

Voreinschätzung des CO₂-Ausstoßes

Fattoria La Vialla



Arezzo

Die Analysen wurden durchgeführt von:

La Fabbrica del Sole s.c.ar.l.

Università Siena – Fachbereich Biotechnologie, Chemie und Pharmazeutik

Dr. Paolo Fulini – Leiter Koordination der Untersuchung

Dr. Maria Laura Parisi – Entwicklung und Validierung von Methode und Analysen

Prof. Riccardo Basosi – Leiter Oberaufsicht der Analysen



Inhalt

Einführung.....	3
Das verwendete Bezugssystem	3
1. Analyse der Daten im Input und im Ausstoß.....	4
3. Sektor Landwirtschaft, Waldbestand und Landfläche	6
4. Vergleich zwischen den im biologischen und im traditionellen Landbau verwendeten Düngemitteln	13
5. Schlussfolgerungen.....	18
Bibliografie und Datenbanken.....	19

Einführung

Der vorliegende Bericht ist die Fortführung der Studie, in der die Emissionen für das Jahr 2012 aus den Produktionstätigkeiten der Fattoria La Vialla in Poggiolo Castiglion Fibocchi, Arezzo (Toskana), bezüglich Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen errechnet und in Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂ Äqu) ausgedrückt wurden.

Neben der Berechnung des direkt oder indirekt produzierten Kohlendioxids durch die oben erwähnten Tätigkeiten werden in der Analyse die Beiträge aller Treibhausgase berücksichtigt, die auf der Basis der jeweiligen GWP-Werte (Global Warming Potential, GWP) durch das System erzeugt werden. Dabei handelt es sich um den Index, der den Beitrag eines Gases zur Klimaveränderung in Proportion stellt zu dem entsprechenden Kohlendioxid-Ausstoß, dessen GWP-Wert 1 ist. Laut dem Kyoto-Protokoll entspricht jedem Treibhausgas eine äquivalente CO₂-Menge.

Für die Berechnung der CO₂-Äquivalente wurden die vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC Emission Factor Database, 2007) veröffentlichten Emissionsfaktoren verwendet. Die Validierung der Analyse wurde unter Verwendung der Software Simapro und der Bewertungsmethoden zu den Einwirkungen in der Version 3.3 des Berechnungskodes vorgenommen. Wo nötig, wurden die sekundären Daten in der Datenbank Ecoinvent Version 2.2 ermittelt. Die Fattoria La Vialla stellt ihre Produkte nach den Grundsätzen der biodynamischen Landwirtschaft und im Respekt der Zyklichkeit und Vitalität des „Erdbodens“ her. Sie besitzt über 2.000 Hektar Land, von denen 613 Hektar bebaut sind, 206 Hektar sich derzeit in Umstellungsphase befinden, 759 Hektar aus Wald (hauptsächlich Eichen und Steineichen) und 536 Hektar aus Obst- und Olivenanbau (Weinreben und Olivenbäume) bestehen.

Die Fattoria La Vialla besitzt eine Pflanzenkläranlage zur Aufbereitung der häuslichen Abwässer sowie Photovoltaik-Anlagen für die Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien in Höhe einer Gesamtleistung von etwa 400 kWp. Papier und Karton für die Betriebskommunikation und die Verpackungen sind recycelt, wodurch die Kompensation des CO₂-Ausstoßes zu ihrer Herstellung auf der Basis eines eigens dafür entwickelten Zertifizierungssystems errechnet wird (siehe Ausführungen weiter unten).

Das verwendete Bezugssystem

Für die Berechnung der Emissionen haben wir das System im laufenden Zustand betrachtet. In unserer Analyse ermitteln wir nur die Inputs von Materie und Energie, die für den Produktionsbetrieb des Unternehmens notwendig sind, während die Herstellung der Anlagen und Maschinen nicht eingeschlossen sind. Die Berechnung der externen Umweltkosten bezieht sich daher auf die eingehenden (Rohstoffe und Energie) und ausgehenden Ströme (Fertigprodukte) für die Betriebstätigkeiten im Bezugsjahr.

Die Bezugszeit für den Lebensprozess beträgt zwanzig Jahre. Bei Ackerland in der Umstellung von traditioneller zu ökologischer Landwirtschaft wurde eine Umstellungsphase von acht Jahren angenommen, in denen die organische Bodensubstanz tendenziell zunimmt, um sich dann zu stabilisieren.

1. Analyse der Daten und des Ausstoßes

La Fattoria La Vialla ist ein Bauernhof und produziert biologische Nahrungsmittel. Neben des Anbaus finden hier auch Produktverarbeitung, Verpackung und Produktkennzeichnung statt. Insbesondere stellt die Fattoria Wein, Olivenöl, Molkereiprodukte und eingemachtes Gemüse her. Für die Verarbeitung und Verpackung der Produkte werden Gläser und Flaschen, Kunststoff-Folien für dehnbare Verpackungen, Papier und Karton verwendet.

Die folgende Tabelle zeigt den Verbrauch der Fattoria La Vialla unterteilt in: Energieverbrauch (elektrisch und thermisch), Materialverbrauch (Papier, Karton, Kunststoff und Glas), Verbrauch für die landwirtschaftliche Produktion (Dünger und Transport von landwirtschaftlichen Maschinen) sowie Verbrauch für Verkehrsmittel (Benzin und Diesel, landwirtschaftliche Maschinen).

Ausstoßberechnung 2012

Makro-Zonen	Menge	Maßeinheit	Ausstoß	Einheit	%
Stromverbrauch					
Elektrisch (1)	1.105.240,00	kWh	643,25	tCO ₂ Äqu	12,55%
Thermisch (Methan) (2)	183.000,00	m ³	358,68	tCO ₂ Äqu	7,00%
Thermisch (Flüssiggas) (3)	14.000,00	l	20,16	tCO ₂ Äqu	0,39%
Materialverbrauch					
Papier (4)	635.180,00	kg	536,73	tCO ₂ Äqu	10,47%
Karton (5)	852.100,00	kg	836,76	tCO ₂ Äqu	16,32%
Kunststoff (6)	50.136,63	kg	135,47	tCO ₂ Äqu	2,64%
Weißglas (7)	478.258,90	kg	335,26	tCO ₂ Äqu	6,54%
Halbweißglas (7)	244.690,60	kg	163,70	tCO ₂ Äqu	3,19%
Grünglas (7)	989.422,00	kg	884,54	tCO ₂ Äqu	17,25%
Stahl (8)	23.360,37	kg	103,72	tCO ₂ Äqu	2,02%
Aluminium (9)	2.676,84	kg	22,89	tCO ₂ Äqu	0,45%
Holz	33.775,58	kg	63,22	tCO ₂ Äqu	1,23%
Verbrauch für die landwirtschaftliche Produktion					
Dünger	1.284.872,00	kg	138,77	tCO ₂ Äqu	2,71%
Diesel für Landwirtschaftsmaschinen	63.500,00	l	168,28	tCO ₂ Äqu	3,28%
Verbrauch für den Transport					
Diesel für Transport	240.170,00	l	636,45	tCO ₂ Äqu	12,41%
Eisenbahntransport	24.000,00	l	63,60	tCO ₂ Äqu	1,24%
Benzin für Transport	6.465,00	l	15,39	tCO ₂ Äqu	0,30%

Gesamte Emissionen Produktionskreislauf	5.126,85	tCO₂ Äqu
--	-----------------	----------------------------

Tabelle 1: Verbrauch und Ausstoß der Fattoria La Vialla

Was den Verbrauch thermischer Energie durch Heizung, Warmwasser und Nutzwasser betrifft, wird Methan verwendet, dessen jährlicher Verbrauch bei 183.000 m³ liegt.

Die Fattoria verbraucht, neben der in den erneuerbaren Energienanlagen selbst produzierten Energie, jährlich 1.105.240 kWh Strom. Diese Energie, die insgesamt 643,25 t CO₂ pro Jahr ausstößt, wird durch RECS-Zertifikate (Renewable Energy Certificate System) kompensiert.

Im Vergleich zur vorangegangenen Analyse, bei der die Materialien Papier und Karton für den höchsten Ausstoß von CO₂ Äqu verantwortlich waren, stellt im Bereich des Materialverbrauchs jetzt das Grünglas die höchste Umweltbelastung dar, und zwar mit einem Beitrag von 17,25% (884,54 t CO₂) des Gesamtausstoßes.

An zweiter und dritter Stelle in Bezug auf das Gewicht beim Materialverbrauch, kann beobachtet werden, dass der Verbrauch von Papier und Karton prozentual überwiegt im Vergleich zu anderen Materialien und bei etwa 10,47% bzw. 16,32% liegt. Wie weiter unten ausgeführt wird, ist dieser insgesamt bedeutende Anteil am Ausstoß jährlich kompensiert durch den Kauf von Nature-Office-Zertifikaten, das heißt ein Zertifizierungssystem, das eine Kompensierung des CO₂-Äqu-Ausstoßes mit entsprechender Wiederaufforstung gewährleistet.

Die Fattoria La Vialla arbeitet mit biodynamischen Anbaumethoden, die keine chemischen Düngemittel einsetzen, sondern nur Rohstoffe natürlichen Ursprungs. Innerhalb der Analyse haben wir eine großzügige Überschätzung der Auswirkungen der Düngemittel vorgenommen, die Düngemasse in eine äquivalente Menge Hühnermist umgewandelt und daraufhin die Emissionen berechnet: Trotz der Überschätzung fällt die Düngung nicht mehr als zu 2,8% ins Gewicht, bei einem Gesamtausstoß von 138,77 t CO₂.

Hinsichtlich des Gesamtverbrauchs an Treibstoff für Fahrzeuge kann festgestellt werden, dass der Dieselverbrauch weitaus höher ist als der Benzinverbrauch, denn der Fahrzeugpark besteht in der Mehrzahl aus Dieselmotoren. Nach einer ersten Ausstoß-Analyse wurden die Benzinfahrzeuge zunehmend durch Dieselfahrzeuge ersetzt.

Zur Quantifizierung der Emissionen beim Stromverbrauch wurde die Kompensierung aufgrund der Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen berücksichtigt: Die Fattoria La Vialla besitzt nämlich mehrere Photovoltaikanlagen für insgesamt rund 400 kWp.

Berechnung der Kompensierungen

Energie FV-Anlage Vialla a Terra	152	kWp	182.400,00	kWh/Jahr	106,16	tCO ₂ Äqu
Energie FV-Anlage Cerbara Falda	35,52	kwp	42.624,00	kWh/Jahr	24,807168	tCO ₂ Äqu
Energie FV-Anlage Cerbara sched	76,44	kwp	91.728,00	kWh/Jahr	53,385696	tCO ₂ Äqu
Energie FV-Anlage Cerbara Eurostir	55,86	kWp	67.032,00	kWh/Jahr	39,012624	tCO ₂ Äqu
Energie FV-Anlage Subbiano	71,50	kwp	85.800,00	kWh/Jahr	49,9356	tCO ₂ Äqu

CO ₂ kompensiert aus FV-Anlagen	273,30	tCO ₂ Äqu
--	--------	-------------------------

Tabelle 2: Kompensierungen aus erneuerbarer Energieproduktion

Zur Berechnung der Emissionen durch Wärmeverbrauch wurde der Verbrauch von Erdgas und Flüssiggas einbezogen, der teilweise kompensiert ist durch die Produktion von Wärmeenergie aus erneuerbaren Quellen.

Die Fattoria La Violla ist auch mit einer solarthermischen Anlage mit einer Gesamtleistung von 18,90 kWp ausgestattet. Sie produziert in einem Jahr 27.234,90 kWh Wärme mit einer CO₂-Gesamtkompensierung von 7,03 t CO₂ Äqu.

Insgesamt belaufen sich die den vier Makro-Zonen "Energie", "Material", "Transport" und "Landwirtschaftliche Produktion" zugeordneten Emissionen auf 5'126,85 t CO₂ Äqu.

Bei einer nach Makro-Zonen unterteilten Analyse der Emissionen hat das Material den wesentlichsten Anteil mit einem Prozentsatz von 60,91% der Gesamtsumme.

Neben der RECS-Kompensierung benutzt die Fattoria La Violla Nature-Office-Zertifikate zur Kompensierung der Emissionen von Papier und Karton. Im Jahr 2012 belief sich das Total des kompensierten CO₂ auf 3'307,08 t CO₂ Äqu. Für die Verpackung hat die Fattoria La Violla im Jahr 2012 mittels Climate-Protection-Zertifikate von Landbell 459,59 t CO₂ Äqu kompensiert.

CO ₂ kompensiert aus FV-Anlage		273,30	tCO ₂ Äqu
CO ₂ kompensiert aus solarthermischer Anlage		7,03	tCO ₂ Äqu
Kompensierung Emissionen Papier und Karton	Nature-Office- Zertifikate	3.307,08	tCO ₂ Äqu
Kompensierung Verpackung	Climate Protection Landbell	459,59	tCO ₂ Äqu

Tabelle 3: Kompensierung

Relevant für die Analyse sind der Energieverbrauch beim Transport sowohl auf der Straße als auch auf Schienen (für den Eisenbahntransport wurde eine durchschnittliche Ersparnis von 70% im Vergleich zum Autotransport angenommen), der insgesamt 13% des Ausstoßtotals von 715 t CO₂ Äqu beträgt.

Was die Emissionen in der landwirtschaftlichen Produktion betrifft, und dabei insbesondere der Einsatz von Düngemitteln und der Verbrauch von Dieselmotoren für die landwirtschaftlichen Maschinen, ergeben die wesentlichsten Daten rund 3,28% für den Diesel der landwirtschaftlichen Maschinen und 2,71% für Hühnermist, was einem Total von 307 t CO₂ Äqu entspricht.

Ein besonderes Augenmerk gilt der CO₂-Aufnahme im Sektor Landwirtschaft, Waldbestand und Landfläche

3. Sektor Landwirtschaft, Waldbestand und Landfläche ⁽¹⁰⁾

Die Nutzbarmachung des Bodens und die damit zusammenhängenden menschlichen Tätigkeiten beeinflussen eine Vielzahl von Prozessen innerhalb eines Ökosystems, die zur Bildung von Treibhausgasen führen können.

Die wichtigsten Prozesse diesbezüglich sind Photosynthese, Atmung, Zersetzung, Nitrifikation und Denitrifikation sowie Biomasseverbrennung. Sie beinhalten die Umwandlung von Kohlenstoff und Stickstoff durch biologische (Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere) oder physikalische Prozesse (Verbrennung, Auswaschung und Abfluss).

Die CO₂-Flüsse zwischen Atmosphäre und Ökosystemen sind hauptsächlich durch Absorption mittels Photosynthese und Freisetzung durch die Atmung, Zersetzung und Verbrennung organischer Materie gesteuert. N₂O wird vorrangig durch Nitrifikations- und Denitrifikations-Prozesse ausgestoßen, während CH₄ durch Methanbildung unter anaeroben Bedingungen im Boden beim Jauchen und in geringeren Mengen während der Verbrennungsprozesse unter Sauerstoffmangel, z. B. beim Verbrennen von Stoppeln, ausgestoßen wird. In vielen dieser Prozesse werden auch indirekte Treibhausgase generiert (z. B. bei Verbrennung und Auswaschung).

Dieser Abschnitt ist der CO₂-Berechnung der Fattoria La Violla für den Sektor Landwirtschaft, Waldbestand und Landfläche gewidmet.

Die Ökosysteme sind gemäß dem von der IPCC-Methode vorgeschlagenen Schema in drei Kategorien unterteilt, die Kohlenstoff speichern können: Biomasse, tote organische Materie (Streu) und Boden.

Um die Veränderungen in der Kohlenstoffspeicherung der drei Kategorien zu ermitteln, das heißt die Nettobilanz zwischen Emissionen und Absorption von CO₂, stützt sich die IPCC-Methodik auf die Annahme, dass diese Veränderungen in einem Ökosystem vor allem durch den Austausch von CO₂ zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre erfolgen, und dabei beispielsweise das Auswaschen als vernachlässigbar angesehen werden kann. Auf diese Weise entspricht eine Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Laufe der Zeit einem klaren Abbau von CO₂ aus der Atmosphäre und die Reduzierung der Speicherung einem klaren Ausstoß in der Atmosphäre.

Die IPCC-Leitlinien 2006 erheben alle Emissionen und den Abbau von Treibhausgasen anthropogenen Ursprungs im Sektor AFOLU. Dies bedeutet, dass alle Emissionen und jeder Abbau in Rechnung gestellt werden, wenn sie Bereiche betreffen, die durch menschliche Aktivitäten verändert wurden, während diejenigen unbeachtet bleiben, die in der natürlichen, nicht durch den Menschen genutzten Umgebung auftreten.

Dieser Ansatz, die von Menschen genutzten Gebiete als Proxy für anthropogene Einflüsse zu verwenden, wird in den IPCC-Leitlinien aus dem Jahr 2003 "*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*" (IPCC, 2003) vorgeschlagen.

Zur Berechnung des eingeschlossenen CO₂ wurde die Methode "Gain-Loss" verwendet, die darauf beruht, dass die Variation der Kohlenstoffspeicherung errechnet wird durch Subtraktion des während eines jährlichen Wachstums in der pflanzlichen Biomasse fixierten Kohlenstoffs vom Kohlenstoff der abgebauten Biomasse.

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

ΔC_B = Jährliche Variation der Speicherung von Kohlenstoff in der Biomasse (oberirdisch und unterirdisch), t C Jahr⁻¹

ΔC_G = Jährliche Zunahme der Speicherung von Kohlenstoff durch die Vermehrung von Biomasse in jeder Kategorie der Bodennutzung, t C Jahr⁻¹

ΔC_L = Jährliche Abnahme der Speicherung von Kohlenstoff durch den Verlust von Biomasse in jeder Kategorie der Bodennutzung, t C Jahr⁻¹

Die Variation der Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse wurde ermittelt für die Bodennutzungskategorien Waldbestand und Anbauflächen. Nach Erhalt der Variation des Kohlenstoffbestands als Differenz aus dem fixierten Kohlenstoff und dem verlorenen gewinnt man die Anzahl Tonnen CO₂ durch Multiplizieren des erhaltenen Werts mal $\pm 44/12$ (Verhältnis der Molekulargewichte von CO₂ und Kohlenstoff), mit einem negativen Vorzeichen, wenn es sich um eine Absorption handelt, und positiv dagegen, wenn es sich um einen Abbau handelt.

Die Analyse der Emissionen wurde mithilfe der vom Betrieb gelieferten Daten durchgeführt, wie aus den untenstehenden Tabellen hervorgeht.

Waldart	Oberfläche je Waldart	Jährl. Zuwachs der oberirdischen Biomasse	Umwandlungs- und Ausdehnungsfaktor der Biomasse	Verhältnis zw. oberirdischer und unterirdischer Biomasse	Mittl. Jahreszuwachs der oberirdischen und unterirdischen Biomasse	Kohlenstoff-Fraktion	Gesamt C	Gesamt CO ₂
Einheit Quelle	ha Betriebl. Daten	m3/ha IFR	tBiomasse/m3 IPCC	- IPCC	t/ha eq.	% IPCC	tC/Jahr Äqu.	tCO ₂ /Jahr Äqu.
Esskastanie	60,00	7,08	0,60	0,46	6,20	0,51	189,85	696,11
Pinie	9,00	10,30	0,69	0,29	9,20	0,48	39,51	145,22
Flaumeiche	549,00	3,21	0,90	0,30	3,80	0,51	1.051,01	3.852,70
Zerreiche	117,00	4,42	0,60	0,30	3,40	0,51	205,56	753,73
Ausgew. Wald*	24,00	1,50	1,30	0,46	2,80	0,51	34,85	127,88

* es wurden die Werte für die mediterrane Macchia berücksichtigt

Aufnahme gesamt	5.576,64
------------------------	-----------------

Baumkulturen	Fläche der Baumkulturen	Übrige Kulturen	Gesamte Biomasse	Biomasse auf der Pflanze	Feuchtigkeit	Biomasse	Jährlicher Zuwachs der Biomasse	Kohlenstoff-Fraktion in der Biomasse	Zunahme des C	CO ₂ -Aufnahme
Einheit	ha	t/ha	t/ha	t/ha	%	t/ha	t	-	t/Jahr	tCO ₂ /Jahr
Weinberg	282,82	2,90	3,63	0,73	35,00	0,25	71,77	0,50	35,88	131,57
Olivenhain*	252,83	2,20	2,75	0,55	40,00	0,22	55,62	0,50	27,81	101,98

* unter Berücksichtigung von 250 Pflanzen je Hektar

Aufnahme gesamt	233,56
------------------------	---------------

CO₂-Speicherung im Boden	4,24	tCO₂ Äqu
--	-------------	----------------------------

Tabelle 4: Aufnahme Waldbestand und Landfläche

Die Fattoria La Violla hat eine Gesamtfläche von rund 759 Hektar mit mittlerer Wachstumskraft, davon: 549 Mischwald aus Eichen und Zerreichen, mit einem Flächendeckungsgrad von durchschnittlich 70%, 60 Hektar Kastanienwald mit einem Deckungsgrad von durchschnittlich 65% und 9 Hektar Pinienwald mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 85%. Das Unterholz besteht vorwiegend aus Heidekraut und Wacholder.

Von den 613 Hektaren bebauter Landfläche sind 252 Olivenhaine und 282 Weinberge. Sowohl die Weinberge als auch die Olivenhaine werden bei der Berechnung des CO₂ Äqu einbezogen. Die bei der Berechnung der jährlichen CO₂-Absorption ermittelte Waldfläche ist die oben angeführte. Die Aufteilung nach Art der Bewirtschaftung von Niederwald und Hochwald erfolgte unter Verwendung der Daten der Regionalen Waldinventur (IFR, 1999).

Die Werte des jährlichen Anstiegs der Biomasse der bewirtschafteten Arten von Hochwald sind Mittelwerte der Waldwirtschaft in der Region Toskana, während die Zuwachswerte des Niederwalds ermittelt wurden, indem der spezifische Growing-Stock-Wert (zunehmende Biomasse) gemäß IFR-Daten durch die mit 24 Jahren festgesetzte Dauer des Holzschlags dividiert wurde, wie auch aus der Untersuchung zum Zustand der Wälder in der Toskana hervorgeht (CRA, 2002; ARSIA, 2006). Der Waldtypus Niederwald bezieht sich auf gemischte Eichenwälder. Die im Input verwendeten Wachstumswerte (Growing Stock) sind aus der untenstehenden Tabelle ersichtlich.

Die jährliche Zunahme von Kohlenstoff beinhaltet die Zunahme der gesamten Biomasse, das heißt als Summe der oberirdischen und unterirdischen Biomasse, während der Verlust von Kohlenstoff aus der Abholzung und der verlorenen Biomasse stammt.

Die jährliche Zunahme der Wald-Biomasse wurde anhand der folgenden Gleichung (Äqu. 2.9 IPCC, Bd. 4) berechnet:

$$\Delta C_G = \sum_i (A_i \cdot G_{total_i} \cdot CF_i)$$

Dabei gilt:

A ist die Fläche eines Waldtypus' in Hektar

G_{total} ist das durchschnittliche Wachstum der gesamten Biomasse, t s.s. ha⁻¹ Jahr⁻¹

CF ist der Anteil an Kohlenstoff in der Trockenmasse, t C (t s.s.)⁻¹; ; die Baumart

Es kamen die Standardwerte des Anteils an Kohlenstoff in der Biomasse aus Holz von Nadel- und Laubbäumen der Tabelle IPCC 4.3 zur Anwendung, und sie entsprechen 0,48 bzw. 0,51 t C (t s.s.)⁻¹. Die durchschnittliche jährliche Zunahme von Biomasse als Summe der oberirdischen und unterirdischen Biomasse wurde mit der folgenden Gleichung berechnet, unter Verwendung von Tier 2 (Äqu. IPCC 2.10.):

$$G_{total} = \sum \{I_w \cdot BCEF_i \cdot (1 + R)\}$$

Dabei gilt:

I_w ist die durchschnittliche jährliche Zunahme für eine spezifische Vegetation, m³ ha⁻¹ Jahr⁻¹

BCEF_i ist der Umrechnungs- und Erweiterungsfaktor zur Ermittlung der unterirdischen Biomasse, t die oberirdische Biomasse (Zunahme an m³)⁻¹

R das Verhältnis der unterirdischen und der oberirdischen Biomasse betreffend einer spezifischen Vegetation.

Die durchschnittlichen jährlichen Wachstumsfaktoren in m³/ha der Baumarten stammen aus dem Regionalen Waldbestandsinventar der Toskana (Tabelle 4). Die verwendeten Werte des Ausdehnungsfaktors der Biomasse (BCEF_i) und die Beziehung Wurzeln/Krone (R) sind IPCC-

Standardwerte. Für die Auswahl der $BCEF_T$ -Werte kamen die Werte in der IPCC-Tabelle 4.5 mit den Growing-Stock-Werten aus dem IFR (Tabelle 5) zur Anwendung. Bei den Werten zum Verhältnis von unterirdischer und oberirdischer Biomasse wurden die Standardwerte der IPCC-Tabelle 4.4 betreffend Zonen mit gemäßigttem Klima beigezogen, unter Verwendung des Grunddichtewerts für die Umrechnung der jährlichen Zunahme von m^3 in $t\ s.s./ha$, ausgehend von den Growing-Stock-Werten des IFR.

In der Kohlenstoffbilanz müssen zusätzlich zu den Waldkulturen die Anbaugelände mit Dauerkulturen in Betracht gezogen werden.

Die Menge an gespeichertem oder von der Biomasse aus Dauerkulturen freigegebenem Kohlenstoff hängt von der Art der Kultur, der landwirtschaftlichen Techniken, des Bodens und des Klimas eines bestimmten Gebiets ab. Einjährige Kulturen (wie Getreide, Gemüse) zum Beispiel werden jedes Jahr geerntet, dadurch kann keine Akkumulation von Kohlenstoff in der Biomasse stattfinden. Im Gegensatz dazu können Baumkulturen wie Obstplantagen, Weinberge und Olivenhaine in der holzigen Biomasse erhebliche Mengen an Kohlenstoff speichern.

Es wurde daher die Akkumulation von Kohlenstoff in der holzigen Biomasse aus Baumkulturen wie Weinberge, Olivenhaine und Obstplantagen in Betracht gezogen, unter Verwendung von ISTAT-Daten zur Anbaufläche von Holzgewächsen. Die Daten aus der Literatur für Mittelitalien (Forschungszentrum für Biomassen, Universität Perugia) lieferten die Werte für die restlichen Anbauflächen, die aus Obstplantagen, Olivenhainen und Weinbergen erhoben werden konnten, was die Hypothese erlaubte, dass diese 80% des gesamten jährlichen Pflanzenwachstums entsprechen und dass demnach 20% Zuwachs auf der Pflanze bleibt. Diese Menge wurde dann multipliziert mit dem Wert der durchschnittlichen Feuchtigkeit des Holzes (Literaturwert), um die Tonnen Trockenmasse pro Hektar zu ermitteln. Dieser Wert wurde schließlich multipliziert mit den entsprechenden Hektaren Holzkultur und mit dem für holzige Nutzpflanzen typischen IPCC-Kohlenstoff-Anteil, in der Höhe von $0,5\ t\ C$ pro Tonne Trockensubstanz.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor für die Kohlenstoff-Fixierung der Fattoria La Vialla ist die aus dem ökologischen Landbau resultierende Zunahme der organischen Substanz im Boden.

Aus den von der Fattoria La Vialla durchgeführten Analysen auf Landflächen unterschiedlicher Natur und Beschaffenheit, aus denen die landwirtschaftlich genutzte Fläche besteht, zeigte sich die folgende Entwicklung der im Boden enthaltenen Organischen Substanz (OS):

- Landflächen, die seit Jahren unter Anwendung von Systemen der konventionellen Landwirtschaft bebaut werden, weisen im großen Ganzen OS-Werte von 0,008 bis 0,010%, das heißt 8 bis 10 g pro kg analysiertem Boden auf.
- Nach 4 Jahren Anbau derselben Landfläche, wobei jedoch das System umgestellt ist auf biologischen und biodynamischen Anbau, ergeben sich Werte von 0,015 bis 0,018%, das heißt 15 bis 18 g pro kg, mit einem durchschnittlichen Anstieg von rund 80 bis 100% des Ausgangswerts. Das bedeutet, dass das Land in die Lage versetzt wird, den jährlich durch natürliche Mineralisierung (2-3% pro Jahr) verlorenen OS-Anteil zu decken.
- Nach 8 Jahren biologischen/biodynamischen Landbaus kann beobachtet werden, dass derselbe Boden sich in einem statischen Gleichgewicht befindet hinsichtlich der fixierten-mineralisierten OS, und zwar auf der Grundlage seiner Aufnahme- und Speicherkapazität, der angebauten Kulturen und des pädoklimatischen Systems. Er erreicht stabile OS-Werte in einem Bereich von 0,020 bis 0,025% = 20 bis 25 g/kg.

Dies bedeutet, dass es dem Betrieb in acht Jahren biologischen und biodynamischen Landbaus gelingt, in der Schicht des kultivierten Bodens (50 cm) 12 bis 15 g OS pro kg zu fixieren, nebst den jährlichen Verlusten aufgrund der Nutzung der Kulturen und durch direkte Mineralisierung.

Angesichts der Tatsache, dass die Landflächen der Fattoria La Violla tendenziell aus lehmig-sandigem Boden bestehen und das Gewicht (Dichte) bei rund 1,200 kg/dm³ liegt, können wir die in den acht Jahren fixierte Menge an OS folgendermaßen errechnen:

- Volumen von 1 m² Landfläche: (1 m² = 100 dm²)

50 cm des Bodens (von Pflanzen genutzte Schicht) = 5 dm x 100 dm² = 500 dm³, das heißt 500 Liter (L)

In Anbetracht dessen, dass 1 Hektar 10.000 m² enthält, entspricht das Volumen von 50 cm Landfläche 5.000.000 dm³.

Multipliziert man nun die Dichte unseres Bodens mit dem erhaltenen Volumen, sieht man, dass 50 cm eines Hektars Land das folgende Gewicht aufweisen:

$$5.000.000 \text{ dm}^3 \times 1.200 \text{ kg/dm}^3 = 6.000.000 \text{ kg}$$

Wenn wir wissen, dass wir in 8 Jahren 12 bis 15 g OS pro kg Boden fixiert haben (Mittelwert 13,5 g / kg), können wir daraus schließen, dass die Gesamtmenge an OS pro Hektar folgendermaßen aussieht:

$$13,5 \text{ g/kg} \times 6.000.000 \text{ kg} = 81.000.000 \text{ g} = \mathbf{81.000 \text{ kg/ha in 8 Jahren} = 10.125 \text{ kg/ha pro Jahr}}$$

Über acht Jahre hinaus ist das Bodensystem fähig, die erreichte Quote von 20 bis 25 g/kg zu halten, oder zumindest erfolgt die Zunahme sehr verlangsamt und daher mittel- bis langfristig schwierig zu quantifizieren.

Der biologische/biodynamische Landbau sichert damit jährlich mindestens eine Wiederherstellung der durch natürliche Mineralisierung verlorenen Quote, mit anderen Worten (unter Verwendung der angegebenen Mittelwerte):

$$22,5 \text{ g/kg} \times (-2,5\% \text{ Verlust}) = 0,5625 \text{ g/kg} \times 6.000.000 \text{ kg} = 3.375.000 \text{ gr} = \mathbf{3.375 \text{ kg/ha pro Jahr}}$$

Angesichts der 613 Hektar bebautem Land ergeben sich in einem Jahr fixierte Organische Substanzen von rund 6.207 t.

In Anbetracht dessen, dass der Prozentsatz von Kohlenstoff in der Trockenmasse bei rund 48% liegt, können wir sagen, dass 2.893 Tonnen Kohlenstoff, das heißt also 10.608 t CO₂ Äqu fixiert wurden.

In den acht Jahren der Akkumulation von organischer Substanz wurden insgesamt 84.861 t CO₂ Äqu fixiert.

Wenn wir den Wert an dem in der allgemeinen Analyse berücksichtigten Zeitraum messen (20 Jahre), können wir sagen, dass jedes Jahr **4.243 t CO₂ Äqu** gespeichert werden.

Die oben angegebene Speicherung erfolgt nur bei Nutzung von Anbauflächen mit biologischer Landwirtschaft. Die gemeinhin übliche intensive Landwirtschaft, die chemische Düngemittel verwendet, neigt dazu, die Menge der organischen Substanz im Boden erheblich zu reduzieren und die mikrobielle Artenvielfalt zu beseitigen, wodurch auf lange Sicht eine Auszehrung des Bodens verursacht wird.

Der in der Analyse berücksichtigte Zeitraum beträgt 20 Jahre.

Während dieser Zeit kann das in den Bäumen fixierte CO₂ als dauerhaft gespeichert angesehen werden, im Vergleich zu den Lebenszyklen der hergestellten Produkte der Fattoria La Violla.

Zur langfristigen Erhaltung und zum Schutz der Wälder, hinsichtlich der Gewährleistung einer konstanten Versorgung mit Biomasse, wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

1. Feuerschutzstraßen über 10 km.
2. Brandschutzmaßnahmen im Betrieb, die während der Trockenheitsperioden zur Anwendung kommen (Traktor mit Wasserpumpe für den sofortigen Einsatz und nächtliche Rundgänge zur Ermittlung von Brandherden).

4. Vergleich zwischen den im biologischen und im traditionellen Landbau verwendeten Düngemitteln

Der vorliegende Vergleich soll aufzeigen, dass bereits bei der Bodendüngung in der auf chemischen Düngemitteln basierenden traditionellen Landwirtschaft ein wesentlich größerer Ausstoß herrscht als bei der biologischen Landwirtschaft.

Der Vergleich erfolgt unter Verwendung der Energiedaten als Ausstoßdaten. Mittels des Programms Simapro wurden alle an die Herstellung der untersuchten Düngemittel gebundenen energetischen Externalisierungen berechnet, dann in Öleinheiten und anschließend in äquivalente Tonnen von Kohlendioxid umgewandelt.

Als Dünger für den biologischen Landbau haben wir Hühnermist gewählt.

HÜHNERMIST

Eingangsenergie für 1 kg Produkt		Einheit	Umwandlungsfaktoren	Einheit		Einheit
Kohle, braun, im Boden	0,0052358	kg	9,9	MJ Äqu / kg	0,05183442	MJ
Kohle, hart, unspezifiziert, im Boden	0,0051115	kg	19,1	MJ Äqu / kg	0,09762965	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse					0,012518	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse, Primärwald					2,5607E-06	MJ
Energie, kinetisch (Wind), umgewandelt					0,0030163	MJ
Energie, Potential (Wasserkraftspeicher), umgewandelt					0,17965	MJ
Energie, solar, umgewandelt					0,00009629	MJ
Gas, Mine, Off-Gas, Prozess, Kohle-Abbau/m3	0,000050713	m3	39,8	MJ Äqu / m3	0,002018377	MJ
Gas, natürlich, im Boden	0,0036376	m3	38,3	MJ Äqu / m3	0,13932008	MJ
Öl, roh, im Boden	0,02561	kg	45,8	MJ Äqu / kg	1,172938	MJ

Gesamtenergie pro kg Produkt	1,659023678	MJ
------------------------------	-------------	----

Umwandlungstabelle		
1 ÖE	41.870,00	MJ

1 ÖE	2,81	t CO ₂
------	------	-------------------

Äquivalente ÖE	3,96E-05	ÖE
CO ₂ -Ausstoß für 1 kg Produkt	0,11	kg

Im Betrieb verwendeter Dünger	320.000,00	kg
CO ₂ -Ausstoß	35.629,19	kg

DIAMMONIUMPHOSPHAT

Eingangsenergie für 1 kg Produkt		Einheit	Umwandlungs- faktoren	Einheit		Einheit
Kohle, braun, im Boden	0,13785	kg	9,9	MJ Äqu / kg	1,364715	MJ
Kohle, hart, unspezifiziert, im Boden	0,15322	kg	19,1	MJ Äqu / kg	2,926502	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse					0,39291	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse, Primärwald					0,017942	MJ
Energie, kinetisch (Wind), umgewandelt					0,056306	MJ
Energie, Potential (Wasserkraftspeicher), umgewandelt					0,47946	MJ
Energie, solar, umgewandelt					0,00081555	MJ
Gas, Mine, Off-Gas, Prozess, Kohle-Abbau/m3	0,0014886	m3	39,8	MJ Äqu / kg	0,07413228	MJ
Gas, natürlich, im Boden	0,21314	m3	38,3	MJ Äqu / m3	8,163262	MJ
Öl, roh, im Boden	0,15837	kg	45,8	MJ Äqu / kg	7,253346	MJ

Umwandlungstabelle		
1 ÖE	41.870,00	MJ
1 ÖE	2,81	t CO ₂
Äquivalente ÖE	4,95E-04	ÖE
CO ₂ -Ausstoß pro 1 kg Produkt	1,39	kg

Im Betrieb verwendeter Dünger	59.500,00	kg
CO ₂ -Ausstoß	82.776,46	kg

KALIUMSULFAT

Eingangsenergie für 1 kg Produkt		Einheit	Umwandlungs- faktoren	Einheit		Einheit
Kohle, braun, im Boden	0,1089	kg	9,9	MJ Äqu / kg	1,07811	MJ
Kohle, hart, unspezifiziert, im Boden	0,13133	kg	19,1	MJ Äqu / kg	2,508403	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse					0,30173	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse, Primärwald					0,000047062	MJ
Energie, kinetisch (Wind), umgewandelt					0,043961	MJ
Energie, Potential (Wasserkraftspeicher), umgewandelt					0,4179	MJ
Energie, solar, umgewandelt					0,00063736	MJ
Gas, Mine, Off-Gas, Prozess, Kohle-Abbau/m3	0,0012766	m3	39,8	MJ Äqu / m3	0,05080868	MJ
Gas, natürlich, im Boden	0,17643	m3	38,3	MJ Äqu / m3	6,757269	MJ
Öl, roh, im Boden	0,26798	kg	45,8	MJ Äqu / kg	12,273484	MJ

Gesamtenergie pro kg Produkt	23,4323501	MJ
------------------------------	------------	----

Umwandlungstabelle		
1 ÖE	41.870,00	MJ
1 ÖE	2,81	t CO ₂
Äquivalente ÖE	5,60E-04	ÖE
CO ₂ -Ausstoß für 1 kg Produkt	1,57	kg

Im Betrieb verwendeter Dünger	59.500,00	kg
-------------------------------	-----------	----

CO ₂ -Ausstoß	93.569,90	kg
--------------------------	-----------	----

AMMONIUMNITRAT

Eingangsenergie für 1 kg Produkt		Einheit	Umwandlungs-faktoren	Einheit		Einheit
Kohle, braun, im Boden	0,12276	kg	9,9	MJ Äqu / kg	1,215324	MJ
Kohle, hart, unspezifiziert, im Boden	0,16718	kg	19,1	MJ Äqu / kg	3,193138	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse					0,40399	MJ
Energie, Brennwert, in der Biomasse, Primärwald					0,000063658	MJ
Energie, kinetisch (Wind), umgewandelt					0,049607	MJ
Energie, Potential (Wasserkraftspeicher), umgewandelt					0,53423	MJ
Energie, solar, umgewandelt					0,00071211	MJ
Gas, Mine, Off-Gas, Prozess, Kohle-Abbau/m3	0,0016257	m3	39,8	MJ Äqu / m3	0,06470286	MJ
Gas, natürlich, im Boden	0,90467	m3	38,3	MJ Äqu / m3	34,648861	MJ
Öl, roh, im Boden	0,40004	kg	45,8	MJ Äqu / kg	18,321832	MJ

Gesamtenergie pro kg Produkte	58,43246063	MJ
-------------------------------	-------------	----

Umwandlungstabelle		
1 ÖE	41.870,00	MJ
1 ÖE	2,81	t CO ₂
Äquivalente ÖE	1,40E-03	ÖE
CO ₂ -Ausstoß für 1 kg Produkt	3,92	kg

Im Betrieb verwendeter Dünger	59.500,00	kg
CO ₂ -Ausstoß	233.332,11	kg

Der Unterschied zwischen der Ausstoßmenge von Hühnermist und dem chemischen Äquivalent, unterteilt in die drei Komponenten Diammoniumphosphat, Kaliumsulfat und Ammoniumnitrat, zeigt klar und deutlich, dass der Ausstoß des CO₂ Äqu der chemischen Düngemittel wesentlich größer ist.

CO ₂ aus biologischem Landbau (Hühnermist)	35.629,19	kg CO ₂ Äqu
CO ₂ aus traditionellem Landbau (Summe der chemischen Düngemittel)	409.678,47	kg CO ₂ Äqu

5. Schlussfolgerungen

Die Fattoria La Vialla richtet seit langem ein besonderes Augenmerk auf das Umweltbewusstsein und hat sich für eine maximale Verminderung der Umweltbelastung eingesetzt, und zwar durch die Installation von erneuerbaren Energienanlagen zur Erzeugung von Strom und thermischer Energie, durch die Verwendung von recycelten und zertifizierten Materialien (Papier und Karton) zur Verpackung ihrer Produkte und die Verwendung natürlicher Substanzen zur Düngung der Erde, außerdem durch die Verwendung biologischer und biodynamischen Methoden im Landbau. Es folgt eine Zusammenfassung der im Rahmen dieser Studie errechneten Emissionen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN		
Emissionen	5.126,85	tCO ₂ Äqu
Produktion Strom mit FV-Anlage	273,30	tCO ₂ Äqu
Produktion thermische Energie	7,03	tCO ₂ Äqu
Kompensierung Zertifikate RECS	624,16	tCO ₂ Äqu
Kompensierung Nature Office	3.307,08	tCO ₂ Äqu
Kompensierung Landbell	459,59	tCO ₂ Äqu
Aufnahme Baumbestand	5.576,64	tCO ₂ Äqu
Aufnahme Holzkulturen	233,56	tCO ₂ Äqu
Aufnahme in der Erde	4,24	tCO ₂ Äqu

CO₂-Bilanz	-5.358,74	tCO ₂ Äqu
Unter Ausschluss des CO₂ in der Erde	-5.354,50	tCO ₂ Äqu

Tabelle 4: Zusammenfassende Tabelle, Verbrauch und Emissionen der Fattoria La Vialla

Analysiert wurden die Emissionen aus dem Verbrauch von Primärenergie, Strom und Wärmeenergie, von Verpackungs-Materialien, dem Einsatz von Düngemitteln für die Bewirtschaftung, dem Kraftstoffverbrauch für den Transport und der landwirtschaftlichen Maschinen.

Die meisten Emissionen stammen aus dem Konsum von Materialien wie Glas, Papier und Karton. Diese Materialien werden in großen Mengen zur Verpackung der Produkte verwendet. Sie sind recycelt und zertifiziert, was eine weitere Verringerung ihrer Emissionen unmöglich macht (außer man würde ein neues Verpackungssystem entwickeln, das den spezifischen Energieverbrauch verringert, oder sich ein grundlegend neues umfassendes Verpackungssystem ausdenken).

Wie aus der Datenanalyse ersichtlich ist, hat das Unternehmen – auch unter Ausschluss des Kohlendioxids im Boden – einen positiven CO₂-Absorptionskreislauf, denn die umgebenden Waldflächen sind in dem berücksichtigten 20-Jahres-Zyklus in der Lage, die Schadstoffe der ausgestoßenen Treibhausgase zu kompensieren und einzufangen.

Bibliografie und Datenbanken

- 1) Dones R., Bauer C., Bolliger R., Burger B., Faist Emmenegger M., Frischknecht R., Heck T., Jungbluth N. and Röder A. (2007) Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Final report ecoinvent data v2.0, No. 5. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 2) Jungbluth N. (2007) Sonnenkollektor-Anlagen. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 3) Jungbluth N. (2007) Sonnenkollektor-Anlagen. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 4) Hischer R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 5) Hischer R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 6) Hischer R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 7) Hischer R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 8) Classen M., Althaus H.-J., Blaser S., Doka G., Jungbluth N. and Tuchschnid M. (2009) Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent data v2.1 No.10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 9) Classen M., Althaus H.-J., Blaser S., Doka G., Jungbluth N. and Tuchschnid M. (2009) Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent data v2.1 No.10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- 10) Progetto REGES - Progetto per la verifica e la certificazione della riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per il territorio della provincia di Siena" sviluppato dal gruppo di Ecodinamica Dipartimento di Chimica Università degli Studi di Siena (2008)
- 11) APAT, 2001. Linee guida agli inventari locali delle emissioni in atmosfera. Centro Tematico Nazionale Atmosfera Clima ed Emissioni in Aria.
- 12) ARSIA, 2006. Rapporto sullo stato delle foreste in Toscana.
- 13) INFC, 2005 – Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. CRA - Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura.
- 14) ENEA, 2006. Rapporto Energia Ambiente 2005. Roma.