

Konzept der betrieblichen Ökobilanzierung

Daniel U. Baumgartner^{1*}, Maria Bystricky¹ und Thomas Nemecek¹

Zusammenfassung

In einer gemeinsamen Initiative haben sich das österreichische Lebensministerium (BMLFUW) und die HBLFA Raumberg-Gumpenstein zum Ziel gesetzt eine systematische Umweltbewertung mittels Ökobilanzierung von österreichischen Landwirtschaftsbetrieben möglich zu machen. Die betriebliche Ökobilanzierung hat zum Ziel, die potenziellen Umweltwirkungen eines landwirtschaftlichen Betriebes zu ermitteln sowie die Kenntnisse über die Umweltwirkungen bestimmter Produktionssysteme wie auch von ausgesuchten Produkten zu verbessern. Auf der Basis der etablierten Ökobilanzmethodik SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) wurde in Zusammenarbeit mit Agroscope ein auf die österreichischen Verhältnisse angepasstes Konzept namens FarmLife entwickelt. Dieses umfasst eine Ökobilanzmethodik, ein Datenflusskonzept, angepasste Modelle für die direkten Feld- und Tieremissionen sowie ein Set von Werkzeugen für die Erhebung und Verarbeitung, die Berechnung und Auswertung der Betriebsdaten und -ergebnisse.

Dieses Ökobilanzierungskonzept wurde erfolgreich auf einer Stichprobe mit 51 Betrieben angewandt und steht nun als Grundlage für weitere fachliche Entwicklungen sowie erweiterte Anwendungen zur Verfügung.

Schlagwörter: Betriebliches Umweltmanagement, Ökobilanzmethodik FarmLife, österreichisches Betriebsnetz, Umweltmanagement in der Landwirtschaft

Summary

In a joint initiative, the Austrian Federal Ministry of Agriculture (BMLFUW) and the agricultural research centre Raumberg-Gumpenstein have set the goal to establish a systematical environmental assessment of Austrian farms based on life cycle assessment (LCA). On farm level, LCA aims at identifying the potential environmental impacts of a farm and improving the knowledge of the environmental impacts of certain production systems as well as of single products. In collaboration with Agroscope, the established LCA methodology SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) was adapted to Austrian conditions. The so-called FarmLife framework consists of a data flow concept including data collection and processing, the LCA methodology including adapted models for direct field and animal emissions, as well as tools for analysis and interpretation of the results.

This LCA concept has been successfully tested on 51 farms and is now available for further scientific and technical developments and applications.

Keywords: Life cycle assessment (LCA), environmental management on farm level, LCA methodology FarmLife, Austrian farm network, environmental management in agriculture

Kurze Positionierung der Ökobilanz im Rahmen des Umweltmanagements in der Landwirtschaft

Die Ökobilanzierung ist ein Instrument des Umweltmanagements, das für Entscheidungsträger in Unternehmen, Behörden oder anderen Organisationen wichtige Entscheidungsgrundlagen liefert (Rossier und Gaillard 2004). Die betriebliche Ökobilanzierung hat zum Ziel, die potenziellen Umweltwirkungen eines landwirtschaftlichen Betriebes zu ermitteln sowie die Kenntnisse über die Umweltwirkungen bestimmter Produktionssysteme wie auch von ausgesuchten Produkten zu verbessern. Dabei werden die wichtigsten Einflussgrößen auf die Umweltwirkungen eruiert. Die Ergebnisse der betrieblichen Ökobilanzierung können sowohl ex ante als auch ex post als Instrument für die Ermittlung von Stärken und Schwächen der Betriebe in Bezug auf ihre Umweltwirkung herangezogen werden, sei es um mögliche Ausrichtungsänderungen des einzelnen

Betriebs zu beurteilen, sei es um Problembereiche einer neuen Maßnahme oder eines Produktionstyps frühzeitig aufzuzeigen. Die Ergebnisse einer betrieblichen Ökobilanzierung können für eine Vielzahl von Akteuren von Interesse sein: Sie dienen dem Umweltmanagement durch die Betriebsleitenden und können auch für eine Beratungsleistung durch Organe der landwirtschaftlichen Beratung verwendet werden. Weiter können Ökobilanzergebnisse für eine Maßnahmenwahl durch eine Branchenorganisation oder als Wissensgrundlage für politische Entscheidungsträger herangezogen werden. Schließlich können sie zur Information der Öffentlichkeit eingesetzt werden. Anwendungen des Instruments auf landwirtschaftlichen Betrieben erfolgen auf zwei Untersuchungsebenen: i) für eine Gruppe von Betrieben oder ii) für einen ausgewählten, einzelnen Landwirtschaftsbetrieb. Beide Untersuchungsebenen sind Teil des vorliegenden Projektes ‚FarmLife: Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich‘.

¹ Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH, CH-8046 ZÜRICH

* Ansprechpartner: DI Daniel U. Baumgartner, daniel.u.baumgartner@agroscope.admin.ch

Eine umfassende Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben mit unterschiedlichen Produktionsausrichtungen mittels Ökobilanz, z.B. als Beratungsinstrument oder zum Bewerten von Maßnahmen und Änderungen, ist international noch nicht stark verbreitet. Systematische Grundlagen für eine Vielzahl von Betriebstypen wurden zunächst in der Schweiz (Rossier und Gaillard 2004, Hersener *et al.* 2011) gelegt und nun mit dem vorliegenden Projekt in Österreich (siehe auch Herndl *et al.* im Druck) weiter vertieft. Stärker verbreitet sind Anwendungen mit modellierten Daten oder auf Betriebsstichproben, die meist auf einen bestimmten Betriebstyp wie beispielsweise spezialisierte Milchwirtschaftsbetriebe, Pouletmastbetriebe oder andere ausgerichtet sind, z.B. Thomassen *et al.* 2008, Nguyen *et al.* 2010, Basset-Mens und van der Werf 2005, Prudêncio da Silva *et al.* 2014.

Grundlagen der Ökobilanzierung

Das Konzept für die einzelbetriebliche Ökobilanzierung mit SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment; Gaillard und Nemecek 2009) besteht im Wesentlichen aus vier Bereichen: i) einer Ökobilanzmethodik, ii) Modellen für die Berechnung der direkten Feld- und Tieremissionen, iii) Ökobilanzinventaren für die Ermittlung der indirekten Emissionen sowie iv) Werkzeuge für die Erfassung der Daten, über die Berechnung hin zu den Auswertungen samt

eines Datenflussmodells. Nachfolgend wird im Einzelnen auf diese vier Bereiche eingegangen.

Die Ökobilanz wird auch als Lebenszyklusanalyse (oder im Englischen Life Cycle Assessment, LCA) bezeichnet, weil sie die Umweltwirkungen von Betrieben oder Produkten über deren ganzen Lebensweg betrachtet, das heißt „von der Wiege bis zur Bahre“. Die Untersuchung beginnt bei der Förderung der Rohstoffe, geht weiter über die Herstellung und Nutzung von Produktionsmitteln bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung der Abfälle (siehe *Abbildung 3*).

Eine Ökobilanz beschreibt sowohl direkte wie auch indirekte Auswirkungen auf die Umwelt. Sie bildet die zentralen ökologischen Probleme der heutigen Gesellschaft ab, wobei das Hauptaugenmerk auf jenen Umweltwirkungen liegt, bei denen es wichtig ist, das untersuchte Produktionssystem zu verbessern (Rossier und Gaillard 2004). Für die Ermittlung der direkten Feld- und Tieremissionen liegen im Bereich der Landwirtschaft schon Emissionsmodelle vor, z.B. zur Berechnung von Ammoniakverlusten aus Hofdüngern bei der Lagerung von Gülle. Einen Überblick über die im Rahmen der Ökobilanzmethode SALCA entwickelten oder adaptierten Emissionsmodelle findet sich bei Nemecek *et al.* (2010). Im Projekt FarmLife kommt ein für die österreichischen Verhältnisse angepasstes Set an Emissionsmodellen zum Einsatz (siehe Kapitel Modelle für die Ermittlung der direkten Emissionen). Indirekte Umweltwirkungen

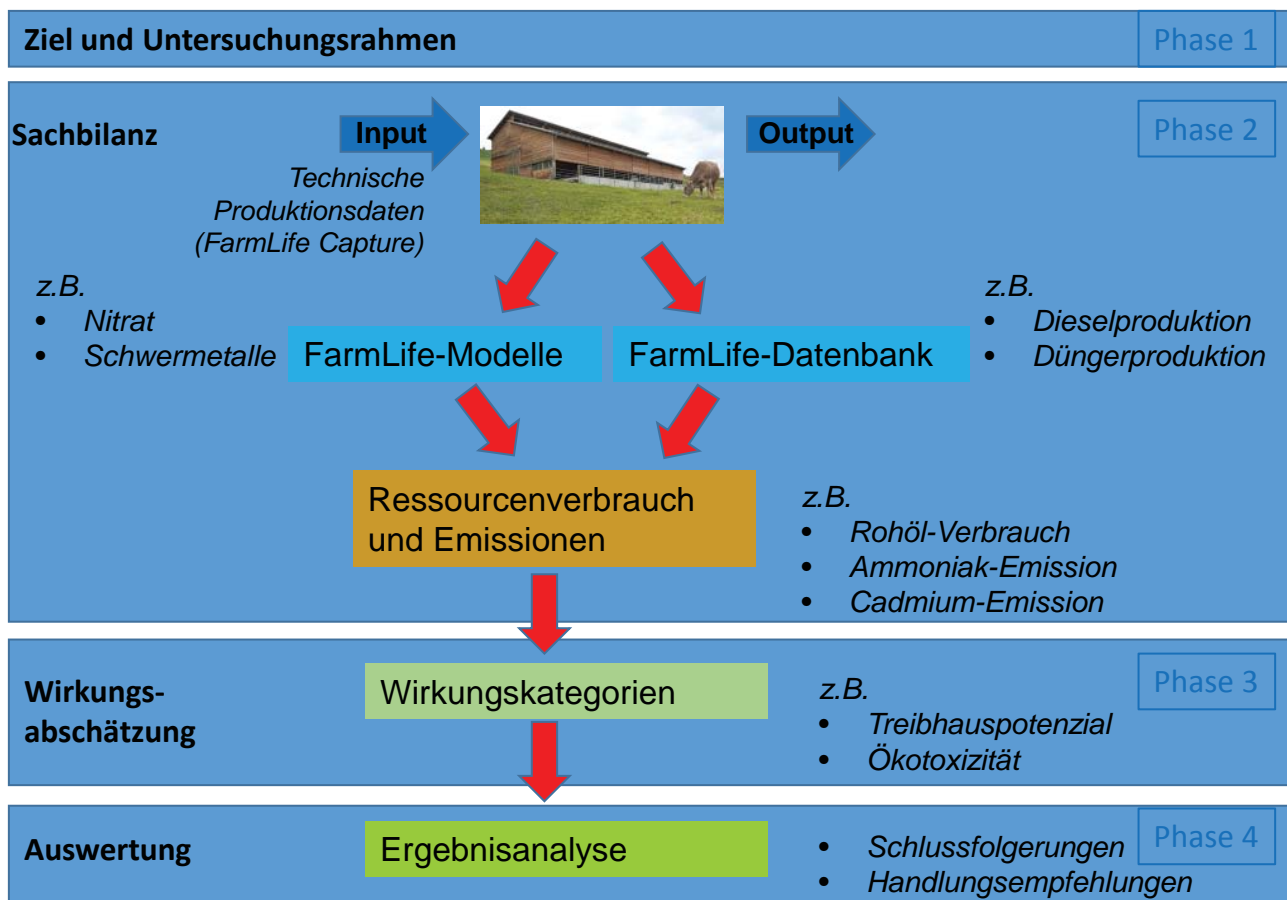


Abbildung 1: Ablauf einer Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe mit FarmLife (verändert nach Hersener *et al.* 2011).

entstehen in den Prozessen, die dem landwirtschaftlichen Betrieb vorgelagert sind. Zum Beispiel verursachen die Herstellung und der Transport von Mineraldüngern eine Reihe von Umweltwirkungen. Diese werden in sogenannten Ökoinventaren berechnet und zusammengestellt und sind integraler Bestandteil der Berechnung der betrieblichen Ökobilanz (siehe Kapitel Ökoinventare).

Die vier Phasen der Ökobilanzierung

Die Vorgehensweise der Ökobilanzierung ist durch ISO-Normen festgelegt (ISO 2006a, ISO 2006b) und wird in vier Phasen gegliedert (Abbildung 1).

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

Zunächst müssen die Grundzüge der Studie bestimmt werden, indem man das Ziel und den Untersuchungsrahmen bestimmt. Dazu zählen die Bezugsgrößen (funktionelle Einheiten), die Systemabgrenzung, die Allokation von Umweltwirkungen auf Haupt- und Nebenprodukte und die zu untersuchenden Wirkungskategorien. Damit wird auch festgelegt, welche Daten zu erheben sind.

Sachbilanz

Die Sachbilanz umfasst die Erhebung und Quantifizierung aller Eingangsdaten. Sie ist eine Inventur von allen Ressourcen, der Infrastruktur und den Produktionsmitteln, die auf dem Betrieb während eines Jahres verwendet werden (= Inputs) sowie allen Stoffen (Erzeugnisse, Emissionen, Abfälle), die den Betrieb im gleichen Zeitraum verlassen (= Outputs). SALCA berechnet hier aus den Produktionsdaten (z.B. Düngemittel- und Maschineneinsatz, Ernteprodukte,

Viehbestände etc.) die direkten Feld- und Tieremissionen und verknüpft sie mit den benötigten Ökoinventaren der vorgelagerten Stufen.

Wirkungsabschätzung

Die in der Sachbilanz ermittelten Energie- und Stoffflüsse (Ressourcen und Emissionen) werden in der Wirkungsabschätzung verschiedenen potenziellen Umweltwirkungen zugewiesen. Über sogenannte Charakterisierungsfaktoren werden sie umgerechnet und gebündelt in Wirkungsindikatoren (z.B. Energiebedarf, Treibhauspotenzial, Eutrophierungspotenzial oder Ökotoxizitätspotenzial). Dieses Vorgehen ermöglicht es, die umfangreichen Inventare aus der Sachbilanz zusammenzufassen und zu interpretieren.

Auswertung

In dieser letzten Phase der Ökobilanzierung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung analysiert und bewertet und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Methodik der betrieblichen Ökobilanzierung in FarmLife

Ziele der betrieblichen Ökobilanzierung in FarmLife

Oberstes Ziel des Projektes war, eine Methodik zu schaffen, welche Umweltindikatoren auf Betriebsebene liefern kann. Dieses Instrument soll zum einen Landwirte darin unterstützen ihre Produktionsprozesse im Betrieb ökologisch

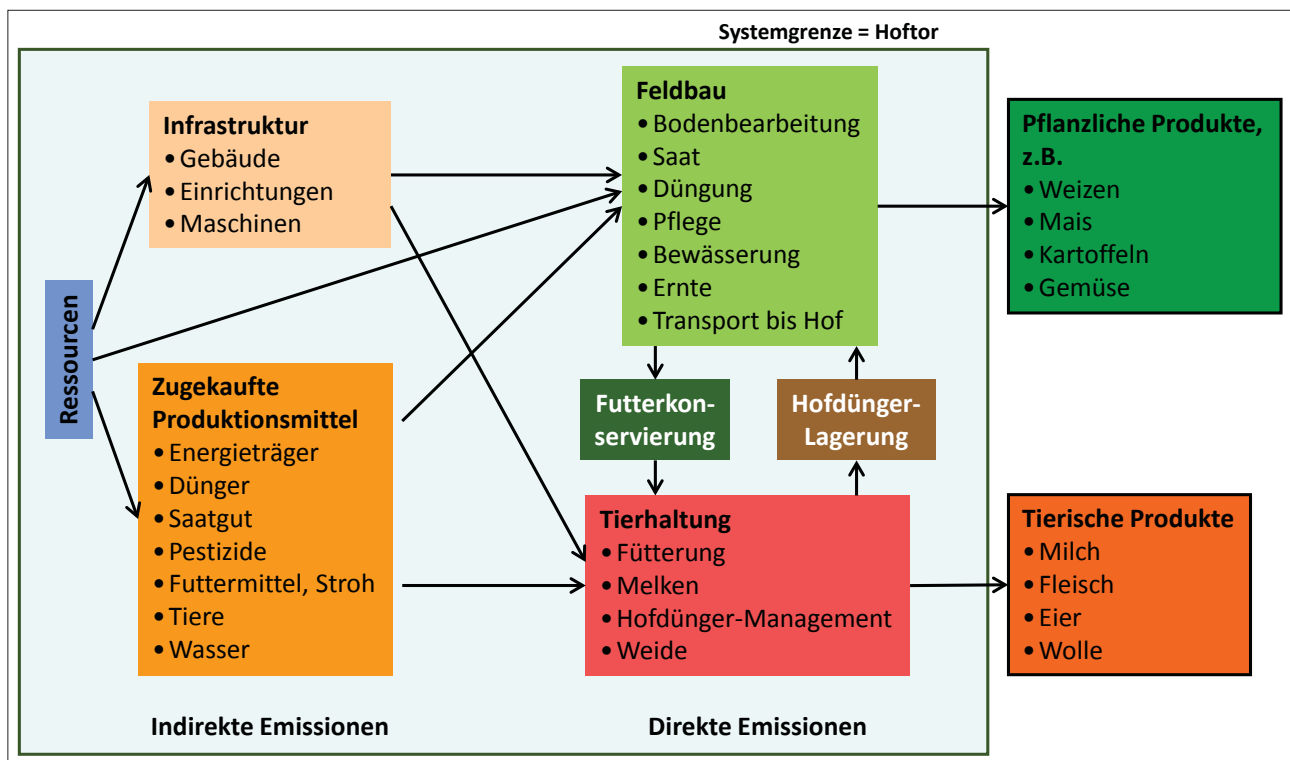


Abbildung 2: Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe (nach Hersener et al. 2011).

zu optimieren und zum anderen Basis für eine mögliche zukünftige Bewertung von potenziellen Umweltwirkungen von Landwirtschaftsbetrieben sein (Herndl *et al.* im Druck). Um dies zu erreichen, wurde ein Wissens- und Datenmanagement basierend auf SALCA mit Anpassungen auf die österreichischen Gegebenheiten aufgebaut. Die neu geschaffenen Werkzeuge wurden auf einer Betriebsstichprobe von 51 Betrieben angewandt.

Die Zielgruppe von FarmLife sind Landwirte, Berater und die Verwaltung, aber auch zugewandte Körperschaften der österreichischen Landwirtschaft.

Systemdefinition und -abgrenzung

In FarmLife wird die primäre Produktion der Landwirtschaft bilanziert. Räumlich umfassen die Systemgrenzen die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche inklusive ÖPUL- und Natura 2000-Flächen sowie die für die landwirtschaftliche Produktion benötigte Infrastruktur. Außerhalb des Systems liegen Gebäude, Infrastruktur, Einrichtungen und Flächen für den Wohngebrauch oder für Zusatzverdienste, also Wohngebäude, Wald, Hofladen, Verarbeitungsanlagen, Infrastruktur für Agrotourismus, Arbeiten für Dritte. In *Abbildung 2* sind die räumlichen Systemgrenzen für die landwirtschaftliche Produktion auf den zu untersuchenden Betrieben schematisch dargestellt. Alle landwirtschaftlichen Tätigkeiten und Produktionsmittel sind enthalten.

Die zeitlichen Systemgrenzen werden unterschiedlich gesetzt: Für den Ackerbau bildet der Zeitraum zwischen der Ernte der letzten Hauptkultur bis zur Ernte der aktuellen Hauptkultur den Rahmen, im Falle dieser Studie also von Spätsommer/Herbst 2012 bis Spätsommer/Herbst 2013. Dieser Zeitraum kann je nach Parzelle und darauf angebaute Kultur unterschiedlich sein. Dies gilt auch für den Anbau von mehrjährigem Feldfutter; hier wird die zeitliche Systemgrenze vom letzten Schnitt im Vorjahr (2012) bis zum letzten Schnitt im Hauptjahr (2013) gesetzt. Wenn nach mehrjährigem Feldfutter wieder Ackerkulturen angebaut werden, gilt für die entsprechende Parzelle der Zeitrahmen vom letzten Schnitt des Feldfutters bis zur Ernte der Hauptkultur. Bei der Bewirtschaftung von Dauergrasland gilt als zeitliche Systemgrenze das Kalenderjahr, hier also vom 1. Januar bis 31. Dezember 2013. Werden Ackerkulturen auf umgebrochenen Dauergraslandflächen angebaut, so werden diese Ackerkulturen aus Konsistenzgründen für den Zeitraum vom 1. Januar bis zur Ernte im Jahr 2013 modelliert. Für alle anderen Bereiche, also für die Tierhaltung und die Erfassung von Betriebsmittel-, Maschinen- und Gebäudebeständen auf dem Hof, gilt das Kalenderjahr (1. Januar bis 31. Dezember 2013).

Funktionen und funktionelle Einheit

Die landwirtschaftliche Produktion erfüllt mehrere verschiedenartige Funktionen, sowohl für den Betriebsleiter als auch für die Gesellschaft und die Umwelt (Multifunktionalität). Dazu gehören:

- Die produktive Funktion, das heißt die Bereitstellung von Nahrungsmitteln, Futtermitteln oder Biomasse für Energie- oder industrielle Zwecke.

- Die Funktion Landbewirtschaftung, welche die landwirtschaftliche Nutzung des Bodens und die Erhaltung der Produktionsbereitschaft sowie die Pflege der Kulturlandschaft beinhaltet.
- Die finanzielle Funktion: Aus Sicht des Betriebsleiters ist die Erwirtschaftung eines befriedigenden Einkommens das Kernziel.
- Die ökologische Funktion, bei der die Landwirtschaft ihre Aufgabe zur Erhaltung der natürlichen Produktionsgrundlagen erfüllt.

Die funktionelle Einheit ist die Einheit, auf deren Basis eine ökobilanzielle Bewertung stattfindet, auf die also alle berechneten Umweltwirkungen bezogen werden. Je nach betrachteter Funktion kann es sich um eine physische Einheit (z.B. 1 kg Produkt, wie beispielsweise Milch), um eine ökonomische Einheit (z.B. Deckungsbeitrag), oder um weitere Größen handeln.

Unter Berücksichtigung der Multifunktionalität der Landwirtschaft und gestützt auf die Zielsetzungen des Projektes FarmLife wurden für die Auswertung der Ökobilanzergebnisse drei funktionelle Einheiten bestimmt:

- Funktion Landbewirtschaftung (Stufe Betrieb): Die geeignete funktionelle Einheit ist hier 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche während eines Jahres.
- Produktive Funktion (Stufe Betrieb): Die funktionelle Einheit für die Bewertung auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes ist die Erzeugung von Nahrungsenergie für den Menschen, ausgedrückt in 1 MJ verdauliche Energie. Zur Ermittlung derselben werden sämtliche Erzeugnisse des betrachteten Betriebes in für den Menschen verdauliche Energie umgerechnet. Tierische Produkte werden ebenfalls berücksichtigt, indem die daraus entstehende Nahrungsenergie für den Menschen abgeschätzt wird. Dazu werden Umwandlungsfaktoren errechnet, welche die spätere Verarbeitung in Lebensmittel (Milch, Fleisch) mit Hilfe von standardisierten Produktionsszenarien unter Einsatz von Graslandprodukten oder Ackerfrüchten berücksichtigen.
- Produktive Funktion (Stufe Produkte): Für die Bewertung auf Ebene der Produkte wird die funktionelle Einheit 1 kg Milch verwendet.

Damit können drei der vier Komponenten der Multifunktionalität abgedeckt werden. Die finanzielle Funktion konnte aus Gründen des Datenschutzes gegenüber den teilnehmenden Landwirten nicht abgebildet werden. Die letzte, die ökologische Funktion, wird in der Ökobilanz als günstige oder ungünstige Umweltwirkung bei der Erfüllung einer der jeweils betrachteten Funktionen berücksichtigt.

Inputgruppen

Die Inputs, die mit ihren Vorketten in das System integriert werden, lassen sich thematisch in Gruppen aufteilen. Diese Aufteilung wird beispielsweise für die Auswertung der Ergebnisse herangezogen, um die spezifischen Problemfelder eines Betriebes zu identifizieren. In *Tabelle 1* wird die Einteilung dargestellt, wie sie im Projekt FarmLife festgelegt wurde.

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Inputgruppen.

Inputgruppe	Betrachtete Prozesse
Gebäude, Einrichtungen	Bereitstellung der Gebäude und Einrichtungen (Infrastruktur)
Maschinen	Bereitstellung der Maschinen (Infrastruktur)
Energieträger	Bereitstellung und Einsatz von Energieträgern als Treib- und Brennstoffe (Diesel, Strom, Heizöl, Erdgas, etc.) auf dem Betrieb
Dünger, Feldemissionen	Herstellung von mineralischen und zugekauften organischen Düngern sowie direkte Feldemissionen bei der Ausbringung aller Dünger auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Plus direkte Landnutzung
Pflanzenschutzmittel	Herstellung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie deren direkte Feldemissionen nach der Ausbringung
Saatgut (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Saatgut
Kraftfutter (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Kraftfutter
Grundfutter (Zukauf)	Produktion von zugekauftem Grundfutter
Tiere (Zukauf)	Aufzucht von zugekauften Tieren
Tierhaltung	Emissionen der Tiere auf dem Betrieb, welche bei der Verdauung, im Stall, auf der Weide sowie bei der Hofdüngerlagerung entstehen
Weitere Inputs	Herstellung von weiteren Produktionsmitteln wie Silofolie, Vogelschutzeinrichtungen, Vliesen, Schmierfetten, etc. sowie Bereitstellung von Leitungswasser

Produktgruppen

Um die einzelnen Betriebszweige genauer zu analysieren, werden die Ökobilanz-Ergebnisse des jeweiligen Gesamtbetriebes den verschiedenen Produkten zugeordnet. Gleichartige Produkte werden in jeweils einer Produktgruppe zusammengefasst, welche den in der Landwirtschaft gebräuchlichen Betriebszweigen entsprechen, zum Teil aber noch feiner aufgeschlüsselt sind (Tabelle 2). Die Ergebnisse können auf Ebene des Gesamtbetriebes oder auf Ebene der Produktgruppen analysiert werden. Zur Berechnung der Resultate pro Produktgruppe wurden die einzelnen Produktionsmittel des Betriebes gemäß festgesetzten Regeln auf die Produktgruppen aufgeteilt (s. Kapitel Allokation und Zuweisung).

Zuweisung und Allokation

Eine detaillierte Analyse des landwirtschaftlichen Betriebs resp. von Betriebszweigen setzt voraus, dass die Inputs und

Emissionen des Betriebes zwischen den Produktgruppen aufgeteilt werden. Es gibt zwei Vorgehensweisen für die Zuweisung:

- Eindeutige Zuweisung von Inputs und Emissionen zu einer Produktgruppe. Wann immer dies möglich ist, wird dieses Vorgehen angewandt, z.B. Saatgut für Brotweizen zur Produktgruppe Brotgetreide, oder ein Melkstand zur Produktgruppe Milch.
- Allokation für alle nicht eindeutig zuweisbaren Inputs und Emissionen, z.B. Maschinen und Geräte, die für mehrere Produktgruppen der Pflanzen- oder Tierproduktion genutzt werden.

Der Begriff Allokation bezeichnet den Vorgang, die Umweltwirkungen aus verschiedenen Inputs oder Prozessen anteilmäßig zwischen den Produkten eines Betriebes aufzuteilen. Dazu werden jedem nicht eindeutig zuweisbaren

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Produktgruppen inklusive der jeweiligen Referenzeinheit.

Produktgruppe	Beispiele	Referenzeinheit
A Pflanzenproduktion		
A1 Brotgetreide	Weizen	kg TS
A2 Futterweizen	Weizen	kg TS
A3 Futtergerste	Gerste	kg TS
A4 Futtertriticale	Triticale	kg TS
A5 sonstige Getreide	Hafer, Dinkel, Einkorn	kg TS
A6 Mais	Körnermais, Silomais, CCM, usw.	kg TS
A7 Rüben und Kartoffeln	Zuckerrüben, Futterrüben, Kartoffeln	kg TS
A8 Wirtschaftsrünland	Grassilage, Heu	kg TS
A9 Übriger Acker- und Futterbau	Raps, Soja, Eiweißerbsen, Sonnenblumen, usw.	kg TS
A10 Gemüsebau	Karotten, Kopfsalat, Brokkoli	kg TS
A11 Obstbau	Äpfel, Birnen, Zwetschgen	kg TS
A12 Weinbau	Trauben	kg TS
B Tierproduktion		
B1 Milch	Kuhmilch	kg
B2 Rindviehmast	Mastrinder	kg Lebendgewicht
B3 Rinderzucht	Zuchtkälber/ -rinder	kg Lebendgewicht
B4 Schweinemast	Mastschweine	kg Lebendgewicht
B5 Schweinezucht	Ferkel	kg Lebendgewicht
B6 Übrige Tierhaltung	Geflügel, Eier, Pferde, Schaf, Schafsmilch, usw.	kg Lebendgewicht
C Nichtnahrungsmittel	Tabak, Chinaschilf, usw.	kg TS

Input 19 Allokationsfaktoren zugewiesen (einer für jede Produktgruppe), die jeweils zwischen 0 und 1 liegen und deren Summe 1 ergibt

Die Gesamtheit der 19 Allokationsfaktoren eines Inputs wird als Allokationsschlüssel bezeichnet. Das mehrstufige Verfahren zur Ermittlung der Allokationsschlüssel ist im Abschlussbericht FarmLife ausführlich dargelegt (siehe Herndl *et al.* im Druck).

Untersuchter Ressourcenbedarf und Wirkungskategorien

In der Wirkungsabschätzung (3. Phase der Ökobilanz, siehe Kapitel Grundkonzept mit den 4 Phasen der Ökobilanz) werden die ermittelten Inputs und Emissionen den verschiedenen Umweltwirkungen (=Wirkungskategorien) zugeordnet. Für Berechnungen mit FarmLife-LCA wurden die wichtigsten für die Landwirtschaft relevanten Wirkungskategorien in Abstimmung mit dem Vorgehen bei der Ökobilanzmethode SALCA ausgewählt. Dabei handelt es sich um eine „Mid-point“-Wirkungsabschätzung, das heißt die Wirkungskategorien sind nicht an dem Schaden orientiert, der am Ende entsteht (z.B. Minderung der menschlichen Gesundheit oder Änderung der Artenzahl in einem Biotop), sondern sie bezeichnen Vorgänge, welche bereits früher in der Wirkungskette stattfinden (z.B. Nährstoffeintrag in andere Ökosysteme). Folgende Wirkungskategorien werden ähnlich den Vorgaben in Nemecek *et al.* (2010) bei Berechnungen mit SALCA allgemein berücksichtigt und kommen in den Auswertungen in FarmLife zur Anwendung:

- Bedarf an nicht erneuerbaren Energieressourcen (gemäß ecoinvent, Hischier *et al.* 2010; in MJ-Äq.)
- Treibhauspotenzial (IPCC 2007; in kg CO₂-Äq.)
- Ozonabbaupotenzial (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in kg CFC-11-Äq.)
- Ozonbildungspotenzial (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in m²*ppm*h)

- Terrestrisches Eutrophierungspotenzial (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in m²)
- Aquatisches Eutrophierungspotenzial Stickstoff (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in kg N)
- Aquatisches Eutrophierungspotenzial Phosphor (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in kg P)
- Versauerungspotenzial (EDIP03, Hauschild und Potting 2005; in m²)
- Terrestrisches Ökotoxizitätspotenzial (CML01, Guinée *et al.* 2001; in kg 1,4-DB-Äq.)
- Aquatisches Ökotoxizitätspotenzial (CML01, Guinée *et al.* 2001; in kg 1,4-DB-Äq.)
- Humantoxizitätspotenzial (CML01, Guinée *et al.* 2001; in kg 1,4-DB-Äq.)

Dazu kommen Indikatoren aus dem Bereich des Ressourcenbedarfs, welche mangels zufriedenstellender Wirkungsabschätzungsmethoden auf Sachbilanzebene betrachtet werden:

- Ressourcenbedarf Phosphor (in kg P)
- Ressourcenbedarf Kalium (in kg K)
- Flächenbedarf (in m² während eines Jahres)
- Abholzung (in m²)
- Wasserbedarf (in m²)

Mittels einer Korrelationsanalyse der Umweltwirkungen wurden Gruppen von Umweltwirkungen gebildet, welche eine ähnliche Aussage machen. Die Gruppierung der Umweltwirkungen, die sich aus den Ergebnissen der FarmLife-Betriebe ergab, wird im Tagungsbeitrag Bystricky *et al.* (2015) beschrieben. Durch die Darstellung von jeweils einer als repräsentativ ausgewählten Umweltwirkung wird die Kommunikation der Ergebnisse erleichtert.

Für die einzelbetriebliche Rückmeldung (siehe Guggenberger und Steiner 2015) kann aus dem ganzen Set von Umweltwirkungen ausgewählt werden.

Auswertungskonzept

Die Auswertung der Ökobilanzergebnisse findet auf zwei Ebenen statt:

- Auswertungen zur Erstellung von einzelbetrieblichen Rückmeldungen für die teilnehmenden Landwirte,
- Auswertungen des Datensatzes des gesamten oder von Teilen des Betriebsnetzes für wissenschaftliche Schlussfolgerungen.

Die Erstellung einer einzelbetrieblichen Rückmeldung ist im Projekt FarmLife eng an das Datenverarbeitungskonzept und dessen Informatik-Infrastruktur geknüpft. Beiden Themen sind Beiträge in diesem Tagungsband gewidmet. Die Details zur einzelbetrieblichen Rückmeldung finden sich im Beitrag ‚Einzelbetriebliche Rückmeldung‘ (Guggenberger und Steiner 2015).

Das Auswertungskonzept für den gesamten Datensatz umfasst die folgenden Ansätze:

- Beschreibung des Betriebsdatensatzes mit deskriptiver Statistik, z.B. Untersuchung der Variabilität innerhalb der Gesamtstichprobe pro Umweltwirkung
- Analyse pro Betriebstyp samt Ableitung von Umweltprofilen
- Beitragsanalyse und Verbesserungsoptionen für einen Betriebstyp (z.B. Ackerbau)

- Analyse von Einflussgrößen (z.B. Milchleistung, Kraftfuttereinsatz pro Kuh) auf einzelne Umweltwirkungen.
- Analysen auf Stufe der Betriebstypen (z.B. Ackerbau) wie auch auf Stufe der Produkte, z.B. pro kg Milch.

Das Schwergewicht liegt auf den Auswertungen der einzelnen Betriebstypen, mit einem besonderen Augenmerk auf den Milchviehbetrieben.

Modelle für die Ermittlung der direkten Emissionen

Die Modelle zur Berechnung der direkten Feld- und Tieremissionen wurden im vorliegenden Projekt ausgehend von den SALCA-Modellen auf die österreichischen Verhältnisse angepasst. Die Ziele und Grundsätze sowie die Vorgehensweise für die Festlegung des Anpassungsbedarfs der Modelle für FarmLife sind im Tagungsbeitrag Bystricky und Nemecek (2015) näher dargelegt.

Ökoinventare

Ökoinventare sind einzelne Module in der Berechnung von Ökobilanzen. Sie beinhalten die Ergebnisse der Sachbilanz (Ressourcen und Emissionen) für einzelne Produkte oder Prozesse. Zur Ökobilanzierung von landwirtschaftlichen Betrieben benötigt man Ökoinventare aus der Vorkette

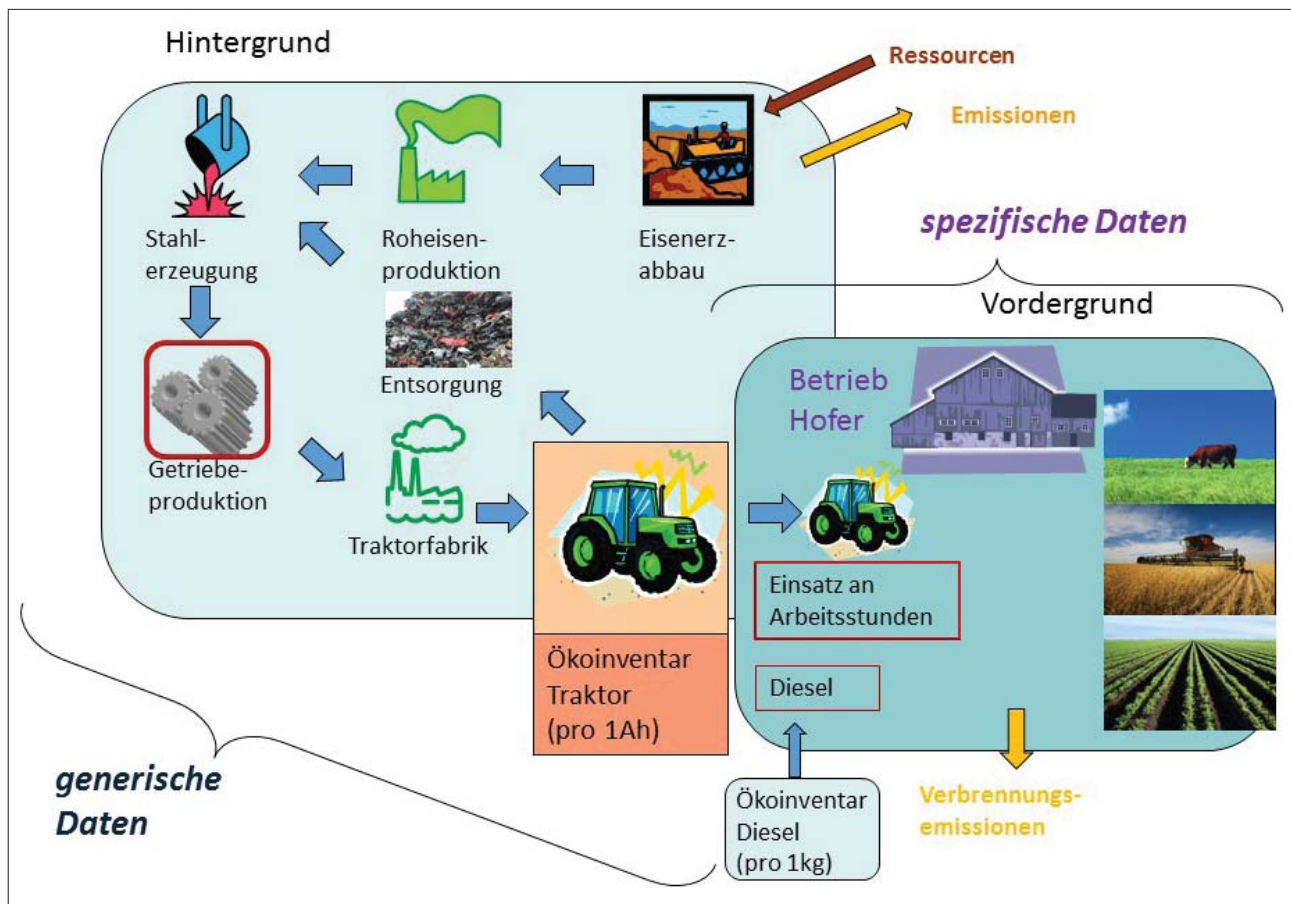


Abbildung 3: Beispiel für den Bedarf an Ökoinventaren aus den Vorketten der landwirtschaftlichen Produktion: Herstellung von Getrieben für Traktoren. Ah: Arbeitsstunde.

der landwirtschaftlichen Produktion, beispielsweise für die eingesetzten Maschinen, Futtermittel oder zugekaufte Tiere. *Abbildung 3* zeigt ein Beispiel für den Bedarf an Inputdaten, welche benötigt werden, um die Vorketten der landwirtschaftlichen Produktion in die Ökobilanzierung einzubeziehen.

Die in FarmLife verwendeten Ökoinventare stammen größtenteils aus der Datenbank ecoinvent v2.2 (ecoinvent Centre 2010). Landwirtschaftsspezifische Ökoinventare wie z.B. die Gebäude stammen aus der Agroscope-eigenen SALCA-Datenbank (Nemecek *et al.* 2010), welche in einem früheren Projekt umfangreich erweitert wurde (ZA-ÖB, dokumentiert im Schlussbericht Hersener *et al.* 2011). Zusätzlich wurden die in SALCA vorhandenen Datensätze durch Inventare aus der französischen Datenbank AGRIBALYSE® (Koch und Salou 2014) für Feldarbeiten, für Baum- und Rebenetzlinge und für Gewächshäuser sowie durch neu erstellte Ökoinventare ergänzt.

In Herndl *et al.* (im Druck) sind die Ökoinventar-Gruppen aufgelistet, welche in Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe benötigt werden, und für welche in FarmLife neue Inventare erstellt wurden. Neue Inventare wurden für das Einrichten und Abräumen von Rebbergen und für Mischfuttermittel erstellt. Mehr Details zur Identifikation des Bedarfs, zum Vorgehen und den berechneten Ökoinventaren sind unter Herndl *et al.* (im Druck) verfügbar.

Datenverarbeitung und Werkzeuge

Die Datenverarbeitung in FarmLife umfasst drei Ebenen: i) die Erfassungsebene mit FarmLife-Capture, ii) die Bewertungsebene mit mehreren Werkzeugen sowie iii) die Ebene der Betriebsrückmeldung.

Hinsichtlich der Bewertungsebene wurden im Rahmen des vorliegenden Projekts folgende Werkzeuge entwickelt:

- FarmLife-Prepare für die Überprüfung der Datenerfassung
- FarmLife-Calculate für die Aufbereitung der Rohdaten sowie
- FarmLife-Export zur Generierung der Betriebsinventare, welche die Schnittstelle mit dem Werkzeug
- FarmLife-LCA bilden, welches eine Anpassung von SALCA-Farm (Nemecek *et al.* 2010) darstellt.

Im Werkzeug FarmLife-LCA erfolgt über eine Abfolge von Berechnungsschritten die Ökobilanzberechnung unter Einbezug der Modelle für die direkten Feld- und Tieremissionen, die Ökoinventare und den Wirkungsabschätzungsmethoden. SimaPro 7.3.3 (PRé Consultants 2011) ist die dabei verwendete Ökobilanzsoftware.

Im Tagungsbeitrag ‚Datenverarbeitungskonzept für die Ökobilanzierung‘ (Guggenberger 2015) wird die Datenverarbeitung detaillierter ausgeführt. Weiterführende Informationen sind in Herndl *et al.* (im Druck) verfügbar.

Schlussfolgerung

Im Projekt FarmLife wurde das dargelegte Konzept der einzelbetrieblichen Ökobilanzierung erfolgreich angewandt. Auf der Basis dieses Konzeptes, war es möglich einen

Datenfluss festzulegen, die notwendigen Werkzeuge zu erstellen und durch gezielte Adaptionen von SALCA an die österreichischen Gegebenheiten 51 Betriebe ökobilanziell zu bewerten. Damit wurde ein Kernziel des Projekts FarmLife erreicht, nämlich die Etablierung des technischen Könnens und fachlichen Wissens zur betrieblichen Ökobilanzierung in Österreich samt Anwendung auf einem Betriebsnetz mit der Möglichkeit verschiedene Zielgruppen, wie die Betriebsleiter und die verschiedenen Entscheidungsträger (Administration, Berufsverbände, Umweltorganisationen, etc.) mit Informationen zum Umweltmanagement in der österreichischen Landwirtschaft zu versorgen. Das Konzept stellt eine solide Grundlage für künftige Entwicklungen und erweiterte Anwendungen im Bereich der betrieblichen Ökobilanzierung in Österreich dar.

Literatur

- Basset-Mens C., Van Der Werf H.M.G. (2005) Scenario-Based Environmental Assessment of Farming Systems: the Case of Pig Production in France. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 105, 1-2, 127-144.
- Bystricky M., Herndl M. & Baumgartner D.U. (2015) Umweltwirkungen der Projektbetriebe. In Abschlussstagung des Projektes FarmLife, 22.-23.9.2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015. Irdning-Donnersbachtal, Österreich.
- Bystricky M. & Nemecek T. (2015) SALCA-Emissionsmodelle: Anwendung in Österreich. In Abschlussstagung des Projektes FarmLife, 22.-23.9.2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015. Irdning-Donnersbachtal, Österreich.
- Ecoinvent Centre (2010) ecoinvent Data - The Life Cycle Inventory Data V2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Internet: <http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-2/>. Zuletzt abgerufen: 05.11.2014.
- Gaillard G. & Nemecek T. (2009) Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA): An integrated environmental assessment concept for agriculture. In: Int. Conf. „Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy“, Egmond aan Zee, The Netherlands. AgSAP Office, Wageningen University, Niederlande, 134-135.
- Guggenberger T. (2015) Datenverarbeitungskonzept für die Ökobilanzierung. In Abschlussstagung des Projektes FarmLife, 22.-23.9.2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015. Irdning-Donnersbachtal, Österreich.
- Guggenberger T. & Steiner C. (2015) Einzelbetriebliche Rückmeldung. In Abschlussstagung des Projektes FarmLife, 22.-23.9.2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015. Irdning-Donnersbachtal, Österreich.
- Guinée J.B., Gorrié M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., De Koning A., Van Oers L., Wegener Sleswijk A., Suh S., Udo De Haes H.A., De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M.A.J., Lindeijer E., Roorda A.A.H. & Weidema B.P. (2001) Life cycle assessment – An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, Netherlands.
- HAUSCHILD M.Z. & POTTING J. (2005) Spatial differentiation in life cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology. The Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Copenhagen, *Environmental News*, 195 p., Available at <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-579-4/pdf/87-7614-580-8.pdf>.
- Herndl M., Baumgartner D.U., Guggenberger T., Bystricky M., Gaillard G., Lansche J., Fasching C., Steinwider A. & Nemecek T. (im Druck) Abschlussbericht FarmLife - Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. HBLFA Raumberg-

- Gumpenstein, Irnding-Donnersbachtal, Österreich und Agroscope, Zürich, Schweiz.
- Hersener J.-L., Baumgartner D.U., Dux D., Aeschbacher U., Alig M., Blaser S., Gaillard G., Glodé M., Jan P., Jenni M., Mieleitner J., Müller G., Nemecek T., Rötheli E. & Schmid D. (2011) Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich/Ettenhausen.
- Hischier R., Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M. & Nemecek T. (2010) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- IPCC (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge/New York.
- ISO (2006a) ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO, Genf, Schweiz.
- ISO (2006b) ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO, Genf, Schweiz.
- Koch P. & Salou T. (2014) AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique – Version 1.1 März 2014. ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Angers, 386 S.
- Nemecek T., Freiermuth Knuchel R., Alig M. & Gaillard G. (2010) The advantages of generic LCA tools for agriculture: examples SALCA-crop and SALCAfarm. In: Notarnicola, B., Settanni, E., Tassielli, G., Giungato, P. (Hrsg): Proceedings of the 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, 433-438.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E. & Mogensen L. (2010) Environmental consequences of different beef production systems in the EU. Journal of Cleaner Production, 18, 8, 756-766.
- Pré Consultants (2011) Simapro 7.3.3. Internet: <http://www.pre-sustainability.com/simapro>. Zuletzt abgerufen: 12.05.2015.
- Prudêncio Da Silva V., Van Der Werf H.M.G., Soares S.R. & Corson M.S. (2014) Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. Journal of Environmental Management, 133, 222-231.
- Rossier D. & Gaillard G. (2004) Ökobilanzierung des Landwirtschaftsbetriebs. Methode und Anwendung in 50 Landwirtschaftsbetrieben. Schriftenreihe der FAL 53. Agroscope FAL Reckenholz, Zürich.
- Thomassen M.A., Van Calker K.J., Smits M.C.J., Iepema G.L., De Boer, I.J.M. (2008) Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Agricultural Systems, 96, 1-3. 95-107.