und gibt Auskunft über die effektive THG-Vermeidung des Betriebs. Für den Beispielbetrieb errechnet sich ein THG-Saldo von 3849 kg CO<sub>2</sub>-Äq/ha (9282 kg CO<sub>2</sub>-Äq minus 5434 kg CO<sub>2</sub>-Äq). Das kennzeichnet die Menge an CO<sub>2</sub>-Äq die der Atmosphäre netto entzogen und als Marktprodukte ver-

kaufte worden sind. Die Menge von 3850 kg/ha entspricht der CO<sub>2</sub>-Emission, die beim Verbrennen von ca. 1,2 t Heizöl freigesetzt wird. Das ist als erheblicher umweltentlastender Effekt zu werten. Vorbehalte, dass dieser C-Export aus dem Betrieb keine wirkliche CO<sub>2</sub>-Entlastung darstellt, weil außerhalb des Betriebs durch Verstoffwechslung der Marktprodukte eine CO<sub>2</sub>-Entbindung stattfindet, haben keine Grundlage. Betrachtungsebene von KUL ist der einzelne landwirtschaftliche Betrieb und nicht die Volkswirtschaft, und es liegt auch nicht im Einflussbereich des Landwirts, ob die verkauften Marktprodukte als Energieträger zur Substitution fossiler Rohstoffe dienen oder als Nahrungsmittel verstoffwechselt werden.

## 2.3 *Bewertung der Kriterien*

Mit den Kennziffern spezifische Emission und THG-Saldo lassen sich Landwirtschaftsbetriebe hinsichtlich ihrer THG-Emission zuverlässig bewerten, Mängel aufdecken und in Verbindung mit den anderen KUL-Kriterien die zugrunde liegenden Ursachen benennen, aus denen sich entsprechende Handlungsoptionen ableiten lassen.

Die Bewertung muss allerdings berücksichtigen, dass die Höhe der THG-Emission struktur- und standortbedingt ist. Ein tierhaltender Betrieb kann ebenso wenig die spezifische Emission und den THG-Saldo eines viehlosen Betriebs erreichen, wie ein Betrieb in benachteiligter Lage die Flächenproduktivität einer begünstigten Lage. Grundsatz muss daher sein, optimal bewirtschaftete Betriebe unterschiedlicher Struktur ähnlich zu bewerten, um sicher zustellen, dass festgestellte Mängel Managementprobleme und nicht strukturelle oder standörtliche Unterschiede widerspiegeln. Es waren mithin Bewertungsalgorithmen zu schaffen, die unvermeidliche Einflüsse von vermeidlichen trennen.

Als unvermeidliche Einflussfaktoren gelten z.B.

- abfuhrorientierte Düngung (PK-Saldo = 0; N-Saldo = 0...20)
- standortangepasste Tierhaltung (Flächenproduktivität > Futterbedarf)
- angemessene tierische Leistungen (1 RGV = 16 GJ Marktproduktion; 4 t Milch, 0,4 t Fleisch)
- angemessenes Ertragsniveau (130 ... 70 GJ/ha)
- normgerechter Energieeinsatz (400 kWh/GV; 100 l Diesel/ha) etc.

Die bisherigen Ergebnisse an über 100 Betrieben aus dem gesamten Bundesgebiet zeigen, dass mit diesem Vorgehen Betriebe sehr unterschiedlicher Standorte und Struktur zuverlässig bewertet werden können.

### 3. Literatur

Born, P. (1992): CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger aus Biomasse? BWK 44, S. 271-274

Breitschuh, G., Eckert, H., Matthes, Ines, Strümpfel, J. (2008): Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft. KTBL-Schrift 466

Dämmgen, U., Lüttich, M. (2002): Spurengasemission aus der deutschen Tierhaltung. In: agrar, Bd. 34 Umweltrelevante Spurengase in der Land- und Forstwirtschaft. Hrsg. Dachverband Agrarforschung

Dämmgen, U., Lüttich, M., Döhler, H., Eurich-Menden, Brigitte, Osterburg, B. (2002): GAS-EM - ein Kalkulationsprogramm für Emissionen aus der Landwirtschaft, Abschnitt 7.3. In: Landbauforschung Völkenrode 52, S. 19-42.

Dämmgen, U., Lüttich, M., Haenel, H.-D., Döhler, H., Eurich-Menden, Brigitte, Osterburg, B. (2008): Nationaler Inventarbericht 2008 für 2006 - Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft (unveröff.)

Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D. (1999): Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. Agribiological Research 52, S 57-76

IPCC (1995): Guidelines for National Greenhouse Inventories. Vol 3. Greenhouse gas inventory reference manual. University Press, Cambridge, UK.

IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

NIR (2007): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2007. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2005, Umweltbundesamt

Pimentel, D. (1992): Energy inputs in production agriculture. In: Stout, B. A.: Energy in World Agriculture. Vol. 6: Fluck, R. (Ed.) Energy in farm production, S. 13-29, Elsevier

Wegener, J. (2007): Treibhausgas-Emissionen in der deutschen Landwirtschaft – Herkunft und technische Minderungspotenziale unter besonderer Berücksichtigung von Biogas (Diss. Göttingen 2006)