

Daniela Thomae

Klimarelevanz von Prozessketten zur
Bereitstellung von Trinkmilch

-
von der Landwirtschaft bis zum Handel



DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Ökotoxologie
am Fachbereich 09 Agrarwissenschaften, Ökotoxologie
und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen



edition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2013

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2013

© 2013 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen

Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Justus-Liebig-Universität Gießen

**Klimarelevanz von Prozessketten zur
Bereitstellung von Trinkmilch**

-

von der Landwirtschaft bis zum Handel

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Ökotrophologie
am Fachbereich 09 Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und
Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

M.Sc. Daniela Thomae

Lahnau, 20.09.2013

Gießen 2013

Tag der Prüfung:	17. Dezember 2013
1. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Elmar Schlich
2. Gutachte:	Prof. Dr. Dietmar Bräunig
Prüfer:	Prof. Dr. Dirk Engelhardt
Prüfer:	Prof. Dr. Günter Leithold
Prüfungsvorsitzende:	Prof. Dr. med. Katja Becker

Kurzfassung

Auf internationaler Ebene gibt es Bestrebungen, Produkte mit einem „Carbon Label“ zu kennzeichnen. Dahinter steht der Gedanke, den anthropogenen Klimawandel einzudämmen. Die durchgeführte Studie hat das Ziel, Einflussfaktoren auf die Höhe der Treibhausgas-Emissionen (THG) der Milchbereitstellung zu untersuchen. In diesem Zusammenhang wird geprüft, ob die These zur „Ecology of Scale“ für die Prozesskette der Milch gilt. Die These von *Schlich et al. 2005* nimmt an, dass die Betriebsgröße einen Einfluss auf die Umweltwirkung des hergestellten Produkts hat. Die Entfernung zwischen Primärproduktion und „Point of Sale“ sei dagegen weniger relevant (Schlich 2005; Schlich 2008a, Schlich 2008b; Schröder 2007).

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Primärenergieumsätzen und THG-Emissionen bei der Bereitstellung von Milch. Die Ergebnisse der Erhebung zeigen eine große Schwankungsbreite auf allen Stufen der Prozesskette. Wichtigster Endenergieträger in der Landwirtschaft ist Diesel. Daneben kommt an zweiter Stelle Elektroenergie. Für die Höhe der THG-Emissionen aus Elektroenergie besteht ein Zusammenhang zur Betriebsgröße gemäß der These der „Ecology of Scale“. Für den gesamten Primärenergieumsatz der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe bestätigt sich die These nicht. Auf Stufe der Molkereien sind Elektroenergie und Gas von vergleichbarer Bedeutung. Für die Höhe der Umsätze spielt die produzierte Sorte Trinkmilch (Frischmilch, ultrahocherhitzte Milch) eine Rolle. Die Studie zeigt, dass die Datenerhebung über die gesamte Bereitstellungskette sehr aufwendig ist, insbesondere bei Betrieben mit verschiedenen Wirtschaftszweigen. Je nach Umfang zugekaufter Produkte sind Daten aus der Literatur (sekundäre Datenquellen) nötig. Damit wird nicht mehr der tatsächliche Ist-Zustand ausgedrückt und die Genauigkeit der Ergebnisse sinkt.

Erste Untersuchungen bezüglich des Einkaufsverhaltens des Endverbrauchers zeigen, dass dieser Teil der Bereitstellungskette einen erheblichen Anteil am gesamten THG-Ausstoß von Trinkmilch ausmacht. Demzufolge scheint es sinnvoll, das Einkaufsverhalten im Zusammenhang mit der Infrastruktur des Lebensmitteleinzelhandels (LEH) und alternativen Vermarktungsformen zu untersuchen. Schwachpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Erfassung der Treibhausgas-Emissionen aus weiteren Quellen neben der Energienutzung. Zur Methan- und Lachgasemission in der Landwirtschaft stehen in der Literatur nur teilweise auswertbare Daten in unterschiedlicher Qualität zur Verfügung. Daraus kann eine Spannweite an produktspezifischen Emissionen abgeleitet werden. Aus den erhobenen Daten der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe ist das Ableiten von individuellen Methan- und Lachgas-Emissionen nicht möglich.

Abstract

Internationally, several initiatives exist, that show carbon labelling in products. Their aim is to reduce anthropogenic climate change. The purpose of this study was to find the factors that influence the amount of greenhouse gas (GHG) emission of the supply chain of milk. Therefore the theory of "Ecology of Scale" was checked. This theory, developed by *Schlich et al. 2005*, assumes an effect of the scale of the operation unit to the primary energy consumption of the product, while the distance between farm and point of sale would be less relevant.

The present study estimates the primary energy use and greenhouse gas emissions of the supply chain of milk. The results of the survey have wide variations at all steps of the chain. At the farm level, the most important source of supplied energy is diesel. Secondary electrical energy is used, for which an interaction between the scale of the farms and their electrical energy use exists, consistent with the theory of "Ecology of Scale". The theory couldn't be verified for the whole primary energy consumption of the farms. At the dairy plant level electrical energy and gas have the same importance. The extent of energy consumption depends on the type of drinking milk being produced (i.e., pasteurized milk, UHT milk). The study shows that the data inquiry of the whole supply chain is very complex especially at farms and plants with different areas of business. In dependence with the amount of purchased products, data from literature (secondary data sources) are indispensable. The ramification is the decrease of the correctness of the results because the use of secondary data doesn't picture the real state.

First examinations of the consumer behavior in terms of purchasing food are conducted. Their results show, that this part of the supply chain of food has a considerable share in the whole GHG-emissions of fluid milk. Therefore, it seems to be worthwhile to examine consumers purchase behavior in conjunction with the infrastructure of retail and alternative commercialization ways (such as delivery services). The vulnerable point of the present study is the inquiry of GHG-emissions from sources other than energy consumption. Evaluable data from the literature for CH₄ and N₂O-Emission at the farm level exist in different quality. Out of it a span of product specific emissions are deduced. Deducing farm specific emissions from inquired information of the individual farms are not possible.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract.....	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Liste der verwendeten Abkürzungen	X
Formelverzeichnis	XI
1 Einleitung	12
2 Grundlagen	16
2.1 Bewertung von Lebensmitteln aus Sicht der Klimawirkung.....	16
2.2 These zur „Ecology of Scale“	18
2.3 Literaturübersicht.....	19
2.3.1 Allokation	19
2.3.2 „non-energy“-Emissionen in der Landwirtschaft.....	21
2.3.3 Studien zur Milchviehhaltung	26
2.3.4 Studien zur Molkereiwirtschaft	32
2.3.5 Studien zur gesamten Lebensmittelkette	33
2.4 Milchwirtschaft in Deutschland	35
2.4.1 Milcherzeugung.....	35
2.4.2 Milchverarbeitung und Konsum	36
2.5 Hypothesen und Ziele.....	37
3 Material und Methode	38
3.1 Analysemethode	38
3.2 Darstellung der untersuchten Betriebe	38
3.2.1 Landwirtschaftliche Betriebe.....	40
3.2.2 Molkereien.....	48
3.3 Systemgrenzen und Funktionelle Einheit.....	49
3.4 Bewertung der Nebenprodukte (Allokation).....	52
3.4.1 Allokation in der Landwirtschaft.....	52
3.4.2 Allokation bei den Transporte	53
3.4.3 Allokation bei den Molkereien	54
3.5 Datenerhebung.....	54
3.5.1 Datenerfassung in der Landwirtschaft.....	54

3.5.2 Datenerfassung bei den Molkereien	55
3.6 Datenaufbereitung	55
3.6.1 Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren	55
3.6.2 Bewertung von Futtermitteln.....	58
3.6.3 Bewertung von Transportleistungen.....	59
3.6.4 Bewertung der Molkereiprozesse	61
4 Ergebnisse.....	67
4.1 PE-Einsatz und THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Milchproduktion	67
4.2 Emissionen der Landwirtschaft aus anderen Quellen als Energie.....	72
4.3 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen beim Rohmilchtransport	73
4.4 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen bei der Verarbeitung in Molkereien.....	74
4.5 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen der Distribution.....	82
Distribution zum Zentrallager LEH.....	82
Distribution zu den Filialen	83
Lieferservice zum Endkunden	83
4.6 Emissionen über die Prozesskette der Milchbereitstellung	83
5 Diskussion.....	85
5.1 Vergleich mit der Literatur	85
5.2 Bewertung der Ergebnisse der Landwirtschaft.....	89
5.3 Bewertung der Ergebnisse der Molkereien	96
5.4 Fazit	99
Prozessketten der Milchbereitstellung.....	99
Aussagekraft eines Carbon Footprints.....	101
Ausblick.....	102
6 Zusammenfassung	104
7 Literaturverzeichnis	107

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1.1: Quellgruppen der Treibhausgas-Emissionen in [%] für Deutschland gemäß Inventarbericht des Umweltbundesamts (UBA 2012).....	13
Abb. 1.1.2: Verteilung der THG-Emissionen aus der Ernährungswirtschaft gemäß Klimabericht 2008 (BMELV 2008)	13
Abb. 1.1.3: Verteilung des Endenergieumsatzes in Deutschland in [%] nach (BMWi 2011) .	14
Abb. 1.1.4: "Carbon Labels" verschiedener europäischer Handelsunternehmen (Penny 2011; Picard 2008; Climatop 2013).....	14
Abb. 2.1.1: Gruppierung der „Carbon Labels“	18
Abb. 2.1.2: Spezifische THG-Emissionen eines Produkts über das Produktionsvolumen des Betriebs gemäß der These der "Ecology of Scale"	19
Abb. 2.3.1: Aufkommen der verschiedenen THG aus der Landwirtschaft bei Cederberg et al. 2000 (Cederberg 2000).....	29
Abb. 2.3.2: Spezifische THG-Emissionen über die Milchleistung pro Tier (Casey 2005b)....	30
Abb. 3.2.1: Lebenszyklus der Milch	39
Abb. 3.2.2: Untergliederung der untersuchten Lieferketten in Module	40
Abb. 3.2.3: Laufstall der Kühe im Betrieb M1-1	42
Abb. 3.2.4: Kälberstall (links) und Laufstall der Milchkühe (rechts) im Betrieb M2-1	42
Abb. 3.2.5: Fischgrätenmelkstand im Betrieb M2-1, Doppelsechser mit Frontaustrieb	43
Abb. 3.2.6: Schiebesystem und Güllebehälter (links) und Kälber-Iglus (rechts) im Betrieb M2-2	43
Abb. 3.2.7: Melkstand im Betrieb M2-2	44
Abb. 3.2.8: Stall im Betrieb M2-3	44
Abb. 3.2.9: Trächtige Färsen (links) und Kälber (rechts) im Betrieb M3-3	45
Abb. 3.2.10.: Liege Box (links) und Auslaufläche (rechts) im Betrieb M3-4	46
Abb. 3.2.11: Zuckerrübenschnitzel im Siloschlauch (links), Tränkautomat für Kälber (rechts)	46
Abb. 3.2.12: Kälberstall (links) und Stall der Milchkühe (rechts) in Betrieb M3-7	47
Abb. 3.2.13: Melkstand in Betrieb M3-7	47
Abb.: 3.2.14: Milchtanks in Betrieb M3-7	47
Abb. 3.2.15: Abfüllanlage für Frischmilch im Verbundkarton in Molkerei M2.....	48
Abb.: 3.2.16: Rohmilchkühler (links) und Dampf injektor (rechts) in Molkerei M4.....	49
Abb. 3.2.17: Kälteanlage in Molkerei M4.....	49
Abb. 3.3.1: Systemgrenzen in der Landwirtschaft	50
Abb. 3.3.2: Systemgrenzen in der Molkereiwirtschaft.....	51
Abb. 4.1.1: Verteilung der Dieselumsätze in den Betrieben (n = 6) nach Anwendungsbereichen.....	69
Abb. 4.1.2: Spezifische PE-Umsätze der Betriebe nach Endenergieträgern	71

Abb. 4.1.3: Arithmetisches Mittel der spezifischen THG-Emissionen (min-max) in der Landwirtschaft (n=13) nach Endenergieträgern	71
Abb. 4.1.4: Prozentuale Verteilung der Energieaufwendungen in der Landwirtschaft.....	72
Abb. 4.4.1: THG-Emissionen in Molkerei M1 nach Anwendungsbereichen	75
Abb. 4.4.2: THG-Emissionen in Molkerei M2 nach Endenergieträgern.....	76
Abb. 4.4.3: THG-Emissionen in Molkerei M3 nach Anwendungsbereichen	77
Abb. 4.4.4: THG-Emissionen in Molkerei M4 nach Anwendungsbereichen	78
Abb. 4.4.5: THG-Emissionen in Molkerei M0-SV nach Endenergieträgern	80
Abb. 4.4.6: Spezifische THG-Emissionen und PE-Umsätze in den Molkereien nach Endenergieträgern.....	81
Abb. 4.5.1: Spezifische THG-Emissionen bei der Distribution der Trinkmilch	82
Abb. 5.1.1: Verteilung der THG-Emissionen der vorliegenden Arbeit nach ihren Quellen	86
Abb. 5.1.2: Spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe in absteigender Reihenfolge.....	89
Abb. 5.2.1: THG-Emissionen aus Elektroenergie in Abhängigkeit von der Betriebsgröße.....	90
Abb. 5.2.2: Mittelwerte (min-max) der spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe (n = 13) nach Endenergieträgern.....	91
Abb. 5.2.3: Spezifische THG-Emissionen aus Transporte von Dienstleister und Mitarbeiter.	93
Abb. 5.2.4: THG-Emissionen aus der Treibstoffnutzung in Abhängigkeit von der Betriebsgröße.....	93
Abb. 5.2.5: THG-Emissionen aus Energienutzung nach Betriebsgröße	94
Abb. 5.2.6: Vergleich der verschiedenen Methoden zur Erfassung der Emissionen durch Transporte der Rohmilch.....	96
Abb. 5.3.1: Mittelwerte (min-max) der spezifische THG-Emissionen der Molkereien (n=5) nach Endenergieträgern	96
Abb. 5.3.2: Spezifische THG-Emissionen der Molkereien nach Endenergieträgern.....	97
Abb. 5.3.3: THG-Emissionen der Molkereien über die Betriebsgröße	98
Abb. 5.4.1: THG-Emissionen in [g CO _{2-eq} /kg Milch] verschiedener Prozessketten der Milchbereitstellung aus Energienutzung	100
Abb. 5.4.2: Verteilung der gesamten THG-Emissionen entlang der Bereitstellungskette von der Landwirtschaft bis zum Handel.....	101

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.3.1: Übersicht verschiedener Studien zur Methan-Emission in der Milchwirtschaft ...	23
Tab. 2.3.2: Übersicht verschiedener Studien zur Lachgas-Emission in der Milchwirtschaft ..	25
Tab. 2.3.3: Übersicht aktueller Studien zu THG-Emissionen in der landwirtschaftlichen Milchproduktion	27
Tab. 2.3.4: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen der Milchverarbeitung in Molkereien in der Literatur.....	33
Tab. 2.3.5: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen entlang des Lebenszyklus der Milch in der Literatur	35
Tab 3.4.1: Berechnete Schlachtkörpergewicht von Rindern in [kg]	53
Tab 3.6.1: Heizwert, Dichte und Primärenergie-Faktoren verschiedener Endenergieträger....	57
Tab 3.6.2: Berechnung der THG-Emissionen von verschiedenen Endenergieträgern.....	58
Tab. 4.1.1: Übersicht über die untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe.....	68
Tab. 4.3.1: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen für Rohmilchtransporte.....	74
Tab. 4.4.1: PE-Umsätze und THG-Emissionen in den Molkereien	80
Tab. 4.4.2: Spezifische THG-Emissionen in den Molkereien nach Anwendungsgebieten.....	81
Tab.: 4.5.1: PE-Umsätze und THG-Emissionen aus den Sammelrouten der Rohmilchabholung.	82
Tab. 4.6.1: Übersicht aller spezifischen PE-Umsätze und THG-Emissionen der gesamten Prozesskette der Milchbereitstellung von der Landwirtschaft bis zum Handel	84

Liste der verwendeten Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz e. V., Berlin
CF	Carbon Footprint
CIP	Clean in Place (Reinigung im Prozess)
CO ₂ -eq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
EPD	Environmental Product Declaration
ECM	Energy corrected milk
EE	Endenergie
ESL	Extended shelf life
FPCM	Fat and protein corrected milk
FU	Funktionelle Einheit
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental panel on Climate Change
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt
LCA	Life Cycle Analyse
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
PCR	Product Category Rules
PE	Primärenergie
PET	Polyethylenterephthalat
PoS	Point of Sale (Verkaufsort)
THG	Treibhausgas
TKB	Tierkörperbeseitigung

Verwendete Indizes

EE-mes.	Gemessener Endenergieumsatz
FM	Futtermittel
HRF	Hochregalfahrzeug
MA	Milchaustauscher
PE-L	Primärenergieumsatz in der Landwirtschaft
Produkt-mes.	Gemessenes Produktvolumen

Formelverzeichnis

- $W_{EE} = V_{EE} * \rho * f_{\text{Heizwert}} * f_{\text{Allokation}}$ (Gl. 3.6.1)
- $W_{PE} = W_{EE} * f_{PE}$ (Gl. 3.6.2)
- $w_{PE\text{-Treibstoff}} = W_{PE\text{-Treibstoff}} / m_{\text{Produkt}}$ (Gl. 3.6.3)
- $m_{THG} = W_{EE} * f_{THG}$ (Gl. 3.6.4)
- $m_{THG} = m_{THG} / m_{\text{Produkt}}$ (Gl. 3.6.5)
- $W_{EE\text{-FM}} = A_{FM} * W_{KTBL}$ (Gl. 3.6.6)
- $W_{PE\text{-MA}} = m_{MA} * w_{PE\text{-L}}$ (Gl. 3.6.7)
- $n_{\text{Anfahrten}} = n_{\text{Tiere}} / 80$ (Gl. 3.6.8)
- $V_{\text{Treibstoff}} = S * f_{\text{Hin-/Rückfahrt}} * f_{\text{Häufigkeit}} * f_{\text{Treibstoffumsatz}} * f_{\text{Allokation}}$ (Gl. 3.6.9)
- $W_{\text{Druckluft}} = N_{\text{Druckluft}} * f_{\text{Erzeugung}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}}$ (Gl. 3.6.10)
- $W_{\text{Dampf}} = m_{\text{Dampf}} * f_{\text{Erzeugung}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}}$ (Gl. 3.6.11)
- $W_{\text{Kälte}} = W_{\text{Kälte-l}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}}$ (Gl. 3.6.12)
- $W_{EE} = P * (V / \dot{V}) * n * f_{\text{Einheit}}$ (Gl. 3.6.13)
- $W_{EE} = Q / \varepsilon$ (Gl. 3.6.14)
- mit $Q = V * \rho_{\text{Produkt}} * c_{\text{Produkt}} * \Delta T / 1000$
- $m_{\text{Dampf}} = (m_{\text{Produkt}} * c_{\text{Produkt}} * \Delta T_{\text{Produkt}}) / k_{\text{Dampf}}$ (Gl. 3.6.15)
- $W_{EE} = m_{\text{Dampf}} * w_{\text{Dampf}} * f_{\text{Einheit}}$ (Gl. 3.6.16)
- $W_{EE} = P_{\text{HRF}} / \dot{n}_{\text{Paletten}} * n_{\text{Paletten}} * f_{\text{Bewegungen}} * f_{\text{Einheit}}$ (Gl. 3.6.17)
- $W_{EE} = W_{EE\text{-mes.}} / V_{\text{Produkt-mes.}} * V_{\text{Produkt}} * f_{\text{Einheit}}$ (Gl. 3.6.18)
- $n_{\text{Pumpe}} = \Sigma \dot{V}_{\text{Eiswasser}} / \dot{V}_{\text{Pumpe}}$ (Gl. 3.6.19)
- $ECM = 0,25 * m_{\text{Milch}} + 12,2 * m_{\text{Fett}} + 7,7 * m_{\text{Protein}}$ (Gl. 5.1.1)

1 Einleitung

Die Veränderungen des Klimas haben lebensbedrohende Auswirkungen insbesondere für die Nationen, die bereits unter schwierigen Lebensbedingungen leiden. Der Klimawandel und die verursachenden Treibhausgas-Emissionen sind daher Gegenstand politischer Verhandlungen und sollten bei strategischen, wirtschaftlichen Entscheidungen eine Rolle spielen. Die Industrienationen sind darüber hinaus mit sich verknappenden fossilen Energieressourcen konfrontiert. Da durch die Nutzung dieser fossilen Energiequellen Treibhausgase (THG) emittieren, gibt es vielfache Motivationen, Produktionsprozesse möglichst energieeffizient zu gestalten.

Zwei Strategien können zur Reduktion von Treibhausgasen ergriffen werden. Zum einen sind dort Einsparungen zu treffen, wo dies am leichtesten fällt. Zum anderen sind die Bereiche für Reduktionen prädestiniert, die große Mengen an Emissionen verursachen und somit große Einsparungen zu erhoffen sind. Für Letzteres gibt die Verteilung der Emissionen in Deutschland gemäß des „Nationalen Inventarberichts Deutschland“ eine Übersicht (UBA 2012). Laut Kyoto-Protokoll sind Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) die relevanten Treibhausgase. CO₂ entsteht insbesondere durch Verbrennungsprozesse. Methan entsteht bei Vergärung, das heißt auf Deponien und in der Tierhaltung sowie durch Brennstoffverteilung. Lachgas entsteht in der Landwirtschaft durch den N-Stoffwechsel im Boden, bei Industrieprozessen und bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (UBA 2012).

Abbildung 1.1.1 zeigt die Quellgruppen der Treibhausgas-Emissionen (THG) und deren Anteile an der Gesamtemission in Deutschland. Der Energiesektor ist somit mit 84 % wichtigster Emittent von Treibhausgasen. Landwirtschaft und Industrieprozesse verursachen jeweils zwischen 7 und 8 % der THG-Emissionen (UBA 2012). Insgesamt ist CO₂ das THG mit der mengenmäßig größten Bedeutung, es verursacht 87 % der THG. Methan und Lachgas nehmen jeweils zwischen 5 und 6 % ein, HFC 1,2 % und SF₆ 0,3 %. PFC haben mittlerweile eine untergeordnete Bedeutung (UBA 2012).

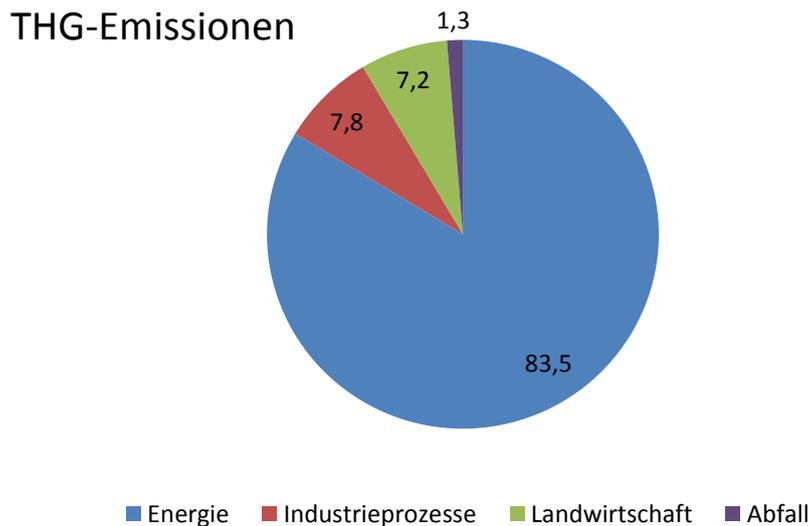


Abb. 1.1.1: Quellgruppen der Treibhausgas-Emissionen in [%] für Deutschland gemäß Inventarbericht des Umweltbundesamts (UBA 2012)

Bezogen auf die Ernährungswirtschaft stellt das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Klimabericht 2008 folgende Verteilung der THG-Emissionen dar (Abb. 1.1.2). Beinahe 50 % der Emissionen entfallen demnach auf die Landwirtschaft, 5 % auf die Ernährungsindustrie und 15 % auf den Lebensmittelhandel. Dabei sind die Transporte von der Industrie zum „Point of Sale“ dem Handel zugerechnet. Haushalte verursachen gemäß dieser Übersicht weitere 32 % der Emissionen aus der Ernährungswirtschaft (BMELV 2008). Die Angaben beziehen sich auf verschiedene Studien, die für die Stufe der Haushalte auf das Jahr 1994 zurückreichen (Enquete-Kommission 1994, S. 151–153). Bei den Angaben zur Landwirtschaft ist zu berücksichtigen, dass darin Industrieprozesse, zum Beispiel zur Herstellung von Düngemitteln, enthalten sind.



Abb. 1.1.2: Verteilung der THG-Emissionen aus der Ernährungswirtschaft gemäß Klimabericht 2008 (BMELV 2008)

Betrachtet man ausschließlich den Endenergieumsatz als THG-Quelle, zeigt Abb. 1.1.3 die für Deutschland relevanten Einsatzorte. Die Anteile am Endenergieumsatz sind berechnet nach Angaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi 2011). Deut-

lich dominierend sind der Verkehr (29 %) und die Raumwärme (26 %) zusammen mit sonstiger Prozesswärme (23 %).

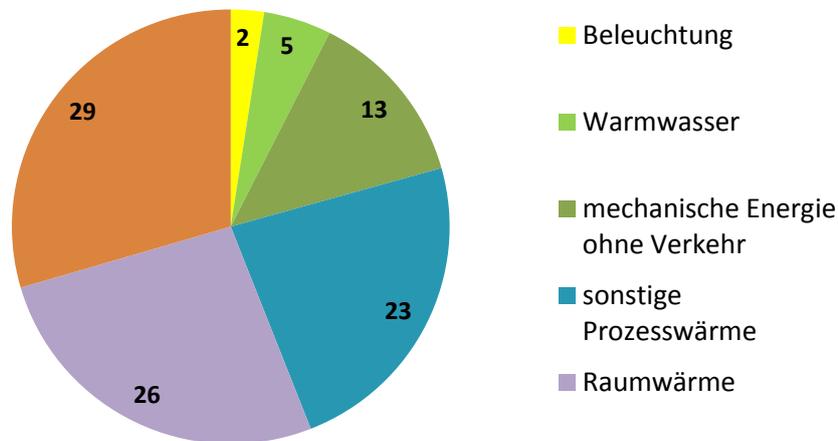


Abb. 1.1.3: Verteilung des Endenergieumsatzes in Deutschland in [%] nach (BMW 2011)

Als Antwort auf die dargestellte Problematik sind die Ermittlung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emission von Unternehmen, Dienstleistungen und Produkten auf dem Vormarsch. Bei der obligatorischen Energie-Kennzeichnung von ausgewählten Elektrogeräten beziehen sich die Angaben auf den Endenergieumsatz in der Nutzungsphase, dies gilt auch für die Ausweisung der CO₂-Emission von Automobilen (2003/66/EG; VO (EU) Nr. 397/2013; VO (EG) Nr. 443/2009). Darüber hinaus sind aktuell Bemühungen sichtbar, die THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von Produkten, darunter auch Lebensmittel, auszuweisen. Beispiele hierfür sind in Abbildung 1.1.4 dargestellt (Fourdrin 2009; Inaba 2009; KRAV 2012; Migros 2009; Penny 2011; Picard 2008; The Carbon Trust 2008b).



Tesco (UK)

Casino (F)

Migros (CH)

Abb. 1.1.4: „Carbon Labels“ verschiedener europäischer Handelsunternehmen (Penny 2011; Picard 2008; Climatop 2013)

Die vorliegende Arbeit möchte die THG-Emissionen anhand mehrerer Prozessketten zur Bereitstellung von Milch ermitteln und dabei Einflussgrößen, Aussagekraft und Erfassungsaufwand für eine solche Kennzeichnung prüfen. Dazu zählt die Betrachtung der These zur „Ecology of Scale“ und die Prüfung auf deren Übertragbarkeit zur Milchwirtschaft. Die These der „Ecology of Scale“ besagt, dass die Größenordnung eines Betriebes Einfluss auf die Energieeffizienz und somit die Umweltwirkung der Produktbereitstellung nimmt. Vertreter einer regionalen Produktionsweise befürchten, dass diese These Massentierhaltung und Monokulturen als ökologisch wertvoll beschreiben will. Dahingehend kann der Bewertungsansatz dazu dienen, regionale Betriebe durch verschiedenste Maßnahmen so zu optimieren, dass sie auch aus energetischer Sicht effizient arbeiten können. Die Einzelbewertungen können als „Benchmark“ zur Ermittlung der minimalen Betriebsgröße dienen. In der vorliegenden Arbeit wird über die energetische Bewertung hinaus eine Analyse der emittierten Treibhausgase über die Prozesskette der Lebensmittelbereitstellung vorgenommen. Dabei sind insbesondere die Methan- und Lachgas-Emissionen in der Landwirtschaft von Bedeutung. Sie entstehen beim Verdauungsprozess der Rinder, dem Wirtschaftsdüngermanagement und dem N-Stoffwechsel des Bodens. Diese THG werden gemäß ihres „global warming potential“ (GWP), das heißt dem Ausmaß ihres Einflusses auf das globale Klimasystem, bewertet. Das GWP hängt ab von den Strahlungseigenschaften und der Lebensdauer der Gase in der Atmosphäre. Basiseinheit ist der erwärmende Einfluss von CO₂. Für alle THG sind GWPs berechnet, sodass die Emissionen in ihrer Summe mit der Einheit CO₂-Äquivalent (CO₂-eq) ausgedrückt werden können (Forster 2007).

2 Grundlagen

2.1 Bewertung von Lebensmitteln aus Sicht der Klimawirkung

Bei der Erstellung eines „Carbon Footprint“ (CF) finden die im Kyoto-Protokoll von 1998 (Vereinte Nationen 1997) definierten Treibhausgase Beachtung. Die Quantifizierung der einzelnen THG erfolgt unter Berücksichtigung ihres Potenzials, zur Erderwärmung beizutragen (global warming potential) (Forster 2007, S. 137). Die Erstellung eines „Carbon Footprint“ und anderer Klimalabels ist derzeit weltweit in einer Pilotphase. Die Motivation zu einer solchen Produktdeklaration kommt aus verschiedenen Richtungen. In den Ländern Schweden, Frankreich und Japan bestehen Initiativen von Seiten der Regierung (Fourdrin 2009; Inaba 2009; KRAV o.J.a; KRAV o.J.b). Während Schweden eine freiwillige Lösung von Industrie und Non Government Organisations (NGOs) erwartet (KRAV 2008), bereitet Frankreich verpflichtende Vorgaben vor. Diese Vorgaben durchlaufen seit Juli bzw. Dezember 2011 mit 168 Unternehmen eine einjährigen Erprobungsphase und befinden sich derzeit in Auswertung (BP X30-323 2008). Dabei sollen neben THG-Emissionen als Kriterium für die Klimaänderung auch andere Umweltkriterien wie der Wasserverbrauch Berücksichtigung finden, sobald dafür einheitliche Erfassungskriterien vorliegen (ADEME 2011). Für Lebensmittel ist eine umfassende Ökobilanz mit allen fünf üblichen Wirkungskategorien vorgesehen (ADEME 2012). Auch von Seiten der Akteure, wie Industrie (z. B. Walkers, Innocent) und Handel (z. B. Tesco - Großbritannien, Migros - Schweiz, Casino - Frankreich) sind entsprechende Bestrebungen sichtbar (The Carbon Trust 2008b; Penny 2011; Picard 2008; Migros 2009). Deutschland beschäftigt sich in 2008/2009 in der Projektgruppe „PCF-Pilotprojekt“ mit dem produktbezogenen „Carbon Footprinting“. In diesem Projekt ermitteln Firmen verschiedener Branchen für eines ihrer Produkte oder Dienstleistungen den CF (PCF Pilot Project Germany 2009). Eine Fortführung des Projekts ist nicht vorgesehen. Das Umweltbundesamt hat sich 2009 entschieden, das bestehende Label des „Blauen Engels“ neu zu organisieren, wobei verschiedene Kategorien von Umweltwirkungen als „zentrales Schutzziel“ (UBA 2010, S. 4) Berücksichtigung finden. Produkte, die die Emission von Treibhausgasen während ihrer Produktion und Nutzung eindämmen, können die Auslobung „Schützt das Klima“ erhalten (UBA 2008). In Schweden entwickeln die Zertifizierungsunternehmen KRAV und Svenskt Sigill Vorgaben für eine Klimazertifizierung von Lebensmitteln, die in Verbindung mit einer bestehenden Umweltzertifizierung, z. B. der Öko-Zertifizierung, funktionieren sollen. Bei sieben Produkten von unterschiedlichen Unternehmen finden die Regelungen bisher Anwendung (KRAV 2012).

Standards

Zurzeit sind drei Methoden zur Erfassung der Treibhausgas-Emissionen (THG) von Produkten international veröffentlicht. Die „PAS 2050:2011“ ist eine bereits aktualisierte britische Spezifikation, herausgegeben vom „British Standards Institut“ (BSI), maßgeblich unterstützt durch die Organisation „The Carbon Trust“ und das britische Ministerium für Umwelt, Ernährung und ländliche Angelegenheiten (defra) (PAS 2050 2008; PAS 2050 2011). Das etablierte „Greenhouse Gas Protocol“, mit dem bereits THG-Emissionen von Unternehmen erfasst werden, erfährt eine Erweiterung um einen „Standard zur Erfassung und Berichterstattung der Treibhausgase entlang der Produkt- und Bereitstellungskette“. Herausgeber sind das World Resources Institute (WRI) und der World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (WRI 2011a; WRI 2011b). Nicht zuletzt existiert die Internationale Norm zur Erstellung von Ökobilanzen, wobei der Aspekt Klimaänderung eine zu betrachtende Wirkungskategorie darstellt (DIN EN ISO 14040 2006; DIN EN ISO 14044 2006). Die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) entwickelt ergänzend dazu einen Standard zur „Erfassung und Kommunikation des Product Carbon Footprint“, dieser befindet sich noch in der Entwurfsphase (DIN ISO 14067 2012).

Diese und weitere bestehende Methoden zur Erfassung des CF eines Produkts unterscheiden sich in verschiedener Hinsicht. Die Datengrundlage basiert z. B. auf unterschiedlichen Systemgrenzen. Während sich einige Methoden auf den gesamten Lebenszyklus (cradle-to-grave) eines Produkts beziehen (PAS 2050 2008; Migros 2009; DIN EN ISO 14040 2006; Japanese Government 2009), schließen andere die Nutzungsphase aus (Klimatmärkning för mat 2010). Hinzu kommt, dass die Lagerung im Einzelhandel sowie Einkaufsfahrten der Konsumenten nur in Einzelfällen in der Nutzungsphase eines Produktes einbezogen werden (Picard 2008). Ebenfalls finden Produktionsanlagen nicht immer Berücksichtigung (PAS 2050 2008), auch Landumnutzung wird unterschiedlich gehandhabt (PAS 2050 2008). Die Speicherung von Kohlenstoff während des Herstellungsprozesses findet in den Methoden unterschiedlich Berücksichtigung (PAS 2050 2008). Einen Sonderfall stellt die prozesskettenunabhängige Kohlenstoffspeicherung in Klimaschutzprojekten dar, durch deren Unterstützung können Unternehmen ihre verursachten Emissionen ausgleichen (Nature & More 2009a). Dies wird als „Offsetting“ bezeichnet (WBCSD 2004).

Die Ansätze der Labels sowie deren Gestaltung und Vergabekriterien lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die eine Gruppe der „Carbon Footprints“, die allein durch die Berechnung und Angabe der THG-Emissionen einen Anreiz schaffen will, jene zu reduzieren (Picard 2008; Inaba 2009; Nature & More 2009b; PCF Pilot Project Germany 2009). Sowie die andere Gruppe der „Carbon Reduction Labels“, die entweder eine stetige Reduzierung der THG-

Emissionen voraussetzt (The Carbon Trust 2008a) oder das Label nur vergibt, wenn die Emissionen niedriger sind als bei vergleichbaren Produkten (KRAV 2008; Migros 2009; UBA 2008). Letzteres wird auch als „Top-Runner“-Ansatz bezeichnet (Matthes 2008). Den Betrag der berechneten Treibhausgasemissionen selbst geben die „Carbon Reduction Labels“ größtenteils nicht an. In Abbildung 2.1.1 ist diese Einteilung mit Beispielen grafisch dargestellt. Das genannte Verfahren von „Carbon Trust“ in der Mitte der Grafik erfüllt beide Kriterien, es hat eine jährliche Reduktion der Emissionen in seinen Vorgaben und gibt den absoluten Wert der Emissionen bei der Kennzeichnung an (The Carbon Trust 2008a).

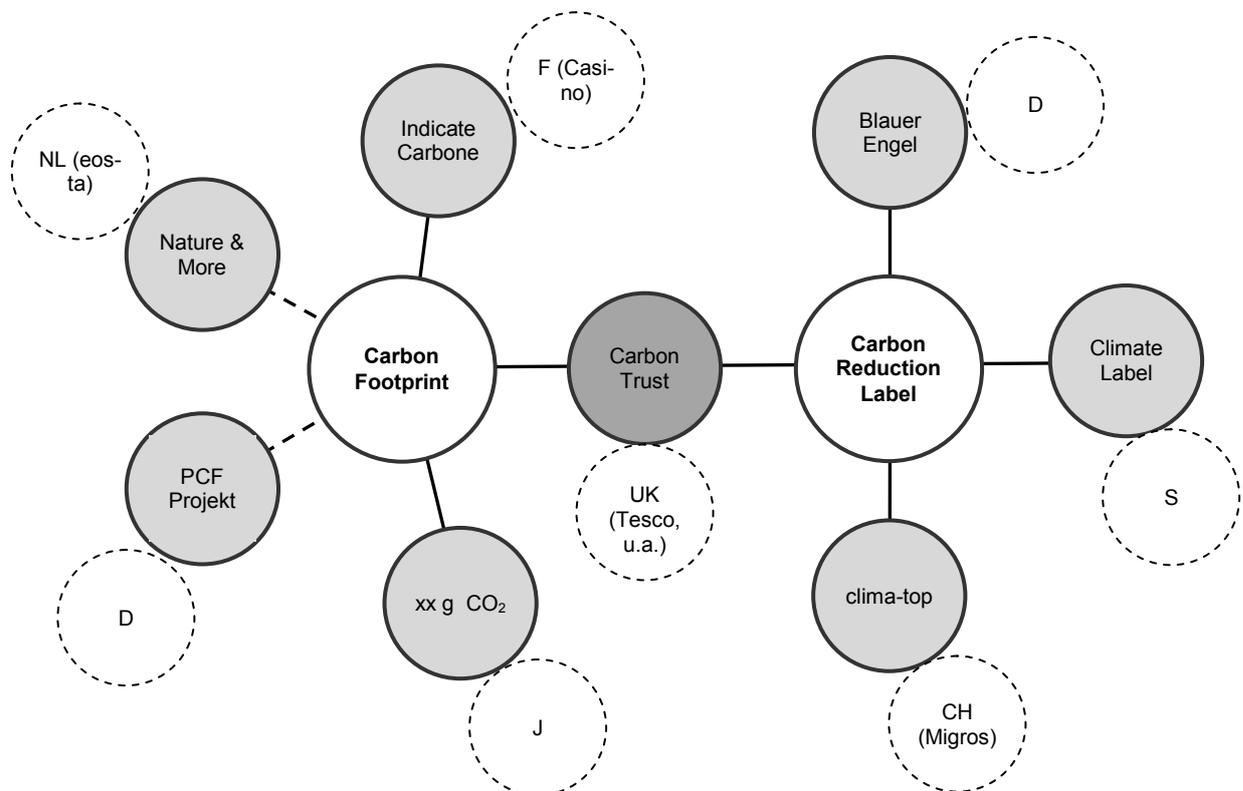


Abb. 2.1.1: Gruppierung der „Carbon Labels“. Die grau hinterlegten Kreise, die sich um die Begriffe „Carbon Footprints“ und „Carbon Reduction Labels“ gruppieren, geben Beispiele bereits entwickelter Labels an. Die gestrichelten Kreise die sich daran anschließen nennen die Länder, die das Label entwickeln und ggf. die unterstützenden Handelsunternehmen.

2.2 These zur „Ecology of Scale“

Vorausgehende Studien zur Lebensmittelbereitstellung am Markt (Point of Sale) lassen eine Abhängigkeit der Umweltwirkungen aus der Energienutzung (Primärenergieumsatz und daraus resultierende CO₂-Emissionen) von der Betriebsgröße erkennen. Die Untersuchungen umfassen bisher Fleisch, Obst und Wein (Schlich 2005, Schlich 2008a, Schlich 2008b, Schröder 2007). Für diesen Zusammenhang führen *Schlich et al. 2005* den Begriff der „Eco-

logy of Scale“ ein (Schlich 2005). Die These unterstellt der Betriebsgröße, gemessen als Jahresmenge hergestellter Produkte, einen höheren Umwelteinfluss als der reinen Entfernung zwischen Primärproduktion und „Point of Sale“ (PoS). Berücksichtigt wird dabei die gesamte Prozesskette der Lebensmittelbereitstellung. Die These nimmt eine degressive Abhängigkeit gemäß der Funktion einer Hyperbel mit $f(x) = a x^{-b} + c$ an. Demnach ist es möglich, mittels hyperbolischer Interpolation der empirisch erhobenen Daten eine hinsichtlich der Klimarelevanz sinnvolle Mindestbetriebsgröße für landwirtschaftliche Betriebe in deutschen Regionen abzuleiten (Schlich 2008a; Schlich 2008b; Schlich 2009).

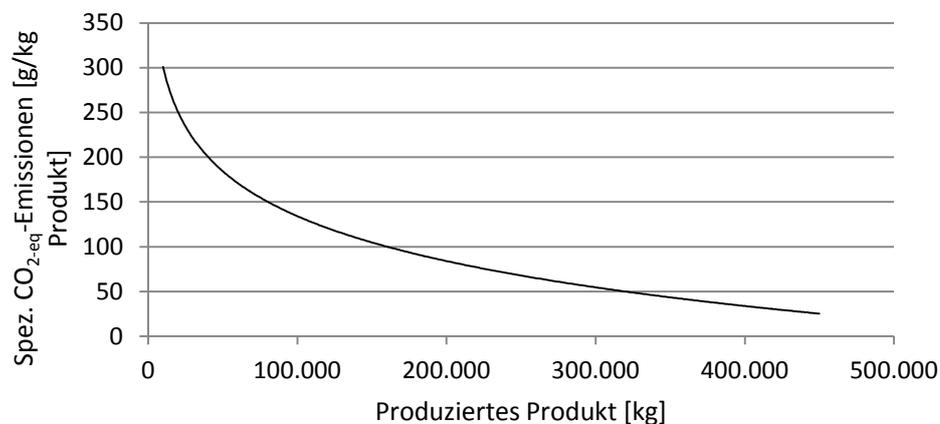


Abb. 2.1.2: Spezifische THG-Emissionen eines Produkts über das Produktionsvolumen des Betriebs gemäß der These der „Ecology of Scale“

2.3 Literaturübersicht

2.3.1 Allokation

In der Milchwirtschaft fallen neben dem untersuchten Produkt Milch auf allen Stufen Nebenprodukte an. Bei der Ermittlung der spezifischen Emissionen der untersuchten Einheit sind daher Methoden zur Berücksichtigung dieser Nebenprodukte notwendig. Als Grundlage für die Allokation können verschiedene Größen dienen, physikalische Faktoren wie die Masse, biologische Faktoren wie die Futteraufnahme und der Stoffwechsel zur Körpererhaltung, Trächtigkeit und Milchproduktion sowie ökonomische Faktoren, dem Marktwert des Produkts beim Verkauf.

Allokation Landwirtschaft

In der aktuellen Literatur finden insbesondere für die Landwirtschaft alle oben genannten Methoden Anwendung (vgl. Tab. 2.3.3). Diese sind im Folgenden dargelegt.

Ohne Allokation

Meul et al. 2007 betrachten den Energieumsatz eines Milchviehbetriebs unter Einbeziehung der Energie für die Herstellung von Düngemitteln. Die Zurechnung der Aufwendungen erfolgt ausschließlich auf die Milch, der Output an Fleisch fließt nicht in die Berechnungen ein (*Meul 2007*).

Biologische Allokation

Basset-Mens et al. 2009 und *Cederberg et al. 2000* teilen die Emissionen entsprechend den Produkten Milch und Fleisch im Verhältnis von 85 % zu 15 % auf. Dies entspricht den Berechnungen für eine biologische Allokation, und somit der physiologisch nötigen Nährstoffaufnahme der Kuh zur Produktion von Fleisch (inklusive Kälber) und Milch (*Basset-Mens 2009*). Zu berücksichtigen ist dabei der Energie- und Proteinumsatz zur Bildung von Milch, für die Phasen der Trächtigkeit sowie der Erhaltungsumsatz (*Cederberg 2000*). *Heller et al. 2008* führen die Allokation der Kälber und geschlachteten Kühe ebenfalls nach der biologischen Wirkungsbeziehung durch (*Heller 2008*).

Ökonomische Allokation

Eine Allokation nach ökonomischen Gesichtspunkten wird von *Casey et al. 2005* durchgeführt. Basis ist der durchschnittliche Milch- und Fleischpreis über vier Jahre. Dies führt zu einer Aufteilung von 85 % für Milch und 15 % für Fleisch. Die Arbeit wird ergänzt durch zwei weitere Modelle. Zum einen ohne Allokation, das heißt auf die Milch entfallen 100 % der Aufwendungen, zum anderen mittels Massenallokation daraus resultiert eine Verteilung von 96,6 % auf die Milch und 3,4 % auf Fleisch (*Casey 2005a*). *Cederberg et al. 2004* wählen eine ökonomische Allokation (90 % Milch, 10 % Fleisch) entsprechend dem Marktwert des aktuellen Jahres (*Cederberg 2004*). *Hirschfeld et al. 2008* und *Hospido et al. 2003* nehmen ebenfalls eine ökonomische Allokation der Haupt- und Nebenprodukte vor (*Hirschfeld 2008*; *Hospido 2003*). *Rotz et al. 2010* wählen das ökonomische Allokationsmodell um verschiedene Betriebsgrößen und unterschiedliche Managementformen (Stallhaltung, Weidehaltung, „drylot“) zu untersuchen (*Rotz 2010*).

Systemerweiterung

Cederberg et al. 2003 betrachten das Modell der Systemerweiterung. Dieses Modell sieht vor, den Fleischgewinn aus geschlachteten Milchrindern und den überschüssigen Kälbern, deren Mast ausschließlich der Fleischproduktion dient, in das System der Milchproduktion zu integrieren. Dafür beziehen sie Daten aus dem System der reinen Bullenmast als Sekundärsystem mit in die Berechnungen ein. Dieses stellt das alternative System zur Gewinnung von Rindfleisch dar. Das Fleisch und die Kälber, die als Nebenprodukte bei der Milchgewinnung entstehen, erfahren eine Bewertung wie Produkte aus der reinen Bullenmast, da sie dieselbe

Funktion erfüllen. Bei diesem Modell entfallen 87 % des Energieumsatzes und 63 % der Klimawirkung auf die Milchproduktion. Dieses Modell vergleichen die Autoren mit den anderen drei Methoden, der ökonomischen Allokation (92 % Milch, 6 % Fleisch, 2 % überschüssiger Kälber, die nicht zur Erhaltung der Herdengröße nötig sind), der biologischen Allokation (85 % Milch, 15 % Fleisch und Kälber) und ohne Allokation. *Grönroos et al. 2006* beziehen sich auf *Cederberg et al. 2003* und übernehmen die Zuteilung der Emissionen entsprechend einer Systemerweiterung (Grönroos 2006).

Flysjö et al. 2011 vergleichen fünf verschiedene Allokationsmodelle, neben den bereits erwähnten - Systemerweiterung, biologisch, ökonomisch, physikalisch - zudem eine Allokation nach dem Proteingehalt (Flysjö 2011). Dafür ergeben sich für Neuseeland und Schweden unterschiedliche hohe Anteile, die der Milch zuzurechnen sind:

	Neuseeland	Schweden
Biologisch:	86 % zur Milch	85 % zur Milch
Ökonomisch:	92 % zur Milch	88 % zur Milch
Physikalisch:	98 % zur Milch	98 % zur Milch
Protein:	94 % zur Milch	93 % zur Milch

Thomassen et al. 2008 vergleichen verschiedene Methoden miteinander. Sie stellen der Massenallokation (96 % Milch) und der ökonomischen (92 % Milch) Allokation die Systemerweiterung gegenüber (Thomassen 2008a).

Allokation Molkerei

Berlin 2005 wählt eine ökonomische Allokation (Berlin 2005). *Heller et al. 2008* führen die Zuordnung der Emissionen zu Milch, Milchpulver und Butter auf Basis der festen Milchbestandteile („milk solids“) durch (Heller 2008). *Hospido et al. 2003* nehmen keine Allokation des anfallenden Rahms vor, da er nur 2,5 % der jährlichen Produktion ausmacht. Weitere Nebenprodukte spielen in der Studie keine Rolle, da es sich weitestgehend um Molkereien handelt, die nur eine Sorte Milchprodukt abfüllen (Hospido 2003). Die *International Dairy Federation 2009* schlägt in seinem Report eine ökonomische Allokation vor, gemäß den meisten von ihm gesichteten Studien (IDF 2009). *Mwangome 2009* führt die Allokation von Nebenprodukten über die Masse durch (Mwangome 2009).

2.3.2 „Non-energy“-Emissionen in der Landwirtschaft

Auf Stufe der Landwirtschaft entstehen neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) zwei weitere bedeutende klimawirksame Gase, Lachgas (NO₂) und Methan (CH₄). CO₂ entsteht bei der Verbrennung von Treibstoffen und ist somit relevant bei allen Prozessen mit Energienutzung.

Dahingehend emittiert N_2O insbesondere aus landwirtschaftlich bearbeitenden Böden aufgrund von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen. CH_4 entwickelt sich bei der anaeroben Vergärung im Pansen der Wiederkäuer sowie bei der Lagerung des Wirtschaftsdüngers.

Methan-Emission

CH_4 wird auf der Stufe der Landwirtschaft in relevanten Mengen unmittelbar bei der Verdauung der Wiederkäuer emittiert sowie mittelbar durch die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Die Höhe der CH_4 -Emission aus Verdauungsprozessen ist abhängig von der Bruttoenergieaufnahme und der Beschaffenheit des Futters (Cederberg 2003).

Die Milchviehhaltung erfolgt mit verschiedenen Managementsystemen. Prinzipiell lassen sich die intensive und extensive Wirtschaftsweise unterscheiden. Hinzu kommt die ökologische Wirtschaftsweise, die sich nicht zwangsläufig der extensiven Wirtschaftsweise zuordnen lässt. Die unterschiedlichen Fütterungssysteme mit verschiedenen Raufutter- und Kraftfutteranteilen führen zu unterschiedlichen Emissionen bei der Verdauung, wobei strukturierte Kohlenhydrate (Raufutter) die CH_4 -Emission erhöhen (Brade 2008). In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls wichtig, die Bezugsgröße zu definieren und zwischen der Emission pro Kuh und der Emission pro kg Milch zu differenzieren. Die Milchleistung der Kuh hängt von der Futterqualität ab, so relativiert sich eine geringere Emission pro Kuh durch einen geringeren Output an Milch. Auch die Anzahl der genutzten Laktationsperioden spielt bei der Reduzierung der spezifischen CH_4 -Emission eine Rolle. Bei steigender Nutzungsdauer sinkt die Remontierungsrate, das heißt weniger Nachzucht von Jungtieren ist für die Erhaltung der Herde notwendig (Brade 2008). Auch die unterschiedliche Behandlung des Wirtschaftsdüngers wirkt sich auf die Methan-Emission aus - auf der Weide entstehen weniger Emissionen als bei anaerober Lagerung (Flachowsky 2007).

Studien zur CH_4 -Emission bei der Milchviehhaltung

Die Ermittlung der Methan-Emission aus der Verdauung erfolgt häufig mittels **Modellen**. Hierfür spielen die Zusammensetzung und Verdaulichkeit des aufgenommenen Futters eine Rolle: der Gehalt an Trockenmasse, Kohlenhydrate, die verdaubare Menge an zugeführter Energie sowie die Verdaulichkeit des Futters. Hinzu kommen die Größe der Tiere und die Zusammensetzung der Milch. Unterscheiden lassen sich zwei Modelltypen. Die einen bewerten empirische Daten von Nährstoffaufnahme und CH_4 -Abgabe, die anderen beziehen sich auf den biochemischen Prozess der Verdauung (Sejian 2011).

Die Möglichkeiten zur **Messung** der CH_4 -Emission hängen von der Haltungsart ab. Bei der Stallhaltung erfolgt die Messung traditionell in Respirationskammern. In der Regel erfolgt die Messung der zirkulierenden Raumluft bei einem Tier pro Kammer. Bei Weidehaltung ist die

Messung der vom Tier abgegebenen Luft aufwendiger. *Sejian et. al 2011* stellen verschiedene Methoden aus aktuellen Studien vor. Bei einer invasiven Methode ist die Applikation von SF₆ in den Pansen des Tiers notwendig. Das Gas wird kontrolliert abgegeben und dient als Tracer. Die ausgeworfene und ausgeatmete Luft wird über 24 h aufgefangen und das Verhältnis von CH₄ zu SF₆ gemessen. Da die Freisetzungsrates von SF₆ bekannt ist, lässt sich daraus auf die emittierte Menge an CH₄ schließen. Nicht invasive Methoden modellieren die Verteilung des CH₄ in der Luft und messen die Abluffhöhe in Windrichtung (Sejian 2011). Die Ermittlung der CH₄-Emissionen der Böden nach Ausbringung von Gülle erfolgt mit Hilfe einer Messeinrichtung in Form einer Box, die über die Versuchsfläche gestülpt wird. Die Messung ermittelt die Änderung der Gaskonzentration über die Zeit (Phan 2012).

Eine **Auswahl an Studien** von 2001 bis 2012 ergeben eine Spannweite an CH₄-Emission der Milchkühhaltung von 73 bis 219 kg CH₄/(Tier*a) (siehe Tabelle 2.3.1). Die zitierten Studien beruhen zum Teil auf Modellen und Literaturdaten.

Tab. 2.3.1: Übersicht verschiedener Studien zur Methan-Emission in der Milchwirtschaft

Studie	CH ₄ Verdauung [kg/(Tier*a)]	CH ₄ Wirtschaftsdünger [kg/(Tier*a)]	CH ₄ Summe [kg/(Tier*a)] / Bemerkung
(Basset-Mens 2009) Neuseeland		3 - 9 kg/(Tier*a)	99 - 115
(Cederberg 2003) Schweden	130	20 kg/(Tier*a)	150 (+58 kg/a für Färsennachzucht)
(Flachowsky 2007) Review ohne Angabe der Regionen			200 - 600 g/(Tier*d) → 73 - 219 kg/(Tier*a)
(Haenel 2012), (UBA 2012; S. 408, 423) Deutschland	124	26	150
(Kassow 2009) Deutschland	92 - 93	4 - 18	97 - 110 je nach Haltungsart
(Monteny 2001) Niederlande	63 - 102	21	84 - 123 (zitierte Daten aus 1993 und 1998)
(Sun 2008) Kalifornien, USA			18,23 g/(Tier*h) → ca. 160 kg/(Tier*a)

Basset-Mens et al. 2009 berechnen Methan-Emissionen auf Grundlage eines theoretischen Betriebs, der den neuseeländischen statistischen Durchschnittsbetrieb widerspiegelt. Mit Hilfe der für Neuseeland angepassten Methode des IPCC ergeben sich 99 kg CH₄-Emission pro Kuh und Jahr, dabei werden Tiere für die Remontierung der Herde nicht berücksichtigt. Zusätzlich geben die Autoren Werte für empirisch untersuchte Betriebe mit unterschiedlichem

Intensivierungsgrad an, diese reichen von 105 bis 115 kg CH₄/(Tier*a). Laut dieser Studie verursachen überwiegend Verdauungsprozesse die CH₄-Emissionen. Auf das Wirtschaftsdünger-Management entfallen lediglich 3 - 4 kg/(Tier*a), bzw. bei intensiver Tierhaltung 9 kg/(Tier*a) (Basset-Mens 2009). Die Studie von *Cederberg et al. 2003* ermittelt die Methan-Emission mit einem Modell unter Berücksichtigung der Futteraufnahme, deren Qualität und andere Produktionsfaktoren bei einer Milchleistung von 7127 kg Milch/(Tier*a). Die Autoren rechnen der Verdauung 130 kg CH₄/(Tier*a) zu, aus dem Wirtschaftsdünger-Management kommen weitere 20 kg CH₄/(Tier*a) hinzu. In die Summe der CH₄-Emissionen nehmen die Autoren noch 58 kg CH₄/a für die Nachzucht von Färsen auf (*Cederberg 2003*). *Flachowsky et al. 2007* stellen Daten aus der Literatur zusammen und beschreiben Reduktionsmöglichkeiten der Methan-Emission. Für laktierende Milchkühe geben die Autoren 200 - 600 g CH₄/(Tier*d) an (siehe Tab. 2.3.1). Ergänzend stellen die Autoren Ergebnisse von drei Autoren der Jahre 1995 bis 2002 dar. Die Angaben beziehen sich auf Milchkühe der Rasse Holstein und liegen mit 370 bis 390 g/(Tier*d) im Mittel der zuvor genannten Spannweite (*Flachowsky 2007*). *Haenel et al. 2012* berechnen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft über zwei Jahrzehnte. Die Autoren ermitteln mit einer für Deutschland angepassten Methode des IPCC, Methan-Emissionen aus der Verdauung und aus dem Wirtschaftsdünger-Management in Höhe von 150 kg CH₄/(Tier*a) (*Haenel 2012*). Dies entspricht den Angaben des "Nationalen Inventarbericht Deutschland 2012" für das Jahr 2009, wobei 124 kg CH₄/(Tier*a) der Verdauung der Milchkühe im deutschen Durchschnitt zuzurechnen sind und 26 kg CH₄/(Tier*a) dem Wirtschaftsdünger-Management (*UBA 2012, S. 410, 423*). Ebenfalls berechnet sind die Werte von *Kassow et al. 2009*. Die Autoren analysieren hierfür Futtermittelproben sowie Proben der Exkremate und beziehen Produktionsparameter in ihre Berechnung ein. In der Summe ermitteln sie je nach Haltungsart Emissionen aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdünger in Höhe von 97-110 kg/(Tier*a) (*Kassow 2009*).

Monteny 2001 stellt Daten aus der Literatur zusammen, demnach beziffert er die CH₄-Emission aus der Verdauung der Milchkühe mit 63 bis 102 kg pro Tier und Jahr. Aus dem Gülle-Management geben die Autoren 21 kg CH₄/(Tier*a) an (*Monteny 2001*). *Sun 2008* führt CH₄ Messungen bei Holstein Kühen in Kalifornien durch. Dabei zeigt sich, dass frischer Kot kaum CH₄ emittiert. Relevanter ist die Emission aus der Verdauung. Im Durchschnitt ergeben die Messungen bei laktierenden Tieren Emissionen aus Verdauung und Kot in Höhe von 18,23 g CH₄/(Tier*h). Das Durchschnittsgewicht der Tiere liegt bei 656 kg und die Milchleistung bei 31 kg/(Tier*d). Für Trockenstehende mit einem durchschnittlichen Gewicht von 779 kg ermitteln die Autoren 12,35 g/(Tier*d) (*Sun 2008, S. 261*). Ein gutes Herdenmanagement mit dem Ziel einer gesunden langlebigen Herde, führt zu einer Verringerung der

Emissionen, da sie für den gewünschten Output mit einer niedrigen Remontierungsrate auskommt. Dies bedeutet einen geringeren Bedarf an Nachzucht und somit weniger Emissionen aus der Aufzucht von Jungtieren. Auch die Züchtungen von Tieren mit hoher Milchleistung und hohem Fleischgewinn kann durch die Nutzung von Fleisch als Nebenprodukt die spezifische Emission reduzieren (Kassow 2009).

N₂O-Emission

Lachgas ist ein Nebenprodukt von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen, insbesondere in landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Höhe der Emission ist abhängig von vielen Umwelteinflüssen, z. B. der Witterung und den Frost-Tau-Zyklen. Dadurch sind Modelle auf Basis von Einzelmesswerten sehr unsicher (Brümmer 2010). Eine ganzjährige Messreihe ist jedoch unüblich.

Studien zur N₂O-Emission bei der Milchviehhaltung

Studien, die sich mit der Emission von Lachgas aus Böden der Milchviehhaltung beschäftigen, greifen entweder auf Modelle zurück oder führen Messreihen durch. Die Messung von Emissionen aus Böden erfolgt durch das Aufsetzen einer Box auf einen Ausschnitt des zu untersuchenden Bodens. Ein Gaschromatograph erfasst dabei Konzentrationsänderungen des Gases (Rochette 2011). In Tabelle 2.3.2 sind die ermittelten Emissionen aus zwei Studien aufgeführt.

Tab. 2.3.2: Übersicht verschiedener Studien zur Lachgas-Emission in der Milchwirtschaft

Studie	N ₂ O Angabe der Studie	N ₂ O pro Fläche [kg N ₂ O/ha]	N ₂ O pro Output [kg N ₂ O/kg Milch]	Bemerkung
(Luo 2008) Neuseeland	7,71 und 8,00 kg N ₂ O-N/ha 0,57 und 0,45 kg N ₂ O-N/t Milch	12,1 und 12,6 ⁽¹⁾	0,9 * 10 ³ und 0,7 * 10 ³ ⁽¹⁾	Messung
(Olesen 2006) Europa	1,6 - 8,6 Mg CO ₂ - eq/(ha*a)	5,5 - 29,8 ⁽²⁾		Modell nach IPCC

1) Umrechnung gemäß: 44/28 N₂O/N₂O-N (De Klein, S. 11.10)

2) Umrechnung mit dem GWP für N₂O: 289 kg/kg CO₂-eq (Forster 2007, S. 212)

Einige Studien führen Messungen durch, um Einflussfaktoren auf die Lachgas-Emissionen aufzuzeigen. Diese sind im Folgenden aufgeführt. *Kool et al. 2006* untersuchen die N₂O-Emissionen aus Urin von Rindern bei Weidehaltung. Die Autoren sehen einen Zusammenhang zwischen der Höhe der N₂O-Emission, unterschiedlichen N-Konzentration im Futter und unterschiedlicher Zusammensetzung von N-haltigen Verbindungen im Urin (Kool 2006). *Luo*

2007 stellt zwei Managementformen gegenüber, einen Betrieb mit Weidehaltung und einen weiteren mit ergänzender Fütterung von Maissilage mit niedrigem Proteingehalt. Die Ermittlung der N₂O-Emissionen erfolgt durch Messungen und wird ergänzt durch Berechnungen mithilfe der IPCC Methode. Berücksichtigung finden dabei alle direkten und indirekten Emissionen inklusive der Düngemittelnutzung. Bei der Betriebsform mit Maissilage ermitteln die Autoren eine höhere N₂O-Emission pro Fläche als bei ausschließlicher Weidehaltung. Unter Berücksichtigung der Milchleistung kehrt sich dies um (Luo 2008). Olesen et al. 2006 zeigen auf, dass die THG-Emissionen von der Lachgas-Emission dominiert werden und daher in engem Zusammenhang zur N-Effizienz eines Betriebs stehen. Die Ermittlung der N-Effizienz erfolgt über den Input und Output des Betriebs sowie dessen Fruchtfolge. Die Studie basiert auf verschiedenen modellierten Betrieben, die Emissionen sind simuliert und mit Messdaten validiert. Die gesamten THG-Emissionen der konventionellen Betriebe bewegen sich in einer Spannweite von 1,2 bis 1,7 kg CO₂-eq/kg Milch. Die ermittelten N₂O-Emissionen sind nicht separat bezogen auf die produzierte Masse Milch, sondern nur auf die bewirtschaftete Fläche angegeben. Sie variieren zwischen den Betrieben, abhängig von der N-Effizienz, von 1,6 bis 8,6 Mg CO₂-eq/(ha*a) (Olesen 2006). Tan et al. 2009 messen die N₂O-Emission bei der Maisproduktion. Die Messungen erfolgen nach einer künstlichen Beregnung täglich eine Woche lang. Die Autoren finden als Einflussfaktoren, die die N₂O-Emission verstärken, Niederschlag, lehmiger Boden im Vergleich zu lehmigem Sand und nicht gepflügtem Boden. Die Bearbeitung der Böden beeinflusst die Porosität und die Dichte der Bodenaggregate. Die positiven Effekte der nicht gepflügten Böden zeigten sich insbesondere bei Rotation Mais-nach-Gras. Faktoren, die die Emission verringern, sind ausschließliche Düngung bei der Saat im Vergleich zur Düngung über die ganze Saison. Wobei die Reduktion bei der Rotationspflanzung Mais-nach-Gras höher ist als bei kontinuierlichem Maisanbau (Tan 2009). Webb et al. 2005 untersuchen anhand eines Modells unter anderem die N₂O-Emission bei verlängerter Weidehaltung in Großbritannien. Durch einen Anstieg an Nitrat (NO₃⁻) kann es durch die längere Weidehaltung zu einem Anstieg der N₂O-Emission kommen (Webb 2005).

2.3.3 Studien zur Milchviehhaltung

Neben der bereits behandelten Frage über die Methode der Allokation unterscheiden sich die Studien zu THG-Emissionen bei der Milchviehhaltung in der Literatur in einem Punkt grundlegend. Einige Studien untersuchen real wirtschaftende Betriebe, andere Studien bilden Betriebsmodelle, z. B. aus nationalen statistischen Durchschnittswerten. Zum Teil vergleichen die Autoren beide Arten von Betrieben in den Studien. Dies ist bei der Betrachtung der im Folgenden zusammengestellten Ergebnisse aktueller Literatur zum Thema Milchwirtschaft zu

berücksichtigen. Die gefundenen THG-Emissionen auf Stufe der Landwirtschaft variieren in den Studien zwischen 0,5 und 1,7 kg CO₂-eq/kg Milch (Tab. 2.3.3).

Tab. 2.3.3: Übersicht aktueller Studien zu THG-Emissionen in der landwirtschaftlichen Milchproduktion

Studie (Autor, Land)	Allokation (Anteil der Milch)	FU	CO ₂ -eq [kg/FU]
(Basset-Mens 2009) Neuseeland	Biologisch	1 kg FPCM ¹⁾	0,93 (Landesdurchschnitt) 0,65 (low input, n=1) 0,76 (N-Düngung, n=1) 0,75 (N-Düngung und Fütterung von Maissilage, n=1)
(Casey 2005b) Irland	Ökonomisch	1 kg ECM ²⁾	0,92 – 1,51 (n=10)
(Casey 2005a) Irland	Ohne Allokation, Masse, Ökonomisch	1 kg ECM	1,50 (ohne Allokation) 1,45 (Massenallokation) 1,30 (ökonomische Allokation)
(Cederberg 2003) Schweden	Systemerweiterung (63 %), biologisch (85 %), ökonomisch (92 %), ohne Allokation (100 %)	1 kg ECM	1,05 (ohne Allokation) (n=1)
(Cederberg 2004) Schweden	Ökonomisch	1 kg ECM	0,76 – 1,13 (konventionell, n=17) 0,73 – 1,11 (ökologisch, n=6)
(De Boer 2003) Niederlande	Ökonomisch	1 kg FPCM	0,89 (konventionell, n=1) 0,69 (umweltfreundlich, n=1) 0,92 (ökologisch, n=1)
(Flysjö 2011) Neuseeland, Schweden	Systemerweiterung, biologisch, ökonomisch, Proteingehalt, Masse, ohne Allokation	1 kg ECM	Je nach Allokation 0,63 – 1,00 (Neuseeland) 0,98 (Massenallokation) 0,73 – 1,16 (Schweden) 1,14 (Massenallokation)
(Haas 2001) Deutschland	-		0,9 – 1,7 (n=18) 1,0 (extensiv, n=6) 1,3 (intensiv, n=6) 1,3 (ökologisch, n=6)
(Heller 2008) USA	Biologisch	1 kg ECM	1,04 (ökologisch)
(Hirschfeld 2008) Deutschland	Ökonomisch (87 %)	1 kg Milch	0,85 (konventionell) 0,70 (konventionell optimiert) 0,78 (ökologisch) 0,63 (ökologisch optimiert)
(Hospido 2003) Spanien	Ökonomisch	1 l Milch	0,84 (n=2)
(Olesen 2006) Europa	-	1 kg Milch	1,2 - 1,7
(Rotz 2010) USA	Ökonomisch (92 %)	1 kg ECM	0,46 bis 0,69 (unterschiedliche Haltungssysteme und Regionen)
(Thomassen 2008a) Niederlande	Masse (96 %), ökonomisch (92 %); Systemerweiterung	1 kg FPCM	1,56 (Massenallokation) 1,61 (ökonomische Allokation) 0,90 (Systemerweiterung)

Fortsetzung Tab. 2.3.3

Studie (Autor, Land)	Allokation (Anteil der Milch)	FU	CO ₂ -eq [kg/kg FU]
(Thomassen 2008b) Niederlande	Ökonomisch	1 kg FPCM	1,4 (konventionell, n=10) 1,5 (ökologisch, n=11)
(Thomassen 2009) Niederlande	Ökonomisch	1 kg FPCM	1,36 (0,3 Standardabweichung; n=119)
(Weiske 2006) Europa	-	1 kg Milch	1,3 – 1,7 (konventionell) 1,2 – 2,0 (ökologisch)
(van der Werf 2009) Frankreich	Ökonomisch (82 % konventionell; 80 % ökologisch)	1 kg FPCM	1,04 (konventionell, n=41) 1,08 (ökologisch, n=6)

1) FPCM: Fat and protein corrected milk

2) ECM: Energy corrected milk

Basset-Mens et al. 2009 modellieren einen neuseeländischen Durchschnittsbetrieb und ermitteln dabei Emissionen in Höhe von 0,9 kg CO₂-eq/kg Milch. Ergänzend untersuchen sie drei real wirtschaftende Betriebe verschiedener Ausrichtung und ermitteln für einen „low input“ Betrieb eine Emission von 0,6 CO₂-eq kg/kg Milch. Der Begriff „low input“ meint eine Wirtschaftsweise ohne Einsatz von N-Düngung und ohne Zukauf von Ergänzungsfutter. Für einen Betrieb mit Einsatz von N-Dünger und einer leicht erhöhten Besatzdichte ermitteln die Autoren 0,8 kg CO₂-eq/kg Milch. Dies gilt auch für einen weiteren Betrieb mit Einsatz von N-Dünger, Maissilage als ergänzendes Futtermittel und einer erhöhten Besatzdichte. Bei allen drei Systemen reicht die Datenerhebung über drei Jahre (*Basset-Mens 2009*). Den Ergebnissen werden zwei Studien aus Schweden von *Cederberg et al. 2000* und den Niederlanden von *Thomassen et al. 2008* (siehe auch unten) gegenübergestellt. *Cederberg et al. 2000* ermitteln in ihrer Publikation aus dem Jahr 2000 für einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb in Schweden 0,95 kg CO₂-eq/kg FPCM. Für einen konventionellen Betrieb ergeben sich 1,10 kg CO₂-eq/kg FPCM. Den Ergebnissen liegt eine biologische Allokation zugrunde (*Cederberg 2000*). Die Verteilung der THG-Emissionen auf die beteiligten Gase CO₂, CH₄ und N₂O ist in Abbildung 2.3.1 dargestellt. Die absoluten Werte sind in der Publikation nicht angegeben, sondern aus *Basset-Mens et al. 2009* zitiert (*Basset-Mens 2009*).

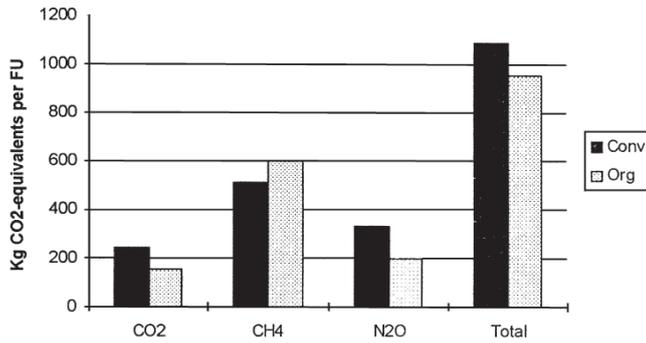


Abb. 2.3.1: Aufkommen der verschiedenen THG aus der Landwirtschaft bei Cederberg et al. 2000; Angabe in [CO₂-eq/kg ECM] (Cederberg 2000)

Nach einer weiteren Studie von *Cederberg et al. 2003* fallen in Abhängigkeit vom Allokationsmodell auf der Stufe der Landwirtschaft ca. 1 kg CO₂-eq/kg Milch an (ohne Allokation). Die Emissionsfaktoren stammen nicht aus Messungen, sondern aus der Literatur. Die Auswertung erfolgt mithilfe von entsprechenden Kenndaten eines untersuchten Betriebs (Cederberg 2003). Insgesamt 23 Betriebe kommen in einer Publikation aus dem Jahr 2004 zur Auswertung. *Cederberg et al. 2004* untersuchen 17 konventionell und sechs ökologisch wirtschaftende Betriebe. Unter Anwendung einer ökonomischen Allokation ermitteln sie Emissionen zwischen 0,73 und 1,11 kg CO₂-eq/kg ECM. Zwischen den Wirtschaftsweisen ist dabei kein deutlicher Unterschied auszumachen (siehe Tabelle 2.3.3) (Cederberg 2004).

De Boer 2003 stellt in ihrem Review drei Studien gegenüber, die von *Haas et al. 2001* (siehe auch unten), *Cederberg et al. 2000* (siehe oben) und eine niederländische Pilotstudie im Rahmen einer Masterarbeit (De Boer 2003). Laut dieses Reviews fallen die Ergebnisse von *Haas et al.* am höchsten aus, allerdings ist nicht klar, ob eine Allokation zugrunde liegt. Die niederländische Pilotstudie untersucht jeweils einen Betrieb verschiedener Wirtschaftsarten und führt eine ökonomische Allokation durch. Die ermittelten Werte reichen von 0,888 kg CO₂-eq/kg FPCM für konventionelle Bewirtschaftung, 0,689 kg CO₂-eq/kg FPCM bei einer sogenannten umweltfreundlichen Bewirtschaftung bis 0,922 kg CO₂-eq/kg FPCM für eine ökologische Bewirtschaftung (De Boer 2003; Cederberg 2000; Haas 2001).

Haas et al. 2001 vergleichen insgesamt 18 intensiv, extensiv und ökologisch wirtschaftende Betriebe, jeweils sechs Betriebe einer Wirtschaftsweise. Die Allokationsmethode ist nicht angegeben. Die THG-Emissionen liegen zwischen 0,9 und 1,7 kg/kg Milch. Der Mittelwert von intensiv und ökologisch wirtschaftenden Betrieben liegt jeweils bei 1,3 kg/kg Milch, der von extensiv wirtschaftenden Betrieben bei 1,0 kg/kg Milch (Haas 2001).

Casey *et al.* 2005 ermitteln die Treibhausgasemissionen für einen modellierten irischen Durchschnittsbetrieb in Höhe von 1,45 kg CO₂-eq/kg ECM, bei Anwendung einer Massenallokation (Casey 2005a). Ergänzend untersuchen die Autoren in einer weiteren Studie zehn Betriebe unter Anwendung einer ökonomischen Allokation. Die Ergebnisse erstrecken sich von 0,92 bis 1,51 CO₂-eq/kg ECM. Zur Abschätzung der spezifischen Treibhausgasemission der Milchproduktion in Abhängigkeit von der Milchleistung der Kühe entwickeln die Autoren eine Gleichung gemäß Abbildung 2.3.2.

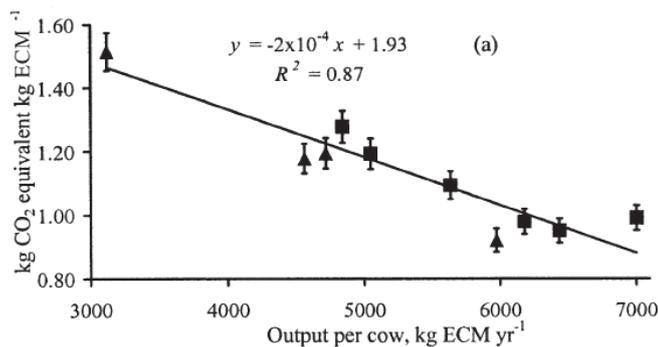


Abb. 2.3.2: Spezifische THG-Emissionen über die Milchleistung pro Tier (Casey 2005b)

Dabei stellt sich ein linear degressiver Zusammenhang zwischen der Jahresmilchleistung der Kühe und der spezifischen Treibhausgasemission der Milchproduktion dar (Casey 2005b). Gemäß der beschriebenen Theorie der „Ecology of Scale“ (Kapitel 2.2) lässt sich der Zusammenhang zwischen Milchleistung und spezifischen THG-Emissionen auch durch eine nicht lineare Interpolation beschreiben. Dabei ergäbe sich vermutlich eine noch höhere Güte des Zusammenhangs (R^2). Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass durch die Verlagerung der Betriebe in Regionen mit längerer Wachstumsperiode eine Reduktion der Emissionen in Irland möglich sei. Sie empfehlen folgende Maßnahmen:

- Reduktion der importierten Futtermittelkonzentrate durch längeren Verzehr von Gras
- Reduktion des Düngemiteleinsatzes bei gleichem Grasertrag
- Verkürzung der Lagerzeit für Wirtschaftsdünger durch längere Weidehaltung
- Reduktion der Tierzahl durch eine höhere Milchleistung der einzelnen Kühe

Auf der anderen Seite stellen die Autoren fest, dass eine höhere Milchleistung bei gleicher Besatzdichte einen höheren Einsatz von Düngemitteln für die Grünlandwirtschaft und einen höheren Einsatz von Futterkonzentraten erfordert. Grund hierfür ist die höhere Bruttoenergie-

aufnahme der Tiere bei höherer Milchleistung. Außerdem muss neben der Stickstoff-Emission aus Düngemitteln die Emission aus „Urinspots“ und resultierendem Sickerwasser Berücksichtigung finden. Besonders relevant sei dabei die Periode vom späten Herbst bis zum frühen Frühjahr (Casey 2005b). *Flysjö et al. 2011* modellieren aus Durchschnittswerten von Neuseeland und Schweden landwirtschaftliche Betriebe und ermittelt deren THG-Emissionen unter Berücksichtigung verschiedener Allokationsmethoden. Die berechneten Emissionen liegen in Neuseeland tendenziell niedriger als in Schweden und variieren je nach Allokation und Land von 0,63 bis 1,16 (siehe Tabelle 2.3.3) (Flysjö 2011).

Heller et al. 2008 führen eine Untersuchung der Bereitstellung von ökologisch erzeugter Milch in den USA anhand eines Molkereiunternehmens durch. Die landwirtschaftlichen Daten sind aus einzelnen empirischen Erhebungen modelliert. Die Autoren ermitteln 1,0 kg CO₂-eq/kg ECM (Heller 2008). Auch *Hirschfeld et al. 2008* ermitteln die THG-Emissionen anhand von Modellbetrieben aus Durchschnittswerten. Die Autoren stellen vier verschiedene Wirtschaftssysteme vor, konventionelle, optimierte konventionelle Betriebe, ökologische und ökologisch optimierte Betriebe. Die THG-Emissionen reichen von 0,63 kg/kg Milch bis 0,85 kg/kg Milch, wobei die ökologischen Betriebe besser abschneiden (Hirschfeld 2008). *Hospido et al. 2003* führen ihre Studie anhand zweier Betriebe in Spanien durch. Mit ökonomischer Allokation ermitteln sie 0,84 kg CO₂-eq/l Milch (Hospido 2003). *Olesen et al. 2006* ermitteln die THG-Emissionen für Modellbetriebe in verschiedenen europäischen Regionen. Die Allokationsmethode ist nicht bekannt, die Ergebnisse reichen von 1,2 bis 1,7 kg CO₂-eq/kg Milch (Olesen 2006). *Rotz et al. 2010* untersuchen verschiedene Haltungssysteme von Milchvieh in den USA. Unter Anwendung einer ökonomischen Allokation ermitteln sie 0,5 bis 0,7 kg CO₂-eq/kg FPCM (Rotz 2010). *Thomassen et al. 2008* finden bei ökonomischer Allokation für elf ökologisch bewirtschaftete Betriebe in den Niederlanden 1,48 kg CO₂-eq/kg FPCM für weitere zehn konventionelle Betriebe 1,41 kg CO₂-eq/kg FPCM. Diese absoluten Werte sind in der Publikation nicht angegeben sondern aus *Basset-Mens 2009* zitiert (Basset-Mens 2009; Thomassen 2008b). In einer weiteren Studie aus dem Jahr 2008 untersuchen *Thomassen et al.* verschiedene Allokationsmethoden anhand von Modellbetriebe. Die Emissionen reichen je nach Allokation von 0,9 bis 1,6 CO₂-eq/kg FPCM (Thomassen 2008a). Ebenfalls anhand von Modellbetrieben ermitteln *Weiske et al. 2006* die Emissionen in verschiedenen europäischen Regionen und für verschiedene Wirtschaftssysteme. Der konventionellen Landwirtschaft rechnen die Autoren 1,3 bis 1,7 kg CO₂-eq/kg Milch zu, der ökologischen 1,2 bis 2,0 kg CO₂-eq/kg Milch (Weiske 2006). *Van der Werf et al. 2009* untersuchen insgesamt 47 landwirtschaftliche Betriebe in Frankreich. Unter Anwendung einer ökonomischen Allokation ermitteln sie für 41 konventionell wirtschaftende Betriebe durchschnittliche THG-Emissionen in

Höhe von 1,0 kg CO_{2-eq}/kg FPCM und für sechs ökologische 1,1 kg CO_{2-eq}/kg FPCM (van der Werf 2009).

2.3.4 Studien zur Molkereiwirtschaft

Deutlich weniger Studien gibt es für die Stufe der Molkereien. Im Folgenden sowie in Tabelle 2.3.4 sind eine Auswahl an Studien und ihre Ergebnisse ausgedrückt in Primärenergie (PE) oder THG-Emissionen aufgeführt. Einige Studien geben keine absoluten Werte an (Berlin 2005; Sonesson 2003).

Gerber et al. 2010 führen keine eigene Datenerhebung durch, sondern greifen auf Studien und makrostatistische Daten zurück. Die Autoren ermitteln so durchschnittliche europäische Werte für die Molkereiprozesse in Höhe von 86 g CO_{2-eq}/kg Milch sowie für den Transport zur Molkerei in Höhe von 19 g CO_{2-eq}/kg Milch. Die Prozesse rund um die Verpackung, inklusive deren Produktion, verursachen 38 g CO_{2-eq}/kg Milch. 14 g CO_{2-eq}/kg Milch beansprucht der Transport zum Handel (Gerber 2010). In der Summe sind dies 155 g CO_{2-eq}/kg Milch für die durchschnittliche Bereitstellung von Molkereiprodukten in Europa. Speziell für Frischmilch beziffern die Autoren Emissionen in gleicher Höhe. *Hospido et al. 2003* finden auf der Stufe der Molkerei für die UHT-Milch-Herstellung im Verbundkarton 210 g CO_{2-eq}/l Milch. Hierin enthalten sind neben den Prozessen innerhalb der Molkerei (Erhitzung, Abfüllung, Reinigung) ebenfalls die Herstellung des Verpackungsmaterials sowie der Transport der Rohmilch zur Molkerei (Hospido 2003). *Berlin 2005* gibt keine absoluten Werte an, sondern betrachtet Verbesserungsmöglichkeiten in der Prozesskette insbesondere von kultivierten Milchprodukten (Berlin 2005). *Nutter et al. 2010* führen für das Jahr 2007 eine empirische Erhebung zu THG-Emissionen von verpackter Trinkmilch durch. Unter Einbeziehung von Literaturdaten ermitteln die Autoren auf den Stufen der Molkerei und der Distribution zum Handel Emissionen in Höhe von 203 (±17) g CO_{2-eq}/kg Milch (Nutter 2010). *Xu et al. 2009* führen eine Energiebilanz durch. Sie zitieren hierfür eine niederländische Studie aus dem Jahr 1998 mit einem spezifischen Primärenergieumsatz von 1,06 MJ/kg Milch und vergleichen diesen mit kanadischen Ergebnissen aus dem Jahr 2000 in Höhe von 0,68 MJ/kg Milch. Für den Vergleich kommen einheitliche PE-Faktoren zum Einsatz (Xu 2009). *Woitowitz 2007* zitiert eine nicht veröffentlichte Studie aus dem Jahr 2000, demnach liegt der Primärenergieumsatz aus Molkereiprozessen bei 1,35 MJ/kg Milch. Die zitierte Studie befasst sich insbesondere mit dem Primärenergieumsatz von Transportleistungen, mit folgenden Ergebnissen:

- Transport der Rohmilch: 0,12 MJ/kg Milch
- Transport zum Lager des LEH: 0,09 MJ/kg Milch
- Transport zu den Filialen: 0,32 MJ/kg Milch (Woitowitz 2007)

Tab. 2.3.4: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen der Milchverarbeitung in Molkereien in der Literatur

	Primärenergieumsatz [MJ/kg Milch]	Emissionen [kg CO₂-eq/kg Milch]
(Gerber 2010) Europa		0,14 0,02 (Transport Rohmilch)
(Granarolo S.p.A. 2012) Italien		0,14 ¹⁾
(Hospido 2003) Spanien		0,22 ¹⁾
(Xu 2009) Kanada	1,06 (NL 1989) 0,68 (CA 2000)	
(Woitowitz 2007) Deutschland	1,35 (D 2000)	

1) Zur Darstellung aller Ergebnisse in der gleichen Einheit ist die Dichte der Milch mit 1,029 kg/l unterstellt.

2.3.5 Studien zur gesamten Lebensmittelkette

Verschiedene Studien untersuchen die Klimawirkung der Milchbereitstellung. Ein Vergleich der Ergebnisse ist allerdings nicht eins zu eins möglich, da unterschiedliche Systemgrenzen zugrunde liegen. Tabelle 2.3.5 gibt eine Übersicht der Ergebnisse. *Eide et al. 2002* untersuchen drei norwegische Molkereien unterschiedlicher Größe, unter Berücksichtigung der Herstellung von Reinigungsmitteln und Verpackungsmaterialien. Die Allokation der Nebenprodukte erfolgt mit Hilfe von für Norwegen veröffentlichte, geschätzte Emissionsfaktoren. Die Einbeziehung der Primärproduktion erfolgt größtenteils durch landesspezifische makrostatistische Durchschnittswerte. Die Autoren geben die Emissionen aus den einzelnen Prozessen von der Landwirtschaft bis zum Endverbraucher in ihrer Publikation nicht explizit an. Der erfasste Primärenergieumsatz des gesamten Lebenszyklus der Trinkmilch variiert zwischen 3,6 und 6,3 MJ / l Milch (Eide 2002). *Granarolo S.p.A.*, eine italienische Molkerei, führt für ihre Trinkmilch eine „Environmental Product Declaration“ (EPD) durch. Granarolo ist damit das einzige Molkerei-Unternehmen, das auf Grundlage von „Product Category Rules“ (PCR) gemäß ISO 14025 eine Lebenszyklusanalyse durchführt. Der aktuelle Bericht von Granarolo über die Umweltwirkung von einem Liter Trinkmilch bezieht sich auf das Jahr 2011. Für den vorgelagerten Prozess der Landwirtschaft gibt die EPD 1,087 kg CO₂-eq/l Milch an. Davon sind 0,622 kg CO₂-eq den CH₄-Emissionen zuzurechnen. Auf der Stufe der Molkerei entstehen 0,133 kg CO₂-eq/l Milch, für nachgelagerte Transporte 0,015 kg CO₂-eq/l Milch. Inklusiv der Herstellung der PET-Flasche sowie der Reinigungsmittel emittieren entlang der Bereitstellungskette der Milch 1,380 kg CO₂-eq/l Milch (Granarolo S. p. A. 2012). *Grönroos et*

al. 2006 führen eine Energiebilanz in Finnland durch. Die Autoren finden für die konventionelle Landwirtschaft einen Primärenergieumsatz von 4,3 MJ/l Milch, für die ökologische Landwirtschaft 2,4 MJ/l Milch. Der durchschnittlichen finnischen Milch mit 1,5 % Fett fallen für die der Landwirtschaft nachgelagerten Prozesse 0,59 MJ/l Milch in Form von Elektroenergie zu. Treibstoffumsätze kommen in Höhe von 0,4 MJ/l Milch hinzu. Somit veranschlagen die Autoren Primärenergieumsätze von 3,39 – 5,29 MJ pro Packung Milch (Grönroos 2006). *Heller 2008* betrachtet den gesamten Lebenszyklus der Milch von der Landwirtschaft bis zur Entsorgung ausgehend von einer Molkerei in den USA (84.000.000 l Milch/a). Von der Landwirtschaft bis zum Handel finden die Autoren Emissionen in Höhe von 1,7 kg CO_{2-eq}/l Milch (Heller 2008). Unter Berücksichtigung des Endverbrauchers inklusive der Entsorgung ergeben sich 2,3 kg CO_{2-eq}/l Milch (Heller 2011). *Hospido et al. 2003* untersuchen die Milchbereitstellung in Spanien. Die Autoren finden auf der Stufe der Molkerei Emissionen aus der Energiebereitstellung in Höhe von 0,21 kg CO₂/l Milch. Zusammen mit der Landwirtschaft ergeben sich Emissionen in Höhe von 1,05 kg CO₂/l Milch. Nicht enthalten sind Emissionen von Methan und Lachgas (Hospido 2003). Das Ökoinstitut erstellt ein Szenario zur Analyse der Bereitstellung gekühlter Milch aus konventioneller Erzeugung im Einzelhandel. Für den gesamten Lebenszyklus inklusive Transporte und Materialvorleistungen. Ohne Entsorgung ergibt sich ein Primärenergieumsatz in Höhe von 4,2 MJ/kg Milch bzw. Emissionen in Höhe von 0,93 kg CO_{2-eq}/kg Milch (Öko-Institut e.V. 2010). *Weidema et al. 2008* stellen Zukunftsszenarien zur Verbesserung der Umweltwirkung von Milch- und Fleischprodukten auf. Für den Lebenszyklus der Rohmilch, von der Landwirtschaft bis zur Zubereitung beim Verbraucher und Entsorgung von Abfällen, veranschlagen die Autoren 2,4 kg CO_{2-eq}. (Weidema 2008). *Mwangome 2009* untersucht kenianische Molkereien verschiedener Größe mit den vor- und nachgelagerten Prozessen von der Landwirtschaft bis zum Handel. Sie findet Primärenergieumsätze von 14,4 MJ/kg bei kleinen Molkereien (<5.000 t Milch/a) und 1,8 MJ/kg bei Molkereien mit größerem Produktionsvolumen (über 10.000 t Milch/a) (Mwangome 2009). Hier ist zu berücksichtigen, dass die Infrastruktur in Kenia sich völlig von der in Europa unterscheidet, daher bietet sich diese Studie nicht für den Vergleich mit der vorliegenden Untersuchung an.

Tab. 2.3.5: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen entlang des Lebenszyklus der Milch in der Literatur. Die Autoren verwenden unterschiedliche Systemgrenzen.

	Primärenergieumsätze [MJ/kg Milch]	Treibhausgasemission kg CO₂-eq/kg Milch	Systemgrenzen
(Eide 2002) Norwegen	3,7 – 6,5 ¹⁾		Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Handel - Endverbraucher - Entsorgung
(Grönroos 2006) Finnland	3,49 – 5,44 ¹⁾		Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Transport zum Händler
(Heller 2008) USA		1,7 ¹⁾	Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Transport zum Handel
(Hospido 2003) Spanien		1,08 ¹⁾	Prozesse der Landwirtschaft (ohne CH ₄ , N ₂ O) - Molkerei
(Öko-Institut e. V. 2010) Deutschland	4,2	0,93	Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Handel
(Weidema 2008) Europa		2,4	Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Handel - Endverbraucher - Entsorgung
(Mwangome 2009) Kenia	1,8 - 14,4		Prozesse der Landwirtschaft - Molkerei - Handel

1) Zur Darstellung aller Ergebnisse in der gleichen Einheit ist die Dichte der Milch mit 1,029 kg/l unterstellt.

2.4 Milchwirtschaft in Deutschland

2.4.1 Milcherzeugung

Für das Jahr der Datenerhebung (2009) beträgt der Milchkuhbestand in Deutschland 4.185.000 Rinder (BMELV 2013). 61 % der Rinder für die Milchproduktion, inklusive der Zweinutzungsrassen (milch- und fleischbetont), sind Deutsche Holstein Schwarzbunt. Sie zeichnen sich durch eine hohe Milchleistung aus. Weitere 26 % der Kühe gehören zur Rasse Fleckvieh, sie sind besonders in Süddeutschland angesiedelt. Deutsche Holstein Rotbunt und Braunvieh machen jeweils 6 % der Rinder für die Milchproduktion aus, alle anderen Rassen spielen eine untergeordnete Rolle (Weiß 2011). Die durchschnittliche Milchleistung der Kühe in Deutschland liegt bei 6.977 kg/a. Somit produzieren Deutschlands Milchkühe 29.199.000 t Rohmilch im Jahr 2009, mit einem durchschnittlichen Fettgehalt von 4,15 % und einem Proteingehalt von durchschnittlich 3,42 %. Der aktuellste veröffentlichte Milchkuhbestand (aus 2011) liegt bei 4.190.000 Rindern, mit einer durchschnittlichen Milchleistung von 7.240 kg/a. Der Fett- und Proteingehalt ist dabei gegenüber 2009 leicht gesunken (BMELV 2013). Die

Produktion der Milch erfolgt hauptsächlich im Süden und Norden Deutschlands. In Bayern erzeugen viele Landwirte mit kleinem Kuhbestand (durchschnittlich 30 Kühe/Betrieb) und relativ niedriger Milchleistung, rund 6400 kg/(Kuh*a), die größte Einzelmenge an Milch in Deutschland. Gefolgt von Niedersachsen, dort liegt eine andere Struktur vor, die Milchleistung ist mit rund 7600 kg/(Kuh*a) höher und die Betriebe sind größer, ca. 60 Kühe pro Betrieb. Die größten Betriebe mit durchschnittlich rund 200 Kühe pro Betrieb sind in Mecklenburg-Vorpommer und Brandenburg angesiedelt, allerdings ist die Anzahl der Halter hier deutlich geringer (MIV 2012; Lassen 2008; Statistisches Bundesamt 2013a). Tendenziell vergrößern sich die deutschen Betriebe. Die gesamte Anzahl der Milchviehbetriebe (82.865 Betriebe in 2012) nimmt über die letzten fünf Jahre bei nahezu konstanter Anzahl an Milchkühen ab (Statistisches Bundesamt 2013a). Zusätzlich zur heimischen Milchproduktion importiert Deutschland rund 1,5 Mio. t Vollmilch in 2009 (BMELV 2013). Importländer für Milch und Rahm sind vor allem die Tschechische Republik, gefolgt von den Niederlanden und Österreich sowie mit etwas Abstand Polen. Der Import wird vom Export übertroffen, er beträgt 2,7 Mio. t Milch und Rahm, die insbesondere nach Italien fließen (Statistisches Bundesamt 2013b).

2.4.2 Milchverarbeitung und Konsum

In Deutschland erfolgt im Jahr 2009 die Verarbeitung von rund 29,8 Mio. t Rohmilch in 191 Molkereibetrieben (BMELV 2013). Konsummilch stellen 58 % der Betriebe in einem Umfang von durchschnittlich 47.638 t pro Unternehmen her. Die Abfüllung in Verkaufsverpackungen für den Endverbraucher (< 2 l) umfasst 5,2 Mio. t Konsummilch. 43 % der hergestellten Konsummilch ist Vollmilch mit mindestens 3,5 % Fettgehalt, 53 % sind teilentrahmte Milch mit 1,5 - 1,8 % Fettgehalt. Die Milchbehandlung verteilt sich zu 72 % auf ultra-hocherhitzte Milch und 28 % pasteurisierte Milch inklusive ESL-Milch¹. Die Deutschen trinken in 2009 pro Kopf 24 kg Vollmilch pro Jahr und 27 kg teilentrahmte Milch pro Jahr (BMELV 2013). Der Export an Konsummilch beträgt in 2009 1,1 Mio. t (Statistisches Bundesamt 2013b), der Import von Konsummilch ist mit 85.000 t gering (BMELV 2013). Insgesamt exportiert Deutschland in 2011 46 % seiner Milchprodukte, dies entsprechen rund 14 Mio. t Milchäquivalente. Hauptexportprodukt ist Käse für Italien, Niederlande und Frankreich und somit insbesondere für den innereuropäischen Markt. Darüber hinaus sind auch Russland, USA und Japan Importeure deutscher Molkereiprodukte. Umgekehrt nimmt Deutschland Molkereiprodukte aus den Niederlanden, Frankreich, Österreich und der Schweiz ab. Insgesamt überwiegt die Ausfuhr der Einfuhr (MIV 2013).

¹ ESL bedeutet "extended shelf life" und umfasst Frischmilch, die durch Hoherhitzung, teilweise in Kombination mit einer Mikrofiltration, länger haltbar ist.

2.5 Hypothesen und Ziele

Die Literaturrecherche zeigt, dass für Deutschland kaum Untersuchungen der Molkereiwirtschaft hinsichtlich ihrer Klimawirkung vorliegen. Lediglich *Woitowitz 2007* zitiert Eckdaten der Molkereiwirtschaft aus einer Studie Ende der 1990er Jahre (Woitowitz 2007). Für die Stufe der Landwirtschaft gibt es einige Publikationen, die die Milchproduktion in konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweise bzw. in intensiven und extensiven Haltungssystemen beleuchten. Die Auswertungen zeigen eine große Spannweite an THG-Emissionen für alle Bewirtschaftungsformen.

Ziel der vorliegenden Studie ist, Primärdaten der Milchverarbeitung inklusive der vor- und nachgelagerten Prozesse von der Landwirtschaft bis zum Handel zu erfassen (siehe Abbildung 2.3.3). Damit soll die Lücke an Daten der Molkereiwirtschaft für das Produkt Trinkmilch bearbeitet werden. Die Auswertung der Daten über die Prozesskette der Milchbereitstellung soll Einflussfaktoren auf die Klimawirkung herausarbeiten und die These zur „Ecology of Scale“ (Schlich 2005) überprüfen. Die These unterstellt Verarbeitungseinheiten ab einer zu definierenden Mindestgröße geringere Umweltwirkungen als kleineren Einheiten, dabei spielen Effizienzvorteile eine Rolle (vgl. Kapitel 2.2). Des Weiteren sollen „Hotspots“ im Primärenergieumsatz gefunden und Optimierungspotenziale in der Prozesskette aufgezeigt werden.

Hypothese 1: Die These der „Ecology of Scale“ trifft für die Prozesskette der Milchbereitstellung zu.

Hypothese 1.1 Betriebe mit einem hohen jährlichen Output an verkehrsfähiger Milch verursachen geringere spezifische THG-Emissionen als vergleichbare Betriebe mit einem niedrigen Output.

Hypothese 1.2: Anhand der ermittelten spezifischen THG-Emissionen lassen sich optimale Betriebsgrößen für die verschiedenen Stufen der Milchbereitstellung ableiten.

Hypothese 1.3: Die Emissionen der gesamten Prozesskette von der Primärproduktion bis zum Point of Sale sind ausgehend von Betrieben mit hohem Output geringer als bei vergleichbaren Betrieben mit niedrigem Output.

Hypothese 2: Die Emissionen bei der Milchbereitstellung weisen eine große Schwankungsbreite auf. Die Angabe von „Carbon Labels“ mit konkreten Zahlenwerten vermittelt hingegen eine Genauigkeit, die nicht zutrifft.

3 Material und Methode

3.1 Analysenmethode

„Ökobilanz-Studien bestehen aus vier Phasen (...): Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens; Sachbilanz; Wirkungsabschätzung und Auswertung.“ (DIN EN ISO 14040 2006, S. Kap. 4.2) Bei Sachbilanzstudien fehlt die Phase der Wirkungsabschätzung (DIN EN ISO 14040 2006). Als grundlegende Methode für die hier vorliegende Untersuchung dienen die Phasen 1 bis 3 der Ökobilanz nach DIN EN 14044 (DIN EN ISO 14044 2006).

Phase 1 einer Ökobilanz befasst sich mit der *Zielsetzung der Untersuchung*. Dafür sind die Prozesse in Module einzuteilen. Darüber hinaus gilt es, zielorientiert die funktionelle Einheit (FU) und die Allokationsregeln festzulegen. Phase 2 umfasst die *Sachbilanz*, die eigentliche Datenerhebung. In Phase 3 sind die festgelegten *Umweltauswirkungen* zu beschreiben, wobei die vorliegende Studie nur die Wirkungskategorie „Klimaerwärmung“ mit dem Wirkungsindeikator „global warming potential“ (GWP) über 100 Jahre betrachtet. In Phase 4, der *Auswertung*, geht es darum Schlüsselfaktoren zu identifizieren und somit Ursachen zu suchen, Empfehlungen auszuarbeiten und die Sicherheit der Daten zu kontrollieren. Eine externe kritische Prüfung im Rahmen eines Reviews findet bei der vorliegenden Arbeit nicht statt (DIN EN ISO 14044 2006).

3.2 Darstellung der untersuchten Betriebe

Zur Erfassung vollständiger Prozessketten der Milchbereitstellung von der Landwirtschaft bis zum Handel erfolgt die Akquise der Studienteilnehmer über mehrere Molkereien. Von diesen ausgehend wird die Prozesskette nach oben vervollständigt bis zur Landwirtschaft inklusive zugekaufter Futtermittel und Dienstleistungen. Nach unten wird die Prozesskette ergänzt durch Transportwege von der Molkerei zu verschiedenen Zentrallägern und in einem Fall durch die Distributionswege vom Zentrallager zu den Filialen. Abbildung 3.2.1 stellt dies grafisch dar.

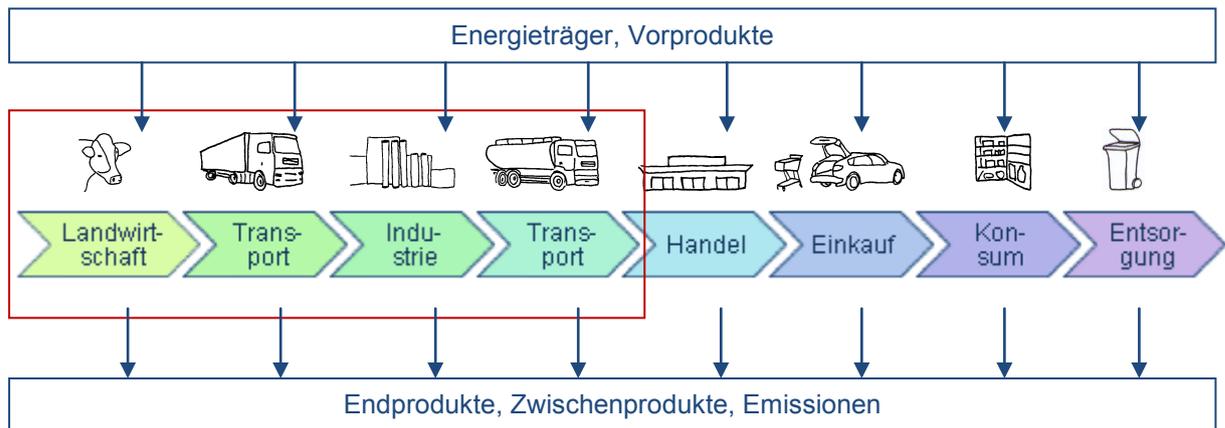


Abb. 3.2.1: Lebenszyklus der Milch. Rot markiert: Datenerfassung entlang der Prozesskette von der Landwirtschaft bis zur Milchbereitstellung beim Handel.

Zur Erfassung der Daten erfolgt die Einteilung der Prozesskette in Module. Jedes Modul entspricht einer eigenen Betriebseinheit, die eine separate Datenerhebung verlangt. Das erste Modul umfasst die Landwirtschaft, das zweite die Transporte zu den Molkereien, das dritte die Molkereien selbst, das vierte die Logistik zu den Zentrallägern, das fünfte die Logistik zu den Filialen. An diesem Prozesspunkt schließt die Datenerfassung und Analyse ab. Die Prozesse in den Filialen, der Transport des Endverbrauchers, die Lagerung, Be- und Verarbeitung im Haushalt inklusive der Entsorgung bleiben außen vor. Dies gilt auch für die Verwertung der Milchverpackung durch Recycling und die Aufbereitung von verworfener Milch in Kläranlagen. Die Datenerfassung erfolgt ausgehend von den Molkereien, daher ergibt sich die Codierung der anknüpfenden Prozesse jeweils unter Einbeziehung des Codes der zugehörigen Molkerei.

Die Auswahl der Landwirte erfolgt mit dem Ziel, unterschiedliche Betriebsgrößen zu erfassen. Die gewünschte Datenauswertung der Betriebe setzt zudem voraus, dass die Betriebe neben der Milchviehwirtschaft keine weiteren Wirtschaftszweige verfolgen, es sei denn, die Stoff- und Energieströme sind getrennt erfassbar. Dies ist bei vier Zulieferbetrieben der Molkerei M3 der Fall. Diese betreiben zusätzlich Rindermast, meist in Form von Mutterkuhhaltung. Diese Einschränkung auf die Milchwirtschaft ist bezüglich der Pflanzenproduktion nicht durchsetzbar, da viele Betriebe einen Teil ihres Ernteguts verkaufen, ohne die Aufwendungen für Marktfrüchte und Futtermittel getrennt zu erfassen. Zur Abschätzung der Energieumsätze im Pflanzenbau helfen dann „Daten über den Energieumsatz bei der Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen“ des KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.). Siehe hierzu Kapitel 3.6.2.

Von allen angesprochenen Molkereien verschiedener Größe und Standorte in Deutschland erklären sich vier Molkereien zur Zusammenarbeit bereit. Jeweils eine in Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg sowie zwei in Hessen. Ausschließlich Molkerei M1 und M2 können Daten der Logistik zu den Zentrallägern bereitstellen. Die Datenerfassung bezüglich der Distribution zu den Filialen erfolgt für den nachgelagerten Prozess von Molkerei M2 über ein beliebiges Handelsunternehmen. Die Untersuchung umfasst Daten von sieben zuliefernden landwirtschaftlichen Betrieben in Sachsen-Anhalt und vier in Baden-Württemberg. Fünf Betriebe liegen in Hessen, wobei vier davon nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus wirtschaften. Diese vier hessischen Betriebe liefern ihre Milch nicht zu einer der untersuchten Molkereien. Ein Betrieb stellt als Selbstvermarkter Molkereiprodukte her und vertreibt diese über einen eigenen Lieferservice. Eine Übersicht der untersuchten Prozessketten mit den einzelnen Produktströmen zeigt Abb. 3.2.2.

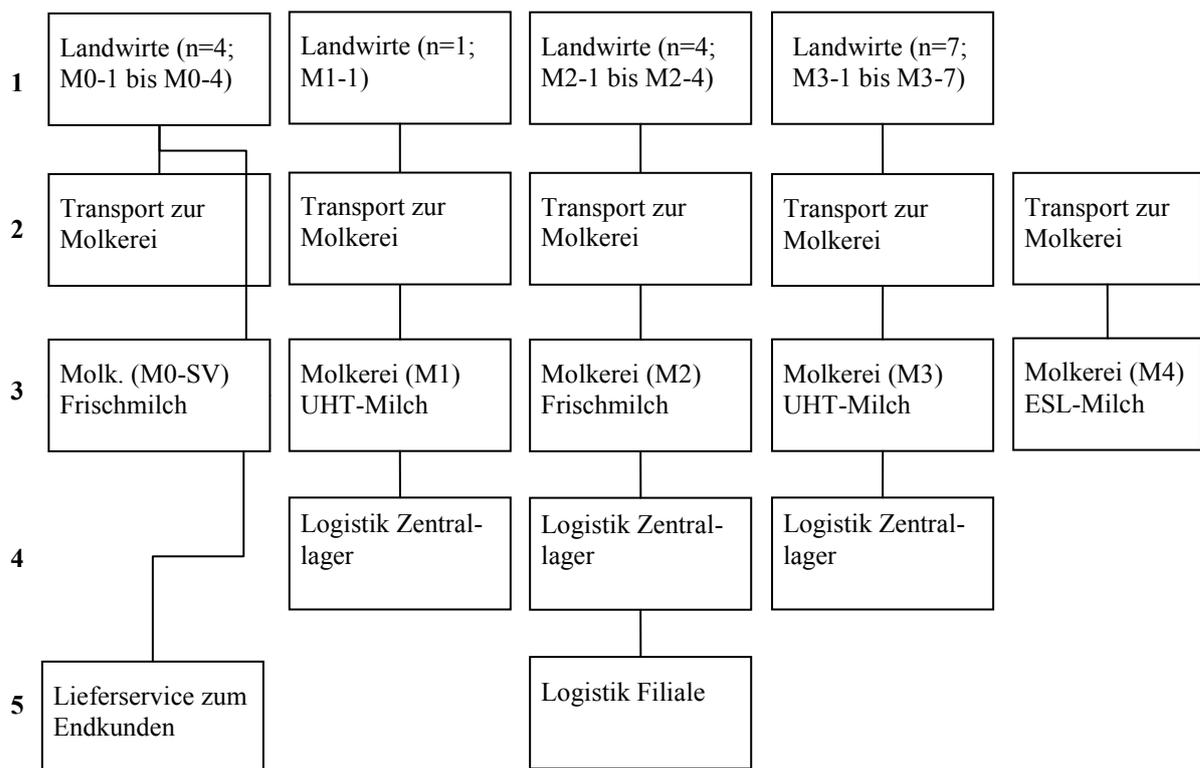


Abb. 3.2.2: Untergliederung der untersuchten Lieferketten in Module, jede Zeile stellt ein Modul dar (1-5).

3.2.1 Landwirtschaftliche Betriebe

M0-1

Die Datenerfassung im Betrieb M0-1 bezieht sich nicht auf das Jahr 2009 wie die übrigen Betriebe, sondern auf das Jahr 2008. Der Betrieb ist ein ökologisch wirtschaftender Milch-

viehbetrieb mit 88 laktierenden Schwarzbunten Kühen und eigener Nachzucht. Die Haltung erfolgt im Laufstall mit Schiebesystem zur Entmistung, die trockenstehenden Kühe sind ganzjährig auf der Weide, die übrigen Tiere stundenweise. Auf dem Hof leben mehrere Parteien, die Wohnungen sind vermietet. Die Erfassung der Energieumsätze erfolgt für die Tierhaltung getrennt von den Wohnungen. Pflanzenbau erfolgt in Form von Futtermitteln und Marktfrüchten.

M0-2

M0-2 ist ein ökologisch wirtschaftender Milchviehbetrieb mit 41 laktierenden Kühen, vorwiegend der Rassen Rotbunte und Schwarzbunte Holstein. Die Haltung erfolgt im planbefestigten Boxenlaufstall mit Stroheinsatz. Der Betrieb baut Futtermittel und Marktfrüchte an. Auf dem Hof leben vier Personen.

M0-3

M0-3 ist ein ökologisch wirtschaftender Milchviehbetrieb mit 48 laktierenden Schwarzbunten und Rotbunten Kühen. Außerhalb der Weidesaison erfolgt die Haltung im planbefestigten Boxenlaufstall mit Schiebesystem und Hochboxen mit Gummimatten. Kälber und Jungvieh stehen im Tiefstreustall. In der Saison besteht die Möglichkeit des Weidegangs, für die Kühe tagsüber und das Jungvieh ganztags. Besonders ist bei diesem Betrieb der Einsatz eines automatischen Melksystems bei dem kein Melkpersonal notwendig ist und die Kühe selbstständig die Melkstation betreten. Der Betrieb baut Futtermittel und Marktfrüchte an. Für das Wohnhaus besteht eine separate Erfassung des Energieumsatzes.

M0-4

M0-4 ist ein ökologisch wirtschaftender Milchviehbetrieb mit 131 laktierenden Kühen der Rasse Deutsches Rotvieh / Angler. Die Haltung erfolgt im Boxenlaufstall mit Spaltenboden bzw. Stroheinsatz und auf der Weide. Am Ende ihrer Laktationsperiode stehen die Kühe ganztags auf der Weide, zu Beginn sind sie zum Melken und nachts im Stall. Als weiteren Betriebszweig vermarktet der Betrieb seine Milch zum Großteil selbst, der Anbau von Marktfrüchten ist nicht vorgesehen. Auf dem Hof leben zwei Parteien mit insgesamt elf Personen. Der Energieumsatz der Wohnhäuser ist getrennt erfasst.

M1-1

Betrieb M1-1 ist ein Milchviehbetrieb ohne eigene Färsenaufzucht. Der Betrieb hält 280 Schwarzbunte laktierende Kühe im Laufstall mit Schiebeanlage (siehe Abbildung 3.2.3). Die Trockenstehenden und die Kälber stehen in Tieflaufställen auf Stroh. Der Verkauf aller Kälber zur externen Aufzucht erfolgt nach zehn Wochen, der Rückkauf der Färsen nach 24 Mo-

naten. Ackerbau dient ausschließlich der eigenen Futtermittelproduktion. Auf dem Hof leben zwei Parteien.



Abb. 3.2.3: Laufstall der Kühe im Betrieb M1-1

M2-1

Betrieb M2-1 ist ein Milchviehbetrieb mit eigener Rinderzucht. Insgesamt leben auf dem Hof fünf Personen. Das Jahr 2009 ist von einer Betriebsvergrößerung geprägt, durch die Aufstockung der Herde bestehend aus Fleckvieh verändert sich die Anzahl laktierender Kühe von 30 auf 55. Die Milchkühe stehen in einem Laufstall mit Schiebesystem zur Entmistung, die Kälber auf Festmist (siehe Abbildung 3.2.4). Trockenstehende können je nach Witterung auf einen Auslauf, die Futteraufnahme ist dort jedoch nicht relevant. Der Pflanzenbau erfolgt zum größten Teil für den Eigenumsatz an Futter. Zum Verkauf stehen gezüchteter Grassamen und 90 % des angebauten Weizens. Die Vergabe von Dienstleistungen bei der Feldarbeit umfasst bei diesem Betrieb das Maissähen und Maishäckseln, allerdings mit Diesel vom Betrieb selbst. Abbildung 3.2.5 zeigt den Melkstand des Betriebs.



Abb. 3.2.4: Kälberstall (links) und Laufstall der Milchkühe (rechts) im Betrieb M2-1



Abb. 3.2.5: Fischgrätenmelkstand im Betrieb M2-1, Doppelsechser mit Frontantrieb

M2-2

Betrieb M2-2 ist ebenfalls ein Milchviehbetrieb mit eigener Rinderzucht. Auf dem Hof leben drei Personen. In 2009 sorgen 78 laktierende Schwarzbunte Kühe für die Milchbereitstellung. Die Kühe stehen in Boxenlaufställe mit Schiebesystem zur Entmistung, die Kälber in Iglus (siehe Abbildung 3.2.6). Die trockenstehenden Kühe sind auf der Weide. Besonders ist die ausschließliche Fütterung der Kälber mit Vollmilch anstelle von der Ergänzung mit Milchaustauscher. Der Pflanzenbau erfolgt zum größten Teil für den Eigenbedarf an Futter. Zum Verkauf steht 80 % des angebauten Weizens. Abbildung 3.2.7 zeigt den Melkstand des Betriebs.



Abb. 3.2.6: Schiebesystem und Güllebehälter (links) und Kälber-Iglus (rechts) im Betrieb M2-2



Abb. 3.2.7: Melkstand im Betrieb M2-2

M2-3

Betrieb M2-3 ist ein Milchviehbetrieb mit eigener Rinderzucht und Bullenmast der Rasse Fleckvieh. 30 laktierende Kühe stehen in Anbindehaltung (Abb. 3.2.8), die Kälber auf Festmist. Der Pflanzenbau des Betriebs dient ausschließlich der Futterbereitstellung. Der Energieaufwand ist separat vom Wohnhaus erfasst.



Abb. 3.2.8: Stall im Betrieb M2-3

M2-4

Betrieb M2-4 ist ein Milchviehbetrieb mit Schwarzbunten Holstein Frisian und eigener Rinderzucht. Die 76 laktierenden Kühe stehen im planbefestigten Laufstall mit Stroheinsatz und Einzelleieboxen. Das Jungvieh steht auf der Weide. Der Pflanzenbau des Betriebs erfolgt größtenteils für die Futterbereitstellung, lediglich Weizen steht zum Verkauf. Die Anzahl Personen die auf dem Hof wohnen ist nicht erfasst.

M3-1

Betrieb M3-1 ist kein reiner Milchviehbetrieb, ein weiterer Wirtschaftszweig ist die Mutterkuhhaltung, die Energieaufwendungen sind jedoch getrennt erfasst. Personen leben nicht auf dem Hof. 180 laktierende Kühe der Rasse Schwarzbunte Holstein stehen im Laufstall mit Stroheinlage, für die Jungtiere ist Weidehaltung vorgesehen. Neben Futtermitteln baut der Betrieb auch Marktfrüchte an.

M3-2

Betrieb M3-2 ist ein Milchviehbetrieb mit 64 laktierenden Kühen der Rasse Schwarzbunte Frisian. Die Haltung erfolgt im Boxenlaufstall mit befestigter Fläche und Stroheinsatz. Der Betrieb züchtet auch Rinder mit Verkauf von Färsen. Alle Rinder stehen in der Saison auf der Weide, die Jungtiere 24 Stunden, die Milchkühe stundenweise. Der Betrieb baut Futtermittel als auch Marktfrüchte an. Auf dem Hof leben drei Personen.

M3-3

Betrieb M3-3 betreibt neben der Milchviehwirtschaft Rinderzucht als auch Rindermast. Die 110 laktierenden Kühe gehören zu den Rassen Holstein Frisian, Schwedische Rotbunte und Montbéliard. Die Haltung erfolgt im Boxenlaufstall mit Stroheinsatz. Weidegang ist für hochtragende Färsen und Trockenstehende vorgesehen. Abbildung 3.2.9 zeigt trächtige Färsen und Kälber auf Stroh. Auf dem Hof leben fünf Personen. Pflanzenbau erfolgt nur für eigene Futtermittel.



Abb. 3.2.9: Trächtige Färsen (links) und Kälber (rechts) im Betrieb M3-3

M3-4

M3-4 ist ein Milchviehbetrieb mit 263 laktierenden Holstein Frisian. Die Nachzucht erfolgt im Betrieb, 4 % der Färsen kommen in 2009 zum Verkauf. Die Milchkühe stehen im befestigten Liegeboxenlaufstall (siehe Abbildung 3.2.10, links). Die Jungtiere stehen auf Stroh bzw. in der Saison ganztags auf der Weide. Der Betrieb baut Futtermittel und Marktfrüchte an. Auf

dem Hof leben keine Personen, der Betrieb stellt eine Agrargenossenschaft dar. Abbildung 3.2.11 zeigt links einen Siloschlauch zur Silage von Zuckerrübenschnitzel, dies ist in der Region eine übliche Form der Lagerung dieses Futtermittels. Auf der rechten Seite ist ein Tränkautomat für die Aufbereitung und Fütterung von Milchaustauscher abgebildet.



Abb. 3.2.10.: Liege Box (links) und Auslauffläche (rechts) im Betrieb M3-4

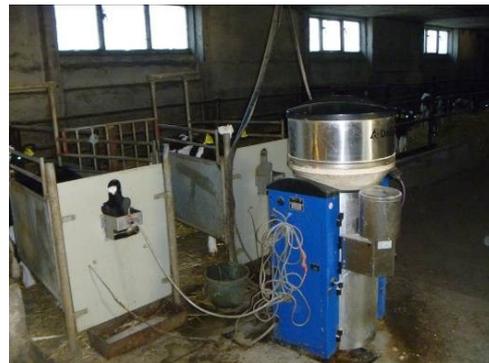


Abb. 3.2.11: Zuckerrübenschnitzel im Siloschlauch (links), Tränkautomat für Kälber (rechts)

M3-5

Betrieb M3-5 betreibt neben der Milchviehwirtschaft mit Schwarzbunten Holstein Rindern noch Mutterkuhhaltung. Auf dem Hof leben keine Personen. Die Jungtiere stehen bis ca. einem Jahr auf Stroh danach auf Vollspaltenboden. Die 360 laktierenden Kühe stehen ebenfalls auf befestigter Fläche mit Stroh. Der Betrieb baut Futtermittel und Marktfrüchte an.

M3-6

Betrieb M3-6 ist ein Milchviehbetrieb mit 87 laktierenden Kühen der Rassen Schwarzbunt, Rotbunt und Angler. Der Betrieb hat keine eigene Kälber- und Färsenaufzucht. Die verkauften 43 Kälber werden als trächtige Färsen im 7. bzw. 8. Monat zurückgekauft, in 2009 auch als hochtragende Kühe. Die Haltung der Tiere erfolgt im Fress- und Liegestall auf Stroh. Die Trockenstehenden sind im Sommer für 12 h auf der Weide. Personen leben keine auf dem Hof. Ackerfrüchte dienen als Futter und stehen zum Verkauf.

M3-7

M3-7 ist ein Milchviehbetrieb mit 700 laktierenden Kühen der Rasse Holstein Frisian und eigener Reproduktion. Die Tiere stehen in planbefestigten Liegeboxenlaufställen (Abb. 3.2.12, rechts). Jungrinder, tragende Färsen und Trockenstehende nutzen Weideflächen bzw. einen Auslauf. Auf der linken Seite der Abbildung 3.2.12 sind die Kälber abgebildet. Der Betrieb baut Futtermittel und in beträchtlichem Umfang Marktfrüchte an. Auf dem Hof lebt eine Person.



Abb. 3.2.12: Kälberstall (links) und Stall der Milchkühe (rechts) in Betrieb M3-7



Abb. 3.2.13: Melkstand in Betrieb M3-7



Abb.: 3.2.14: Milchtanks in Betrieb M3-7

3.2.2 Molkereien

M1

Molkerei M1 sieht sich hauptsächlich als Lohnfüller für Milch- und Milchmodiggetränke, vertreibt aber auch eine hauseigene Marke. Die Datenerfassung bezieht sich ausschließlich auf ein spezifisches Produkt, eine regional vermarktete UHT-Milch im Verbundkarton. Die Energieumsätze der einzelnen Prozessschritte gibt das Unternehmen an. Das Produkt umfasst 1.300 t UHT-Milch pro Jahr, aus Rohmilch bereitgestellt von einem Landwirt. Die Vermarktung erfolgt als regionales Produkt über zwei Zentralläger eines Handelsunternehmens.

M2

Molkerei M2 führt in ihrem Sortiment neben konventionellen Produkten der weißen Linie auch Produkte aus ökologischer Landwirtschaft. Untersuchungsgegenstand ist die Abfüllung von Frischmilch als Eigenmarke für ein Handelsunternehmen. Die Datenerfassung erfolgt auf Betriebsebene. In 2009 produziert die Molkerei insgesamt 42.209 t Molkereiprodukte und beliefert das relevante Handelsunternehmen mit 1.492 t Frischmilch. Die Untersuchung schließt den Transport zum Zentrallager und die Distribution zu den Filialen des Lebensmittel Einzelhandels (LEH) ein.

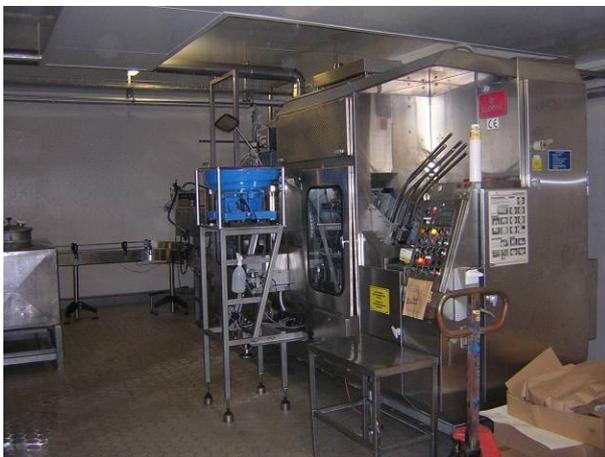


Abb. 3.2.15: Abfüllanlage für Frischmilch im Verbundkarton in Molkerei M2

M3

Molkerei M3 füllt ausschließlich UHT-Milch verschiedener Marken und Eigenmarken ab. In 2009 produziert das Unternehmen 148.692 t UHT-Milch. Die Datenerfassung erfolgt auf Betriebsebene und ist aufgrund der Betriebsstruktur trotzdem produktspezifisch.

M4

Molkerei M4 bearbeitet eine weite Produktpalette, darunter auch Milchpulver und Produkte der weißen Linie. Die Abfüllung umfasst eigene Markenprodukte und Eigenmarken des LEH. Die Datenerfassung bezieht sich ausschließlich auf die Abfüllung der gesamten ESL-Milch. Dies erfordert die Erfassung der einzelnen Prozessschritte mit den zugeordneten Kennzahlen der Maschinen und Durchflussmengen. In 2008 beträgt die abgefüllte Masse ESL-Milch 95.364 t.



Abb.: 3.2.16: Rohmilchkühler (links) und Dampfinjektor (rechts) in Molkerei M4



Abb. 3.2.17: Kälteanlage in Molkerei M4

3.3 Systemgrenzen und funktionelle Einheit

Die Datenerhebung umfasst auf Stufe der Milchviehhaltung alle Energieaufwendungen für die Erzeugung von Milch inklusive der Aufzucht von Jungtieren (Abb. 3.3.1). Dies schließt den Elektroenergieumsatz und den Dieselumsatz am Hof ein sowie ggf. Gas oder Heizöl. Darüber hinaus sind Dienstleistungen bei der Produktion des Futters bzw. die Herstellung von Zukauffutter und Milchaustauscher zu berücksichtigen. Die Transporte zum Betrieb umfassen Sachtransporte wie Futtermittel aber auch Personaltransporte wie Tierpfleger, Tierärzte und

der Abtransport von verendeten Tieren. Zwischen der Stufe der Landwirtschaft und den Molkereien ist der Transport der Rohmilch zu erfassen.

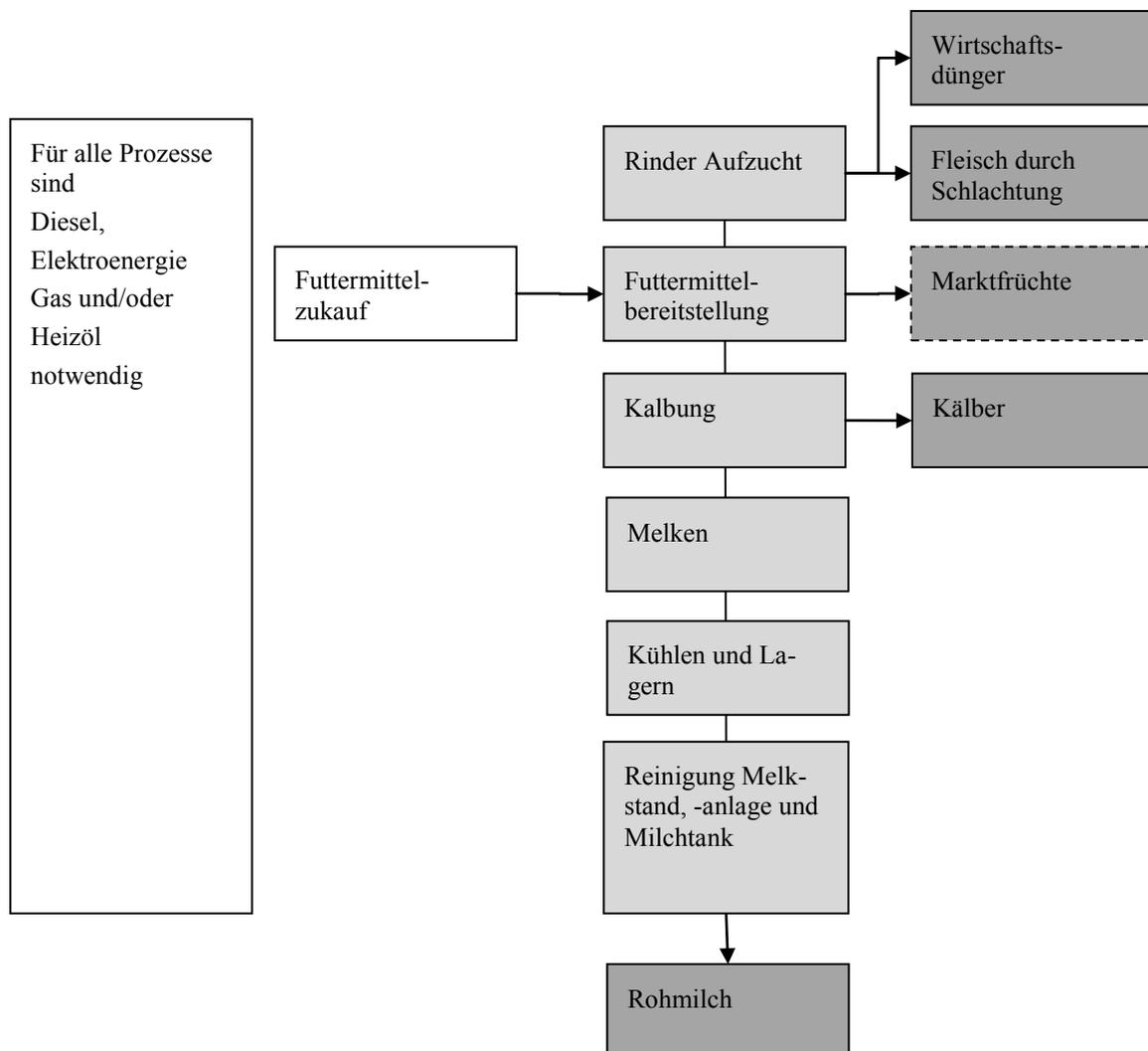


Abb. 3.3.1: Systemgrenzen in der Landwirtschaft

Die Stufe der Molkerei umfasst alle Energieaufwendungen für die Produktion und Verpackung der Trinkmilch. Als Energieträger dienen hierfür Elektroenergie und Gas oder Heizöl. Diesel ist für die Transporte des Verpackungsmaterials notwendig. Als nachgelagerte Schritte sind die Transporte zum Lebensmittelhandel relevant und exemplarisch für eine bzw. zwei Molkereien erfasst (siehe Abb. 3.2.2).

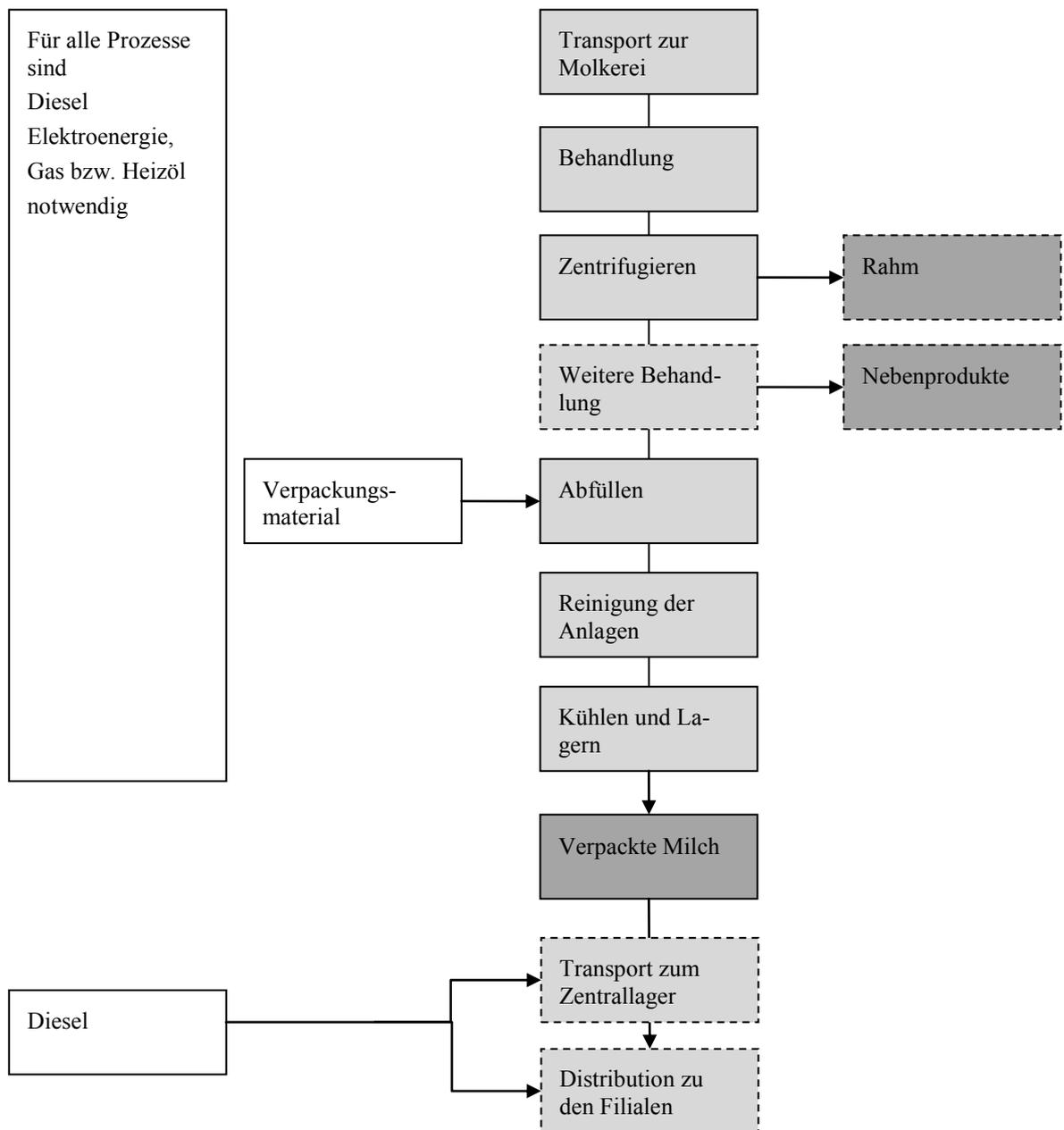


Abb. 3.3.2: Systemgrenzen in der Molkereiwirtschaft

Nicht erfasst sind energetische Aufwendungen und Emissionen aus menschlicher Arbeitsleistung, Herstellung von Verpackungen, Herstellung und Anlieferung von eingesetzten Chemikalien (Reinigung, Sterilisation, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel), Saatgut, Fette und Mineralstoffe zur Futterergänzung sowie die Entsorgung von Abfällen (einschließlich der Klärung von Abwässern). Ebenso von der Untersuchung ausgeschlossen sind Kapitalgüter wie Gebäude, Grundstücke und die Herstellung der nötigen Maschinen inklusive der Kältemittel.

Funktionelle Einheit (FU) ist 1 kg Milch bei einer unterstellten Dichte von 1,029 kg/l.

3.4 Bewertung der Nebenprodukte (Allokation)

Die Massenallokation ist im Fall der Milchwirtschaft eine konservative Methode. Auf Stufe der Landwirtschaft (siehe Kapitel 2.3.1) liegt dies an der höheren Wertschöpfung von Fleisch gegenüber Milch. Daher wird bei einer ökonomischen Allokation dem Fleisch einen höheren Anteil der Aufwendungen zugerechnet als bei einer Massenallokation. Auf Stufe der Molkereiwirtschaft ist die Massenallokation ebenfalls konservativ. Die hier untersuchte Trinkmilch stellt ein Produkt mit geringer Verarbeitungstiefe dar, sodass davon auszugehen ist, dass weitere Molkereiprodukte eher einen höheren Energieumsatz für die Produktion benötigen. In der vorliegenden Arbeit ist die Massenallokation Mittel der Wahl.

3.4.1 Allokation in der Landwirtschaft

Der Output an erwirtschafteter verkehrsfähiger Rohmilch umfasst die abgelieferte Rohmilch an die Molkerei und Rohmilch zum Eigenverbrauch bzw. vor Ort verarbeiteter Rohmilch. Die Aufzucht des Milchviehs ist Bestandteil der Prozesskette zur Milchbereitstellung. Entsprechend sind alle **Fleischgewinne** durch Verkauf von überschüssigen Tieren als Nebenprodukt anzusehen. Dies sind zum einen Bullenkälber, die zur weiteren Mast gehen und zum anderen weibliche Tiere, die aus verschiedenen Gründen zum Verkauf stehen, wie Jungrinder, die nicht zur Remontierung der Herde benötigt werden, Färsen aus züchterischen Gründen und Altkühe, die eine gewisse Anzahl an Laktationsperioden durchlaufen haben. Die Zurechnung der THG-Emissionen erfolgt nach der Masse ihres Schlachtgewichts. Für die Ermittlung der Fleischerträge sind Anzahl und Gewicht der verkauften und geschlachteten Tiere Bestandteil der Datenerhebung. Da nicht alle Landwirte Schlachtgewichte angeben, kommen für alle Betriebe Daten aus der Literatur zur Anwendung. Die Daten weichen ca. 20 % von den Angaben der Landwirte ab. Als Datengrundlage für das Schlachtkörpergewicht der Kühe, Jungrinder und Färsen dient die Datenbank des Statistischen Bundesamtes „genesis“. Dort sind alle geschlachteten Tiere erfasst und die gesamte Schlachtmenge und Tierzahl je Tiergruppe und Bundesland für das Bezugsjahr 2009 ausgewiesen (Statistisches Bundesamt 2011). Mit Gleichung 3.4.1 lässt sich daraus das Schlachtkörpergewicht pro Tier errechnen (siehe Tab. 3.4.1).

$$m_{\text{Rind}} = m_{\text{ges}} / n_{\text{ges}} \quad (\text{Gl. 3.4.1})$$

m_{Rind} Schlachtgewicht [kg]

m_{ges} Gesamte Schlachtmenge der jeweiligen Tierkategorie des Bundeslandes [kg/a]

n_{ges} Anzahl geschlachteter Tiere der Tierkategorie des Bundeslandes [a^{-1}]

Tab 3.4.1: Berechnete Schlachtkörpergewicht von Rindern in [kg] (Statistisches Bundesamt 2011)

	Kühe	Färsen	Jungrinder	Bullen
Baden-Württemberg	310	292	179	375
Hessen	276	255	165	338
Sachsen-Anhalt	304	290	181	364

Für Kälber ist diese Datenquelle nicht geeignet, da die verkauften Kälber noch nicht ihr typisches Schlachtgewicht erreicht haben und ihr Gewicht daher überschätzt würde. Als Datengrundlage dienen das Geburtsgewicht und die Gewichtszunahme. Ein Kalb wiegt bei der Geburt ca. 42 kg. Es nimmt im 1. Lebensmonat ca. 0,6 kg pro Tag zu. Daraus ergibt sich ein Gewicht nach 14 Tagen von ca. 50 kg, nach 14-21 Tagen von ca. 53 kg und nach 4 Monaten von ca. 150 kg (Rudolphi 2004).

Die meisten landwirtschaftlichen Betriebe bauen neben den benötigten Futtermitteln auch **Marktfrüchte** an. Den Erträgen der Marktfrüchte sind entsprechende Endenergieumsätze des Betriebs zuzuordnen. Dies erfolgt in erster Priorität durch den Landwirt selbst, indem er im Fragebogen den Dieselumsatz für die Futterproduktion und Tierhaltung angibt (n=5; M0-3, M0-4, M3-1 bis M3-3). Liegen keine Daten für die Futterproduktion vor, erfolgt deren Berechnung mit der angegebenen Feldfläche und Daten des KTBL für den Dieselumsatz pro Feldfläche des relevanten Produkts (2. Priorität; n=3; M0-2, M3-4, M3-7) (KTBL 2011). In dritter Priorität, wenn nur Daten für den gesamten Dieselumsatz im Betrieb vorliegen (n=5; M2-1 bis M2-4, M0-1), errechnet sich der relevante Dieselumsatz aus dem Gesamtdieselumsatz abzüglich des Dieselumsatzes für die Marktfrüchte. Der Dieselumsatz der Marktfrüchte wird dann berechnet über die vom Betrieb angegebene Feldfläche und Daten des KTBL (KTBL 2011).

Die Angabe des Elektroenergieumsatzes der Betriebe schließt in manchen Fällen einen **Privathaushalt** mit ein (n=5; M0-2, M0-4, M2-1, M2-2 und M2-4). Zur Korrektur dienen Angaben von Schächtele et al. 2007 (Schächtele 2007, S. 36):

3-Personen-Haushalte	3908 kWh/a
4-Personen-Haushalte	4503 kWh/a
5-Personen-Haushalte	5257 kWh/a

3.4.2 Allokation bei den Transporten

Für die Transporte sind Hin- und Rückfahrten mit unterschiedlichen Faktoren zu berücksichtigen. Erfolgt der Transport ausschließlich für den betrachteten Betrieb und mit leerer Rückfahrt, erfolgt die Bewertung des Transports mit dem Faktor 2. Erfolgt die Rückfahrt mit

Ware oder handelt es sich um eine Sammeltour, erfolgt die Bewertung mit dem Faktor 1. Zusätzlich transportierte Ware wird mittels Massenallokation berücksichtigt.

3.4.3 Allokation bei den Molkereien

Molkerei M1 gibt die Endenergieumsätze spezifisch für den Prozess der UHT-Milch Herstellung an, daher ist keine Allokation notwendig. Bei Molkerei M2 erfolgt die Datenerhebung auf Betriebsebene. Dabei ist eine Massenallokation notwendig, um alle Molkereierzeugnisse bei der Ermittlung der spezifischen Primärenergieumsätze und Emissionen zu berücksichtigen. Molkerei M3 stellt nur UHT-Milch her, somit ist keine Allokation notwendig. Bei Molkerei M4 erfolgt die Datenerfassung auf Prozessebene, die Erhebung erfolgt spezifisch für die ESL-Milch. Für die Prozesse, deren Energieumsatz nicht direkt bezogen auf die Trinkmilch ermittelbar ist, z. B. die Lagerung im Kühlhaus, erfolgt eine Allokation über die Masse.

3.5 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt für das Jahr 2009. Die Angaben eines landwirtschaftlichen Betriebs und einer Molkerei beziehen sich auf das Jahr 2008.

3.5.1 Datenerfassung in der Landwirtschaft

Die Datenerhebung erfolgt mit einem Fragebogen, ergänzt durch ein mehrstündiges Interview. Die abgefragten Angaben umfassen im Wesentlichen Daten der Buchhaltung, der Betriebszweiganalyse, des Herdeninformationssystems, der Milchgeldabrechnung und Milchleistungsprüfung. Angestrebt ist die Erfassung der Daten getrennt nach:

- Aufwendungen für die Tierhaltung
- Aufwendungen für die Futterproduktion
- Umfang und Ausmaß der Transportwege

Diese Differenzierung ist nicht bei allen Betrieben möglich. Erster Abfragepunkt ist daher der Gesamtenergieumsatz des Betriebs, gefolgt von den relevanten Wirtschaftszweigen. Zu Letzterem gehört auch die Abfrage der eingesetzten Maschinen und zugekauften Dienstleistungen. Im Weiteren folgt die Anzahl an Tieren in der Milchviehhaltung inklusive der Abgänge. Auch die Haltungsbedingungen und die Behandlung von Wirtschaftsdünger sind Teil der Befragung. Zur Milchgewinnung ist neben der Höhe und der Verwendung des Outputs die Häufigkeit des Melkens und der Reinigung von Interesse. Darüber hinaus sind alle Zukäufe mit Menge, Häufigkeit und Lieferentfernung von Bedeutung. Der letzte Punkt widmet sich der Fütterung. Dabei geht es auch um die Erträge des Pflanzenbaus sowie die Futterzusammensetzungen.

3.5.2 Datenerfassung bei den Molkereien

Die Datenerhebung findet bei fünf unterschiedlichen Molkereien durch fragebogengestützte Gespräche und Betriebsbegehungen statt. Bei Molkerei M4 erfolgt ergänzend eine Datenerhebung im laufenden Prozess. Die Datenermittlung gliedert sich in fünf Abschnitte, die alle Endenergieumsätze der Molkerei sowie alle In- und Outputs abfragen. Der erste Punkt widmet sich allgemeinen Daten zur Größe des Betriebs wie die Betriebsfläche, die Mitarbeiterzahl, die Masse angenommener und verarbeiteter Rohmilch sowie die Masse an End- und Nebenprodukten. Als zweiten Punkt interessieren die Transportbedingungen der Rohmilch und zugekaufter Verpackungsmaterialien. Relevant sind die Transportwege, die Häufigkeit der Anlieferung sowie die Auslastung der Transportmittel. Im Pendant dazu sind die entsprechenden Daten zu den Transporten von der Molkerei zum LEH von Belang. Der dritte Punkt ist dem Energieumsatz gewidmet. Zur Abfrage kommen die eingesetzten Endenergieträger in Art und Höhe sowie der Endenergieaufwand für die Erzeugung von Eiswasser, Druckluft und Dampf. Von Interesse sind auch die Einsatzorte für die verschiedenen Endenergieträger, falls möglich mit Zuordnung konkreter Endenergieumsätze zu den einzelnen Prozessschritten. Letzteres kann in der Regel nicht geleistet werden, da nur wenige Energiezähler in den Betrieben installiert sind. Ein vierter Punkt befasst sich mit den entstehenden Abfällen, dem Einsatz von Wasser und dem Umgang mit nicht verwertbarer Milch. Ebenfalls werden weitere Emissionsquellen für Treibhausgase abgefragt. Der letzte Punkt stellt die Verbindung zur Landwirtschaft her. Von Interesse sind die Anzahl und die Größe der Zulieferbetriebe, die Relevanz von Spotmärkten, die Lage der Betriebe bzw. die Entfernung zur Molkerei, sowie vertragliche Regelungen zur Qualitätssicherung.

3.6 Datenaufbereitung

3.6.1 Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren

Bei der Nutzung von Endenergie in Form von fossilen Energieträgern (Heizöl, Gas, Treibstoff) sind neben der Energie aus der Verbrennung während der Nutzungsphase auch die energetischen Aufwendungen der Vorkette zu betrachten. Dies gilt auch bei der Verwendung von Elektroenergie, der eine aufwendige Vorkette vorausgeht. Für beide Formen der Endenergienutzung dienen Faktoren aus der Literatur für die Berechnung des Primärenergieeinsatzes und der resultierenden THG-Emissionen. In Tabelle 3.6.1 sind die relevanten Faktoren aufgeführt (AGEB 2011a; Frischknecht 2011; Öko-Institut e. V. 2010). Für die Verbrennungsprozesse in der Nutzungsphase ist eine Vernachlässigung der Treibhausgase neben CO₂ möglich. Sie treten nur in sehr geringen Mengen auf und sind abhängig von der Verbrennung in Wärmekraftmaschinen und Heizanlagen. Für alle Stufen der Bereitstellungskette gilt Glei-

chung 3.6.1 zur Berechnung des **Endenergieumsatzes** in [MJ] aus fossilen Energieträgern. Die Gleichung enthält den betriebsspezifischen Allokationsfaktor der Milch, damit bezieht sich der ermittelte Endenergieumsatz direkt auf die bereitgestellte Milch des jeweiligen Betriebs.

$$W_{EE} = V_{EE} * \rho * f_{\text{Heizwert}} * f_{\text{Allokation}} \quad (\text{Gl. 3.6.1})$$

W_{EE} Endenergieumsatz [MJ/a]

V_{EE} Volumen des eingesetzten Endenergieträgers [l/a] bzw. [m³/a] bei Erdgas

ρ Dichte des Energieträgers [kg/l] (nicht relevant bei Erdgas)

f_{Heizwert} Heizwert des eingesetzten Energieträgers [MJ/l] bzw. [MJ/m³] bei Erdgas

$f_{\text{Allokation}}$ betriebsspezifischer Allokationsfaktor von Milch

Der **Primärenergieumsatz** errechnet sich nach der Gleichung:

$$W_{PE} = W_{EE} * f_{PE} \quad (\text{Gl. 3.6.2})$$

W_{PE} Primärenergieumsatz [MJ/a]

W_{EE} Endenergieumsatz [MJ/a]

f_{PE} PE-Faktor [MJ/MJ]

Der **spezifische Primärenergieumsatz** errechnet sich nach der Gleichung:

$$w_{PE\text{-Treibstoff}} = W_{PE} / m_{\text{Produkt}} \quad (\text{Gl. 3.6.3})$$

w_{PE} spezifischer Primärenergieumsatz [MJ/kg Produkt]

W_{PE} Primärenergieumsatz [MJ/a]

m_{Produkt} Bereitgestellte Masse des untersuchten Produkts [kg/a]

Die nachfolgende Tabelle 3.6.1 führt die relevanten Faktoren für die Berechnung der End- und Primärenergieumsätze gemäß Gleichungen 3.6.1 und 3.6.2 auf.

Tab 3.6.1: Heizwert, Dichte und Primärenergie-Faktoren verschiedener Endenergieträger

	Heizwert [MJ/kg] (AGEB 2011b)	Dichte [kg/l] (PTB 2010)	PE-Faktor f_{PE} [MJ/MJ] (Öko-Institut e. V. 2010)
Heizöl, leicht	42,81	0,835	1,15
Diesel	42,96	0,839 [1]	1,15
Ottokraftstoff (Benzin)	43,54	0,745 [1]	1,21
Treibstoff für PKW ge- wichtet für Deutschland nach Diesel und Benzin			1,3
Flüssiggas (Propan, Bu- tan)	46,03		1,18 [2]
Elektroenergie			2,13 [3]
Erdgas	53,17 MJ/m ³		1,12

[1] Durchschnitt aus Sommer- und Winterkraftstoff (nur Diesel bzw. Super ohne Biokraftstoff) unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchschnittstemperatur von 16,2 °C im Sommer und -0,4 °C im Winter (Müller-Westermeier 2006; PTB 2010).

[2] (Frischknecht 2011)

[3] eigene Berechnung nach AG Energiebilanzen e. V. 2011 für 2009 (AGEB 2011a)

Die **THG-Emissionen** errechnen sich aus dem Endenergieumsatz nach der Gleichung:

$$m_{THG} = W_{EE} * f_{THG} \quad (\text{Gl. 3.6.4})$$

m_{THG} Masse THG-Emissionen [g CO_{2-eq}/a]

W_{EE} Endenergieeinsatz [MJ/a]

f_{THG} THG-Emissions-Faktor [g CO_{2-eq}/MJ]

Die Gleichung für die Berechnung der **spezifischen THG-Emissionen** lautet:

$$m_{THG} = m_{THG} / m_{Produkt} \quad (\text{Gl. 3.6.5})$$

m_{THG} spezifische THG-Emissionen [g CO_{2-eq}/kg Produkt]

m_{THG} Masse THG-Emissionen [g/a]

$m_{Produkt}$ Bereitgestellte Masse des untersuchten Produkts [kg/a]

Tabelle 3.6.2 führt in den Spalten 2 und 3 die Faktoren für die Ermittlung der resultierenden THG-Emissionen aus der Verbrennung selbst und den vorausgehenden Prozessen zur Endenergiebereitstellung auf. Der Emissions-Faktor für die Berechnung nach Gleichung 3.6.4 ist in Spalte 4 aufgeführt, er ergibt sich aus der Summe von Spalte 2 und 3.

Tab 3.6.2: Berechnung der THG-Emissionen von verschiedenen Endenergieträgern

	THG-Emissionen aus der Verbrennung [g/MJ] (UBA 2011a, S. 615)	THG-Emissionen aus der Vorkette [g/MJ] (Öko-Institut e. V. 2010)	THG-Emissionsfaktor f_{THG} [g /MJ]
Heizöl, leicht	74	12,19	86,19
Diesel	74	12,20	86,20
Ottokraftstoff (Benzin)	72	16,36	88,36
Treibstoff für PKW gewichtet für Deutschland nach Diesel und Benzin			87,9
Erdgas	56	11,66	67,66
Flüssiggas (Propan, Butan)	78 [1]		78
Elektroenergie	161 [2]		161

[1] (Frisknecht 2011)

[2] Unter Berücksichtigung des CO₂-Emissionsfaktors des Strommixes in Deutschland. Dieser beträgt in 2009 laut Umweltbundesamt 157 g/MJ. Hinzu kommen Netzverlustes in Höhe von 2,7 %, dieser Wert ist dem Öko-Institut für das Jahr 2005 entnommen (UBA 2011b; Öko-Institut e. V. 2010).

3.6.2 Bewertung von Futtermitteln

Der Primärenergieumsatz und die Allokationsfaktoren für die Bereitstellung von Sojaschrot sind aus Publikationen von *Cederberg et al. 2000* und *Dalgaard et al. 2008* herangezogen (Cederberg 2000; Dalgaard 2008). Dieselaufwendungen für die Produktion von zugekauften europäischen Futtermitteln und für zugekaufte Dienstleistungen für die eigene Futtermittelproduktion resultieren aus Berechnungen nach Daten des KTBL (siehe Gleichung 3.6.6) bzw. Angaben eines Dienstleisters (KTBL 2011; Rottmann 2011). Die Primärenergieumsätze für Futter aus Raps und Zuckerrüben sind mit Daten des KTBL ermittelt und mit den Allokationsfaktoren nach *Cederberg et al. 2000* bewertet (Cederberg 2000). Bauen Landwirte Raps oder Zuckerrüben selbst an, erfolgt deren Bewertung als Marktfrüchte (Kapitel 3.4.1). Die nach industrieller Aufarbeitung eingesetzten Nebenprodukte, in Form von Rapsextraktionsschrot oder Zuckerrübenschnitzel, erfahren eine Behandlung wie zugekaufte Futtermittel.

$$W_{\text{EE-FM}} = A_{\text{FM}} * W_{\text{KTBL}} \quad (\text{Gl. 3.6.6})$$

$W_{\text{EE-FM}}$ Endenergieumsatz für die Produktion des Futtermittels [l/a]

A_{FM} Anbaufläche des Futtermittels [ha/a]

W_{KTBL} Endenergieeinsatz für die Produktion nach KTBL [l/ha] (KTBL 2011)

Der Endenergieeinsatz W_{KTBL} ist abhängig von der Schlaggröße, der Hof-Feld-Entfernung, der Höhe des Ertrags und der Bodenbeschaffenheit. Die Wahl der Schlaggröße und der Entfernung zum Feld basiert auf dem arithmetischen Mittelwert der in den Betrieben angebauten

Feldfrüchte. Für den Ertrag und die Bodenbeschaffenheit liegen mittlere Werte zugrunde. Für die Art der Bodenbearbeitung wird der Mittelwert aus wendenden und nicht wendenden Verfahren angenommen. Die zugrundegelegte Motorisierung richtet sich nach den Angaben der Betriebe und wird für alle auf eine Leistung von 83 kW geschätzt.

Für die **Herstellung von Milchaustauscher** zur Kälberfütterung stehen keine Energieumsätze aus der Literatur oder von Herstellern zur Verfügung. Milchaustauscher besteht zu 60-70 % aus Magermilch- und Molkenpulver, ergänzt durch Sojaproteinkonzentrat, Weizenproteinhydrolysat und Fettmischungen (Weiß 2011, S. 354). Da nicht alle Betriebe Milchaustauscher einsetzen (ein konventionell wirtschaftender Betrieb und die ökologisch wirtschaftenden Betriebe) kann dessen Bereitstellung nicht vernachlässigt werden. Die Berechnung des Energieeinsatzes für die Bereitstellung von Milchaustauscher erfolgt anhand des durchschnittlichen PE-Energieaufwands auf Stufe der Landwirtschaft für die Bereitstellung der entsprechenden Menge Rohmilch. Dabei wird auf der einen Seite vernachlässigt, dass die Aufbereitung der Rohmilch unter zusätzlichem Energieaufwand erfolgt, einschließlich Transportaufwendungen. Auf der anderen Seite wird auch vernachlässigt, dass der eingesetzte Milchaustauscher auch Protein- und Fettquellen pflanzlichen Ursprungs beinhalten, deren Produktion mit einem geringeren Energieumsatz auf Stufe der Landwirtschaft auskommt. Zur Ermittlung des Faktors zur Umrechnung der Masse Milchaustauscher in die vergleichbare Masse Rohmilch dient der Wassergehalt der beiden Produkte. Nach *Bake 2003* hat Milchpulver einen Wassergehalt von 4 % und Rohmilch 87 %, daraus ergibt sich ein Faktor von 7,38 kg Rohmilch pro kg Milchaustauscher (Bake 2003).

$$W_{PE-MA} = m_{MA} * 7,38 * w_{PE-L} \quad (\text{Gl. 3.6.7})$$

W_{PE-MA} Primärenergieumsatz für die Bereitstellung von Milchaustauscher [MJ/a]

m_{MA} Masse Milchaustauscher [kg/a]

7,38 kg Rohmilch/kg Milchaustauscher

w_{PE-L} spezifischer Primärenergieumsatz für die Milchbereitstellung auf Stufe der Landwirtschaft [MJ/kg]

3.6.3 Bewertung von Transportleistungen

Die Auswertung der Transportleistungen **auf Stufe der Landwirtschaft** umfasst alle zugekauften Futtermittel inklusive Mineralfutter, Mineralstoffe und Milchaustauscher für die Kälber. Die Bewertung der Fahrten von Dienstleistern und Mitarbeitern zum Betrieb erfordert verschiedene Annahmen:

- Der Klauenpfleger fährt mehrere Betriebe an, daher erfolgt eine Aufteilung der Aufwendungen für Anfahrtswege nach Anzahl der angefahrenen Betriebe. Drei Betriebe geben

nur an, wie oft im Jahr die Klauenpflege erfolgt, aber nicht wie viele Tage sie in Anspruch nimmt. Für diese Betriebe errechnen sich die Anfahrten unter Berücksichtigung der Anzahl an Tieren gemäß der Gleichung:

$$n_{\text{Anfahrten}} = n_{\text{Tiere}} / 80 \quad (\text{Gl. 3.6.8})$$

$n_{\text{Anfahrten}}$ Anzahl Anfahrten

n_{Tiere} Anzahl Tiere

80 bei 10 h Klauenpflege/d (Annahme) und 8 Tieren/h (Herrmann 2010)

- Einige Betriebe geben die Häufigkeit des Tierarztbesuches nicht an. Die Angaben der übrigen elf Betriebe schwanken zwischen „einmal pro Woche“ bis „beinahe täglich“. Als Durchschnittswert aller Betriebe ergeben sich 99 Anfahrten pro Jahr. Für fünf Betriebe ohne Angabe wird dieser Wert angenommen. Bei M0-1 liegt ein genauer Wert vor, da die Besuchshäufigkeit im Arzneibuch abzählbar ist. Zwei Betriebe machen keine Angabe zur Strecke, die der Tierarzt zurücklegt. Für diese gilt die Annahme der weitesten Entfernung („worst-case“) die der Tierarzt für die umliegenden Betriebe zurücklegt.
- Die angestellten Mitarbeiter in den landwirtschaftlichen Betrieben in Sachsen-Anhalt arbeiten in der Regel 20 Tage pro Monat (Angabe von zwei Betrieben). Diese Angabe wird für alle Betriebe mit Angestellten übernommen.
- Der Treibstoffumsatz für Fahrten mit dem PKW ist makrostatistischen Daten für das Jahr 2009 entnommen (BMVBS 2009). Er richtet sich nach dem durchschnittlichen Treibstoffumsatz in Deutschland mit einer Gewichtung nach Anzahl an Fahrzeugen mit Diesel- und Ottokraftstoff-Nutzung. Der Anteil von Dieselfahrzeugen in 2009 beträgt 25 %, der von Benzinfahrzeugen dementsprechend 75 %. Der durchschnittliche Verbrauch in Deutschland für Dieselmotoren liegt nur für das Jahr 2007 vor und beträgt 0,069 l/km und für Benzinmotoren 0,082 l/km. Daraus ergibt sich ein Wert für den durchschnittlichen Verbrauch von Treibstoff in Deutschland in Höhe von 0,079 l/km (BMVBS 2009).
- Die Tierkörperbeseitigungsunternehmen (TBA) fahren die Betriebe nach Bedarf an, um tote Tiere umgehend zu entsorgen. Zur Berücksichtigung der abgefahrenen Sammelroute, die nicht bekannt ist und variiert, berechnet sich die relevante Strecke aus der einfachen Distanz zwischen landwirtschaftlichem Betrieb und TBA.
- Auch bei den Transporten der Rohmilch sind die Länge der Sammelroute und die Anzahl angefahrterer landwirtschaftlicher Betriebe nicht bekannt. Die Berechnung legt daher ebenfalls die einfache Distanz zwischen Betrieb und Molkerei zugrunde. Mit Ausnahme der Betriebe deren Anlieferung die Menge eines kompletten Sammelwagens umfasst und

die somit einen eigenen Transport beanspruchen (M1-1, M3-5). In diesem Fall ist die Hin- und Rückfahrt zu berücksichtigen.

- Transporte von Düngemitteln, Lecksteinen und Viehsalz, Fett, Diesel, Saatgut und Reinigungsmittel sind nicht enthalten, da das Datenmaterial nicht in einheitlicher Qualität vorliegt.

Auf Stufe der Molkereien erfolgt ebenfalls die Erfassung der Rohmilchtransporte, mit dem Ziel die gefahrenen Routen zu berücksichtigen und somit den tatsächlichen Endenergieumsatz erfassen zu können. Hinzu kommen Transporte der Verpackungsmittel und im nachgelagerten Schritt die Distribution zum LEH.

Die Endenergieumsätze für Transporte in [l] errechnet sich nach Gleichung 3.6.9. Die Umrechnung in [MJ] erfolgt nach Gleichung 3.6.1.

$$V_{\text{Treibstoff}} = s * f_{\text{Hin-/Rückfahrt}} * f_{\text{Häufigkeit}} * f_{\text{Treibstoffumsatz}} * f_{\text{Allokation}} \quad (\text{Gl. 3.6.9})$$

$V_{\text{Treibstoff}}$ Volumen Treibstoff [l/a]

s Strecke zwischen Ausgangspunkt und Ziel [km]

$f_{\text{Hin-/Rückfahrt}}$ Faktor für den relevanten Anteil der Hin- und Rückfahrt:
Faktor 2 für Hin- und Rückfahrt; Faktor 1 für Hinfahrten, die Rückfahrten erfolgt mit anderen Gütern oder bei Sammeltouren

$f_{\text{Häufigkeit}}$ Häufigkeit des Transports [a^{-1}]

$f_{\text{Treibstoffumsatz}}$ Treibstoffumsatz des Fahrzeugs [l/100 km]

$f_{\text{Allokation}}$ Anteil an gemeinsam transportierten Gütern, die nicht Untersuchungsgegenstand sind

3.6.4 Bewertung der Molkereiprozesse

Molkerei M1 stellt Daten aus dem betriebswirtschaftlichen Kalkulationsprogramm zur Verfügung. Die angegebenen Aufwendungen sind spezifisch für die Prozesse der Produktion der ultrahocherhitzten Milch ermittelt. Daraus lassen sich der Primärenergieumsatz und die THG-Emissionen der einzelnen Prozessschritte gemäß den Gleichungen 3.6.2 und 3.6.4 ermitteln. Zu den vorliegenden Angaben zählen der Einsatz von:

- Druckluft [Nm³],
- Dampf [t],
- Kälte [1000 kcal] und
- Elektroenergie [kWh]

Der Endenergieumsatz für die Bereitstellung der nötigen Druckluft errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$W_{\text{Druckluft}} = N_{\text{Druckluft}} * f_{\text{Erzeugung}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}} \quad (\text{Gl. 3.6.10})$$

$W_{\text{Druckluft}}$	Endenergieumsatz zur Erzeugung von Druckluft [MJ/a]
$N_{\text{Druckluft}}$	Menge eingesetzter Druckluft [Nm ³ /Charge]
$f_{\text{Erzeugung}}$	betriebspezifischer Faktor für den Einsatz von Elektroenergie zur Erzeugung von Druckluft [kWh/Nm ³]
f_{Einheit}	3,6 MJ/kWh
$n_{\text{Produktion}}$	Anzahl produzierter Chargen [Charge/a]

Entsprechend gilt für die Erzeugung von Dampf:

$$W_{\text{Dampf}} = m_{\text{Dampf}} * f_{\text{Erzeugung}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}} \quad (\text{Gl. 3.6.11})$$

W_{Dampf}	Endenergieumsatz zur Erzeugung von Dampf [MJ/a]
m_{Dampf}	Masse eingesetzten Dampfs [t/Charge]
$f_{\text{Erzeugung}}$	betriebspezifischer Faktor für den Einsatz von Gas zur Erzeugung von Dampf [kWh/t]
f_{Einheit}	3,6 MJ/kWh
$n_{\text{Produktion}}$	Anzahl produzierter Chargen [Charge/a]

Der Energieumsatz für die Bereitstellung von Kälte ist in [1000 kcal] angegeben und enthält bereits den Wirkungsgrad für die Bereitstellung durch den Einsatz von Elektroenergie. Für die Umrechnung in SI-Einheiten gilt:

$$W_{\text{Kälte}} = W_{\text{Kälte-1}} * f_{\text{Einheit}} * n_{\text{Produktion}} \quad (\text{Gl. 3.6.12})$$

$W_{\text{Kälte}}$	Endenergieumsatz zur Erzeugung von Kälte [MJ/a]
$W_{\text{Kälte-1}}$	Endenergieumsatz zur Erzeugung von Kälte [1000 kcal/Charge]
f_{Einheit}	4,1868 MJ/T kcal
$n_{\text{Produktion}}$	Anzahl produzierter Chargen [Charge/a]

Bei **Molkerei M2 und M3** erfolgt die Erfassung des gesamten jährlichen Endenergieumsatzes des Betriebs. Nebenprodukte finden mittels Massenallokation Berücksichtigung, wobei bei M3 ausschließlich Rahm als Nebenprodukt anfällt. In **Molkerei M4** erfolgt eine prozessbezogene Datenerfassung vergleichbar mit Betrieb M1. Allerdings erfolgt die Erfassung di-

rekt im Rahmen dieser Studie und nicht von Seiten der Molkerei für ökonomische Zwecke. Als Datenquelle dienen Zählerstände, technische Datenblätter, eine Fallstudie eines Kälteanlagenherstellers mit einer vergleichbaren Anlage und Auskünfte von den verantwortlichen Mitarbeitern. Für alle relevanten Prozessschritte in Molkerei M4 erfolgt eine Aufnahme der beteiligten energieabhängigen Gerätschaften und Maschinen. Dies sind im Bereich der Produktion Pumpen (Kreiselpumpen, Druckerhöhungspumpen, Vakuumpumpen), Rührwerke der Milchtanks, Bactrofugen, Separatoren, Kühler, Standardisierer, Homogenisatoren, Erhitzer, Abfüllanlagen und Verpackungsmaschinen (Deckelaufschrauber, Traypacker, Palletierer, Palettenwickler), des Weiteren Kompressoren zur Druckluftherzeugung und im Bereich der Kommissionierung ein Hochregalfahrzeug sowie diverse Hubwagen. Darüber hinaus sind Licht und Endenergieumsätze für die Verwaltung erfasst. Für alle energierelevanten Schritte errechnet sich der Endenergieumsatz aus der Leistung der Anlagen bzw. ihrer Komponenten und des transportierten Volumenstroms nach Gleichung 3.6.13. Die Angaben finden sich größtenteils in technischen Datenblättern und durch das Ablesen von Zählerständen der Energie- und Gaszähler.

$$W_{EE} = P * (V/\dot{V}) * n * f_{Einheit} \quad (\text{Gl. 3.6.13})$$

W_{EE} Endenergieumsatz [MJ/a]

P Leistung des Prozessschrittes [kW]

V Volumen des jährlich verarbeiteten Produkts [l/a]

\dot{V} Volumenstrom des Prozessschrittes [l/h]

n Anzahl der vergleichbaren Prozessschritte

$f_{Einheit}$ 3,6 kWh/MJ

Für die **Eiswasserbereitstellung** berechnet sich der Endenergieumsatz über die übertragene Wärme und die Leistungszahl der Kühlanlage.

$$W_{EE} = Q / \varepsilon \quad (\text{Gl. 3.6.14})$$

$$\text{mit } Q = V * \rho_{\text{Produkt}} * c_{\text{Produkt}} * \Delta T / 1000$$

W_{EE} Endenergieumsatz [MJ/a]

Q Übertragene Wärmemenge [MJ/a]

ε Leistungszahl

V Volumen des Produkts [l/a]

ρ_{Produkt} Dichte, $\rho_{\text{Milch}} = 1,029 \text{ kg/l}$

c_{Produkt} spezifische Wärmekapazität, $c_{\text{Milch}} = 3,9 \text{ kJ/(kg K)}$ (Töpel 2004)

ΔT Temperaturdifferenz

Im Prozess der **Pasteurisierung** kommt zur Erhitzung der Rohmilch Dampf zum Einsatz. Die Erzeugung des Dampfs erfolgt mit Erdgas. Da die nötige Menge an Dampf nicht bekannt ist, erfolgt die Berechnung über die abzuführende Wärme zur Erhitzung der Milch nach Gleichung 3.6.15.

$$m_{\text{Dampf}} = (m_{\text{Produkt}} * c_{\text{Produkt}} * \Delta T_{\text{Produkt}}) / k_{\text{Dampf}} \quad (\text{Gl. 3.6.15})$$

m_{Dampf} Masse Dampf für die Erhitzung [kg/a]

m_{Produkt} zu erwärmende Masse Milch [kg/a]

c_{Produkt} spezifische Wärmekapazität, $c_{\text{Milch}} = 3,9 \text{ kJ/(kg*K)}$ (Töpel 2004)

$\Delta T_{\text{Produkt}}$ Temperaturdifferenz der Erhitzung [K]

k_{Dampf} Kondensationswert $k_{\text{Dampf}} = 2088 \text{ kJ/kg}$ (bei 100 °C, 1013 mbar)

Für die **Hocherhitzung** ist der spezifische Dampfumsatz pro Masse Milch bekannt. Daraus kann der jährliche Dampfumsatz hochgerechnet werden. Der gesamte Endenergieaufwand für die Erzeugung des Dampfs beider Erhitzungsschritte ergibt sich nach Gleichung 3.6.16.

$$W_{EE} = m_{\text{Dampf}} * w_{\text{Dampf}} * f_{\text{Einheit}} \quad (\text{Gl. 3.6.16})$$

W_{EE} Endenergieaufwand zur Erzeugung der nötigen Masse Dampf [MJ/a]

m_{Dampf} Masse Dampf [kg/a]

w_{Dampf} betriebsspezifischer Endenergieaufwand zur Erzeugung von Dampf [kWh/kg]

f_{Einheit} 3,6 kWh/MJ

Der Endenergieumsatz für den Palettierer, den Palettenwickler und die Motoren des Transportbands sind über einen separaten Energiezähler erfasst. Das Transportband dient auch der Weiterleitung andere Produkte als ESL-Milch, dies wird vernachlässigt.

Der nötige Endenergieumsatz für das **Hochregalfahrzeug** errechnet sich nach

$$W_{EE} = P_{HRF} / \dot{n}_{Paletten} * n_{Paletten} * f_{Bewegungen} * f_{Einheit} \quad (\text{Gl. 3.6.17})$$

W_{EE}	Endenergieaufwand [MJ/a]
P_{HRF}	Leistung des Hochregalfahrzeugs [kW]
$\dot{n}_{Paletten}$	Mengenstrom Palettenbewegungen [Stck/h]
$n_{Paletten}$	Anzahl Europaletten im Jahr [Stck/a]
$f_{Bewegungen}$	Anzahl nötiger Bewegungen pro Palette: 2 (ein- und auslagern)
$f_{Einheit}$	3,6 kWh/MJ

Die Beladung der LKW erfolgt mit Hubwagen unterschiedlichen Typs. Die Ermittlung des daraus resultierenden Endenergieumsatzes erfolgt unter der Annahme eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen Hub- und Fahrzeiten. Das arithmetische Mittel der Hub- und Fahrleistung wird mit der Beladungszeit multipliziert.

Für die **Erzeugung von Druckluft** dienen Kompressoren. Die Ermittlung des Energieumsatzes der Kompressoren erfolgt durch eine 7-tägige Messung einer hierfür beauftragten Firma. Parallel erfolgt die Erfassung der verarbeiteten Rohmilchmenge für denselben Zeitraum. Die Masse des Einsatzes von Druckluft ist für die unterschiedlichen hergestellten Milchprodukte vergleichbar, sodass ein direkter Bezug vom Energieaufwand auf die verarbeitete Rohmilchmenge möglich ist.

$$W_{EE} = W_{EE\text{-mes.}} / V_{\text{Produkt-mes.}} * V_{\text{Produkt}} * f_{Einheit} \quad (\text{Gl. 3.6.18})$$

W_{EE}	Endenergieaufwand [MJ/a]
$W_{EE\text{-mes.}}$	gemessener Endenergieumsatz zur Erzeugung von Druckluft [MJ]
$V_{\text{RM-mes.}}$	erfasstes Volumen verarbeiteter Rohmilch [l]
V_{Produkt}	Volumen der jährlich zu ESL-Milch verarbeiteten Rohmilch [l/a]
$f_{Einheit}$	3,6 kWh/MJ

Der Endenergieumsatz für den Eiswasserkreislauf errechnet sich gemäß Gleichung 3.6.13. Die Ermittlung der anzurechnenden Betriebszeit der Pumpen für die ESL-Milchproduktion erfolgt über den Volumenstrom an zu kühlender Milch. Der Volumenstrom Milch ist in den drei relevanten Prozessschritten unterschiedlich, zur Vereinfachung erfolgt die Berechnung mit dem geringsten Volumenstrom (konservative Methode). Die Anzahl nötiger Pumpen er-

rechnet sich aus dem nötigen Volumenstrom Eiswasser und der Kapazität der Pumpen nach der Gleichung

$$n_{\text{Pumpe}} = \Sigma \dot{V}_{\text{Eiswasser}} / \dot{V}_{\text{Pumpe}} \quad (\text{Gl. 3.6.19})$$

n_{Pumpe} Anzahl Pumpen

$\Sigma \dot{V}_{\text{Eiswasser}}$ Summe der Volumenströme eingesetzten Eiswassers [l/h]

\dot{V}_{Pumpe} Kapazität der Pumpen [l/h]

Der Elektroenergieumsatz für Licht und Verwaltung ist über einen separaten Energiezähler erfassbar. Da nur der Zeitraum über fünf Monate bekannt ist, erfolgt die Hochrechnung auf zwölf Monate. Der Elektroenergieumsatz der Ventile der Standardisierungsanlage ist vernachlässigbar. Ebenfalls zu vernachlässigen ist der Endenergieumsatz eines Kondensators an einem Wärmetauscher, der in der Regel nicht zum Einsatz kommt, sondern nur in vereinzelt Fällen zur Temperaturkorrektur.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel finden sich die Ergebnisse der untersuchten Prozessketten getrennt nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Modulen (Abb. 3.2.2). Die Darstellung der Aufwendungen und Emissionen für den Transport der Rohmilch (Modul 2) erfolgt aus zwei Richtungen, ausgehend von den landwirtschaftlichen Betrieben und von den Molkereien (vgl. Kapitel 3.6.3). Die Ergebnispräsentation erfolgt zunächst durch eine Gegenüberstellung der untersuchten Betriebe auf Ebene der einzelnen Module. Die Zusammenführung der einzelnen Module zur Gesamtübersicht mehrerer Prozessketten erfolgt im letzten Abschnitt.

4.1 PE-Einsatz und THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Milchproduktion

Das Konzept der Arbeit sieht vor, Betriebe unterschiedlicher Größe hinsichtlich ihrer Primärenergieumsätze und THG-Emissionen zu untersuchen. Die in den einzelnen Betrieben hierzu erhobenen Endenergieumsätze sind im Anhang A-I dokumentiert. Eine Übersicht über die Betriebsgrößen bietet Tabelle 4.1.1. Der dort angegebene Umsatz an Primärenergie (PE) ist ein absoluter Wert als Summe aller eingesetzten Endenergieträger des Betriebs (Diesel, Elektroenergie, Gas oder Heizöl). Die in dieser ersten Übersicht angegebenen Werte schließen alle Wirtschaftszweige der jeweiligen Betriebe ein und enthalten keine Energieumsätze aus Fremdleistungen. Sie sollen ein Gesamtbild von den untersuchten Betrieben vermitteln. In den folgenden Abschnitten erfolgt die Allokation der Werte auf die erwirtschaftete verkehrsfähige Milch.

Der kleinste Betrieb erwirtschaftet im Jahr rund 200.000 kg Milch. Es folgen zehn weitere Betriebe mit steigendem Output bis 1.000 t Milch, vier Betriebe mit 1.800 bis 3.100 t Milch und ein Betrieb mit 7.300 t erwirtschafteter verkehrsfähiger Milch. Der kleinste Betrieb erwirtschaftet die Milchmenge mit 30, der größte mit 700 laktierenden Kühen pro Jahr. Vier Betriebe wirtschaften nach den Richtlinien für ökologischen Landbau. Diese Betriebe haben mit ca. 6.000 bis 8.000 kg pro Tier und Jahr eine geringere Milchleistung als die konventionell wirtschaftenden Betriebe, abgesehen von einem konventionellen Betrieb mit einer Milchleistung von ca. 7.000 kg/a. Innerhalb der konventionell wirtschaftenden Betriebe variiert die Milchleistung von rund 7.000 bis über 10.000 kg/a. Das bedeutet, dass vier Betriebe eine größere Milchmenge mit einer geringeren Anzahl an Tieren produzieren als konventionell oder ökologisch wirtschaftende Betriebe mit einer geringeren Milchleistung.

Tab. 4.1.1: Übersicht über die untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe

Betrieb	PE-Umsatz im Betrieb [MJ/a]	Anzahl lactierenden Kühe	Milchleistung [kg/(Tier*a)]	Weitere Wirtschaftszweige, deren Energieumsatz in Spalte 2 enthalten ist	Anteil zugekaufter Futtermittel [%]
M0-1	1.581.523	88	7.080	Marktfrüchte	21
M0-2	702.512	41	5.854	Marktfrüchte	n.n.
M0-3	1.005.076	48	7.708	Marktfrüchte	n.n.
M0-4	1.750.241	131	5.663	Keine	n.n.
M1-1	3.182.946	280	9.500	Keine eigene Färsenaufzucht	n.n.
M2-1	855.377	41	7.818	Kälberaufzucht nicht nur zum Erhalt, sondern zur Aufstockung der Herde; Marktfrüchte	8
M2-2	955.937	78	9.500	Bullenmast in geringem Umfang, Marktfrüchte	19
M2-3	507.383	30	6.500	Bullenmast in geringem Umfang	6
M2-4	1.159.208	76	8.049	Marktfrüchte	28
M3-1	3.716.891	180	10.000	Marktfrüchte	8
M3-2	1.155.256	64	7.877	Marktfrüchte	25
M3-3	2.152.437	110	8.600	Keine	n.n.
M3-4	5.504.524	263	10.608	Marktfrüchte	20
M3-5	9.668.894	360	8.500	Mutterkuhhaltung (2/3 der Tiere)	22
M3-6	2.130.558	87	9.598	Keine eigene Färsenaufzucht	5
M3-7	16.134.328	700	10.429	Marktfrüchte	41

Die Datenauswertung erfolgt im Weiteren unter **Ausschluss** von drei Betrieben. Ein Betrieb (M3-5) schließt in die Angaben der Endenergieumsätze die Mutterkuhhaltung ein, gibt jedoch nicht deren Erträge an, sodass eine Allokation nicht möglich ist. Zwei Betriebe (M1-1, M3-6) lassen die Färsenaufzucht extern durchführen und sind daher nicht vergleichbar mit den anderen Betrieben. In Anhang A-II sind die **Allokationsfaktoren** der 13 ausgewerteten Betriebe nach den Regeln der Massenallokation aufgeführt, der Milch sind 95 % - 100 % der Aufwendungen und Emissionen zuzurechnen. In den landwirtschaftlichen Betrieben kommen zwei bis drei **Endenergieträger** zur Anwendung: Diesel, Elektroenergie und vereinzelt Flüssiggas. Elektroenergie kommt für die Melksysteme inklusive der Kühltechnik zum Einsatz, für die Fütterungstechnik, in der Regel von Kraftfutter, sowie bei der Mehrzahl der Betriebe zum automatisierten Misten der Ställe. Im Sommer kommen Ventilatoren zur Stallklimatisierung hinzu. Flüssiggas dient in insgesamt zwei Betrieben, aber nur in einem der ausgewerteten Betriebe zur Beheizung des Melkstands. Diesel ist wichtigster Endenergieträger für die Pflanzenproduktion sowie für die Tierhaltung (Fütterung und Entmistung). Falls Marktfrüchte

in den Angaben der Endenergieumsätze enthalten sind, erfolgt eine Allokation der Aufwendungen gemäß den Regeln des Kapitels 3.4.1.

Sechs Betriebe geben die Verteilung des Dieselumsatzes auf die Anwendungsbereiche Tierhaltung, Produktion von Futtermittel und Marktfrüchte an, diese sind in Abbildung 4.1.1 grafisch dargestellt. Die Anteile am Gesamtdieselumsatz der jeweiligen Betriebe sind sehr unterschiedlich.

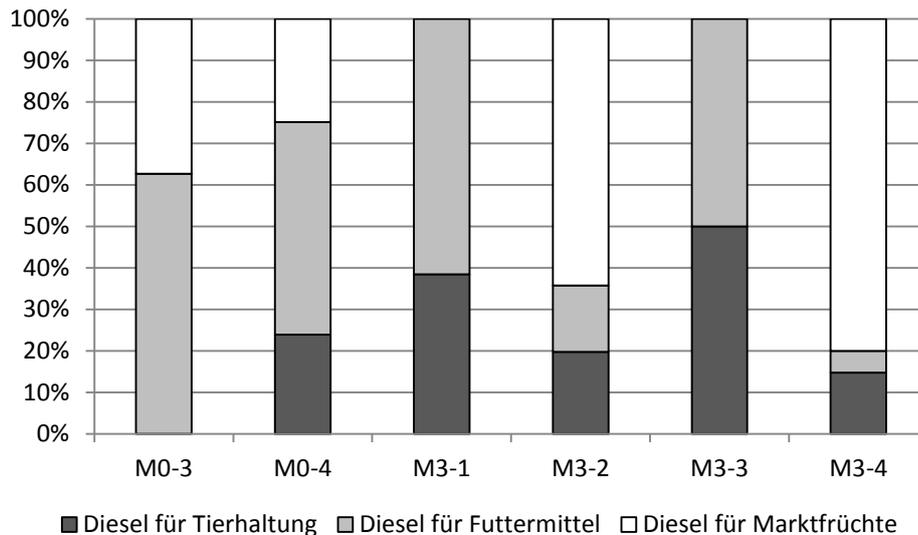


Abb. 4.1.1: Verteilung der Dieselumsätze in den Betrieben (n = 6) nach Anwendungsbereichen

Der gesamte Dieselumsatz für die Milchviehhaltung setzt sich zusammen aus:

1) Diesel für das Tiermanagement

- a) Im Betrieb erfasster Dieselumsatz für die Futterproduktion sowie für die Tierhaltung (Fütterung und Entmistung)
- b) Betriebsfremder Diesel aus Dienstleistungen bei der Futterproduktion und der Produktion von Zukauffutter

2) Transporte zum Betrieb

- a) Transportleistungen für die zugekauften Futtermittel
- b) Personentransporte von Mitarbeitern und Dienstleistern inklusive der Tierkörperbeseitigung.

Der Dieselumsatz für das Tiermanagement (Aufzucht, Milchgewinnung und Futterbereitstellung), ausgedrückt in **Primärenergie**, variiert in den Betrieben von 322.706 bis 4.896.300 MJ/a, der für die Transporte zum Betrieb von 5.358 bis 1.884.188 MJ/a. Der Elektroenergie-

umsatz liegt bei 120.140 bis 1.350.170 MJ/a. Ein Betrieb setzt Flüssiggas in Höhe von rund 9000 MJ/a ein (Anhang A-II, A-III).

Der **spezifische Primärenergieumsatz** der 13 Betriebe (Anhang A-III, A-IV) variiert zwischen 1,02 MJ/kg Milch und 2,78 MJ/kg Milch. Im arithmetischen Mittel ergibt sich ein PE-Umsatz von 1,97 MJ/kg Milch. Der spezifische PE-Umsatz aus Diesel für das Tiermanagement (Tierhaltung und Futterbereitstellung) liegt im Mittel der betrachteten Betriebe bei 1,28 MJ/kg Milch (0,44 bis 2,02 MJ/kg Milch). Der spezifische PE-Umsatz aus Treibstoff für Transporte zum Betrieb beträgt durchschnittlich 0,13 MJ/kg Milch (0,03 - 0,27 MJ/kg Milch). Elektroenergie ist im Durchschnitt in Höhe von 0,53 MJ PE/kg Milch nötig, wobei der minimale Umsatz bei 0,18 PE MJ/kg Milch liegt und der maximale bei 0,86 MJ PE/kg Milch. Der Einsatz von Flüssiggas liegt bei 0,01 MJ PE/kg. Betrieb M3-7 kann als energieeffizientester Betrieb ausgemacht werden. M3-3 hingegen hat einen hohen spezifischen PE-Umsatz.

Der Vergleich der verschiedenen Endenergieträger und die Höhe deren Umsätze in den einzelnen Betrieben zeigen, dass die Betriebe eine unterschiedliche Struktur im Einsatz und Umfang der Endenergieträger aufweisen. Der Einsatz von Gas bei Betrieb M3-3 ist in Abb. 4.1.2 nicht wahrnehmbar, da der spezifische PE-Umsatz sehr gering ist. Betriebe mit niedrigem Treibstoff- oder Elektroenergieumsatz haben nicht zwangsläufig einen geringen Gesamtenergieumsatz. Umgekehrt hat M3-7 den niedrigsten gesamt PE-Umsatz, dies gilt auch für den Dieserverbrauch für das Tiermanagement (Tierhaltung und Futterproduktion). Beim Elektroenergie-Umsatz liegt M3-7 sogar weit niedriger als die anderen Betriebe. Aber der Treibstoffaufwand für Transporte des Betriebs liegt über dem Durchschnitt. M0-1 und M2-3 schneiden hier am niedrigsten ab.

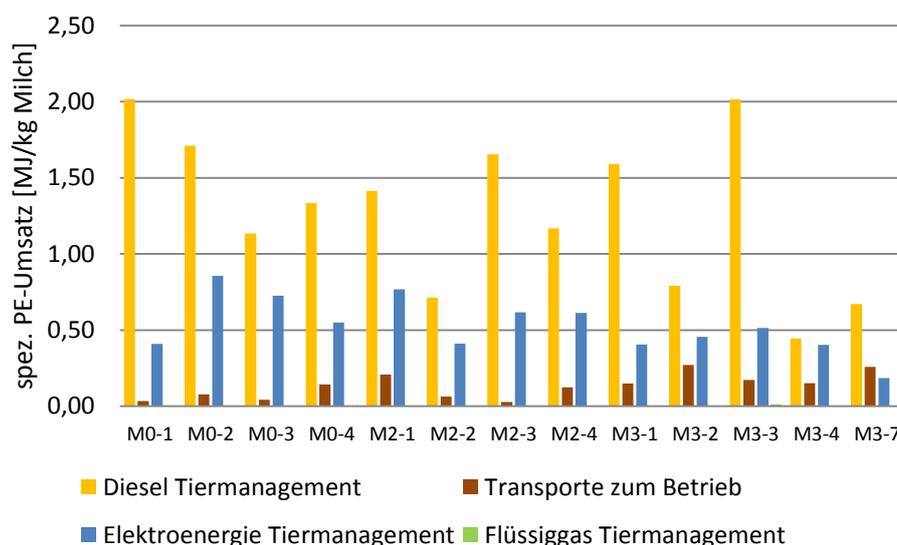


Abb. 4.1.2: Spezifische PE-Umsätze der Betriebe nach Endenergieträgern

Aus den verschiedenen Endenergieträgern resultieren **spezifische THG-Emissionen** in Höhe von 76 - 208 g CO_{2-eq}/kg Milch. Das arithmetische Mittel der 13 Betriebe liegt bei 148 g CO_{2-eq}/kg Milch (siehe Anhang A-IV, A-V und Abb. 4.1.3). Aufwendungen für das Tiermanagement (Futterbereitstellung und Tierhaltung) verursachen 96 (33 - 151) g CO_{2-eq}/kg Milch, Transporte zum Betrieb 10 (2 - 19) g CO_{2-eq}/kg Milch. Durch den Einsatz von Elektroenergie im Betrieb emittieren 40 (14 - 65) g CO_{2-eq}/kg Milch, durch Flüssiggas 1 g CO_{2-eq}/kg Milch.

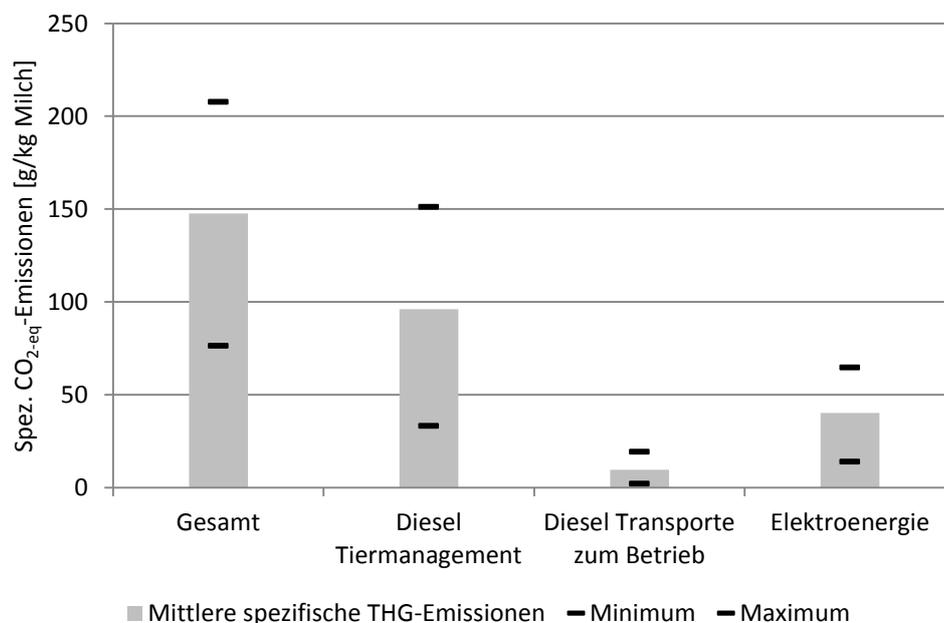


Abb. 4.1.3: Arithmetisches Mittel der spezifischen THG-Emissionen (min.-max.) in der Landwirtschaft (n=13) nach Endenergieträgern

In den landwirtschaftlichen Betrieben entstehen 63 (44 - 82) % der gesamten Emissionen durch Dieselnutzung in der Tierhaltung und 28 (17 - 40) % durch Elektroenergie. Transporte zum Betrieb verursachen 8 % (1 - 22 %) der Emissionen.

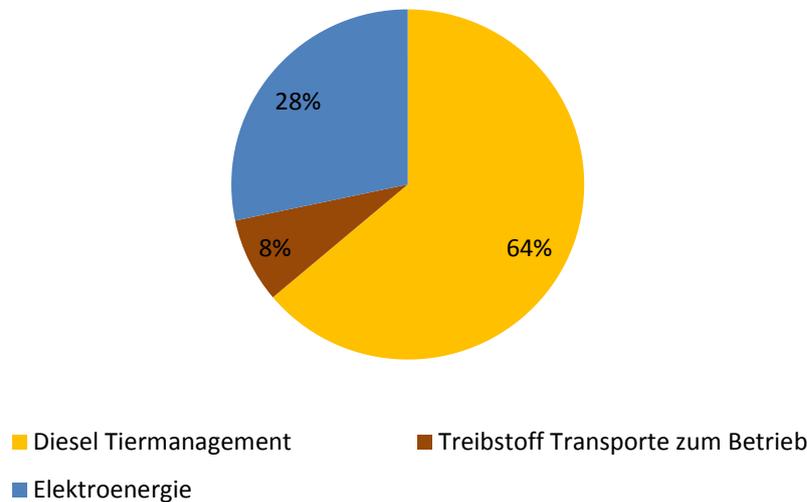


Abb. 4.1.4: Prozentuale Verteilung der Energieaufwendungen in der Landwirtschaft

4.2 Emissionen der Landwirtschaft aus anderen Quellen als Energie

Die Literatur sind nur wenige Studien zur Emission von N_2O in der Milchviehwirtschaft zu finden (siehe Kapitel 2.3.2). Aus einer Studie von *Luo et al. 2007* lassen sich, unter Berücksichtigung des GWP von N_2O mit 289 $kg\ CO_{2-eq}/kg\ N_2O$ (Forster 2007, S. 212), Emissionen in Höhe von 0,2 bis 0,3 $kg\ CO_{2-eq}/kg$ Milch aus den landwirtschaftlich genutzten Böden ableiten (Luo 2008). Methan-Emissionen lassen sich aus der Literatur in Höhe von 73 bis 219 $kg\ CH_4/(Tier*a)$ aus Verdauung und Wirtschaftsdünger ableiten (siehe Kapitel 2.3.2). Unter Berücksichtigung des GWP von 25 $kg\ CO_{2-eq}/kg\ CH_4$ (Forster 2007, S. 212) und einer Milchleistung in Höhe von 8.300 kg/a errechnen sich daraus 0,22 bis 0,66 $kg\ CO_{2-eq}/kg$ Milch. Die angenommene Milchleistung von 8.300 kg/a entspricht der durchschnittlichen Milchleistung der Tiere der vorliegenden Studie. In der Summe ist bei der landwirtschaftlichen Milchproduktion mit Methan- und Lachgas-Emissionen in Höhe von 0,42 bis 0,96 $kg\ CO_{2-eq}/kg$ Milch zu rechnen. Der Allokationsfaktor der untersuchten Betriebe schwankt zwischen 95 und 100 %, daher erfolgt die Zurechnung der Lachgas- und Methan-Emissionen zu 100 % (konservativ) zur Milch.

4.3 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen beim Rohmilchtransport

Transporte von den einzelnen Betrieben

Für die in den Kühltanks der landwirtschaftlichen Betriebe bereitgestellte Rohmilch folgt im nächsten Modul der Transport zur Molkerei. Diese Transporte führen in der Regel Speditionen durch, selten organisiert die Molkerei den Transport durch eigene Fahrzeuge. Die Transportentfernung zwischen den landwirtschaftlichen Betrieben und den Molkereien ist sehr unterschiedlich und somit auch der hierfür aufgebrauchte Primärenergieumsatz.

Nicht repräsentativ für die gesamte verarbeitete Rohmilch in den Molkereien ist die Untersuchung der Transportentfernung der untersuchten Betriebe zur Molkerei. Die Emissionen dieser Betrachtungsweise lassen sich jedoch den untersuchten Landwirten zuordnen, daher erfolgt die Darstellung separat. Für den Milchtransport zur Molkerei resultieren für die 13 ausgewerteten Betriebe PE-Umsätze aus Diesel in Höhe von 10.817 bis 403.756 MJ/a. Der mittlere spezifische PE-Umsatz liegt bei 0,24 MJ/kg (0,01 - 0,83 MJ/kg). Dementsprechend ergeben sich durchschnittliche THG-Emissionen in Höhe von 18 g/kg Milch (1 - 62 g/kg Milch).

Sammelrouten zu den Molkereien

Für drei der betrachteten Molkereien liegen Daten zur Gesamtstrecke der Touren der Tank-sammelwagen und der Masse der transportierten Milch vor. Molkerei M1 verarbeitet für das untersuchte Produkt ausschließlich Milch von einem Landwirt. Molkerei M2 hat die Routen von allen 16 relevanten Betrieben, die Milch für das untersuchte Produkt anliefern, vorliegen. Somit ist die zurückgelegte Strecke für alle Rohmilchtransporte von M2 bekannt. Für Molkerei M4 erfolgt die Datenerfassung direkt bei den Speditionen. Nicht alle Speditionen stellen Daten zur Verfügung, erfasst sind 39,7 % der transportierten Rohmilch. Die Angaben der Speditionen umfassen den jährlichen Treibstoffumsatz für Transporte zu M4, Angaben zur Auslastung der Rückfahrten sowie die angelieferte Masse an Milch. Molkerei M0-SV ist direkt an den landwirtschaftlichen Hof angeschlossen, daher finden keine Transporte statt. Für M3 liegen keine Angaben der 102 zuliefernden landwirtschaftlichen Betriebe vor. Die Rohmilchtransporte zur Molkerei verursachen einen PE-Umsatz pro Jahr von 55.982 MJ bis 12.231.992 MJ/a bzw. einen spezifischen PE-Umsatz von 0,04 - 0,10 MJ/kg Rohmilch (siehe Tab. 4.3.1). Das arithmetische Mittel aus den drei berechneten spezifischen PE-Umsätzen liegt bei 0,06 MJ/kg Milch.

Tab. 4.3.1: Spezifische PE-Umsätze und THG-Emissionen für Rohmilchtransporte

	Masse Rohmilch [kg]	Spez. PE [MJ/kg Milch]	Spez. THG-Emissionen [g/kg]	Bemerkung
M1	1.300.000	0,04	3	Nur ein Betrieb liefert
M2	5.200.000	0,05	4	Alle Routen enthalten
M3	n.n.	n.n.	n.n.	Keine Daten zu den Routen
M4	136.766.760	0,09	7	40 % der transportierten Milch
M0-SV	-	-	-	Keine Transporte

Aus den berechneten Endenergieumsätzen ergeben sich THG-Emissionen für Rohmilchtransporte von durchschnittlich 5 g CO_{2-eq}/kg Milch, wobei die Werte von 3 - 7 g CO_{2-eq}/kg Milch reichen (siehe Tab. 4.3.1).

4.4 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen bei der Verarbeitung in Molkereien

Die Stufe der Milchverarbeitung stellen fünf Molkereien dar. Gegenstand der Untersuchung ist jeweils das Produkt Trinkmilch. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2009, die der Molkerei M4 auf 2008. Die Molkereien nutzen unterschiedliche Verfahren, um die Haltbarkeit der hergestellten Trinkmilch zu erreichen. Sie unterscheiden sich zudem in der Breite der produzierten Produktpalette.

M1

Untersuchungsgegenstand bei Molkerei M1 ist die abgefüllte, ultrahocherhitzte Milch (UHT-Milch). Eine breite Produktpalette unterschiedlicher Milchmischgetränke und Spezialgetränkemischungen ergänzen die Herstellung von UHT-Milch. Die Untersuchung erfolgt ausschließlich für die Bearbeitung und Abfüllung der 1.300 t UHT-Milch einer regionalen Marke. Zwei verschiedene **Endenergieträger** kommen hierfür zum Einsatz, Elektroenergie und Erdgas. Erdgas dient der Dampferzeugung, der Dampf kommt zur Erhitzung der Milch und zur Sterilisation der Anlagen zum Einsatz. Die Aufwendungen für die Beheizung der Büroräume sind vernachlässigbar gering (Schätzungsweise ca. 5 % der gesamten Gasmenge des Unternehmens). Elektroenergie ist Endenergieträger für sämtliche Bearbeitungsschritte, für Pumpen, Rührer, Maschinen und insbesondere der Erzeugung von Eiswasser zur Kühlung. Insgesamt benötigt die Molkerei 4.842.630 MJ **Primärenergie** pro Jahr, bezogen auf die funktionelle Einheit ist dies ein spezifischer PE-Umsatz von 3,7 MJ/kg Milch. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Endenergieträger beträgt die **spezifische THG-Emissionen** für die Produktverarbeitung 252 g/kg Milch. 119 g CO_{2-eq}-Emissionen entstehen durch die Dampferzeugung aus Gas. Die übrigen 133 g entstammen der

Elektroenergie, 82 g der Eiswasserproduktion, 2 g der Druckluftherzeugung, 48 g CO_{2-eq}-Emissionen der Inbetriebnahme von Maschinen und sonstigen Aufwendungen von Elektroenergie.

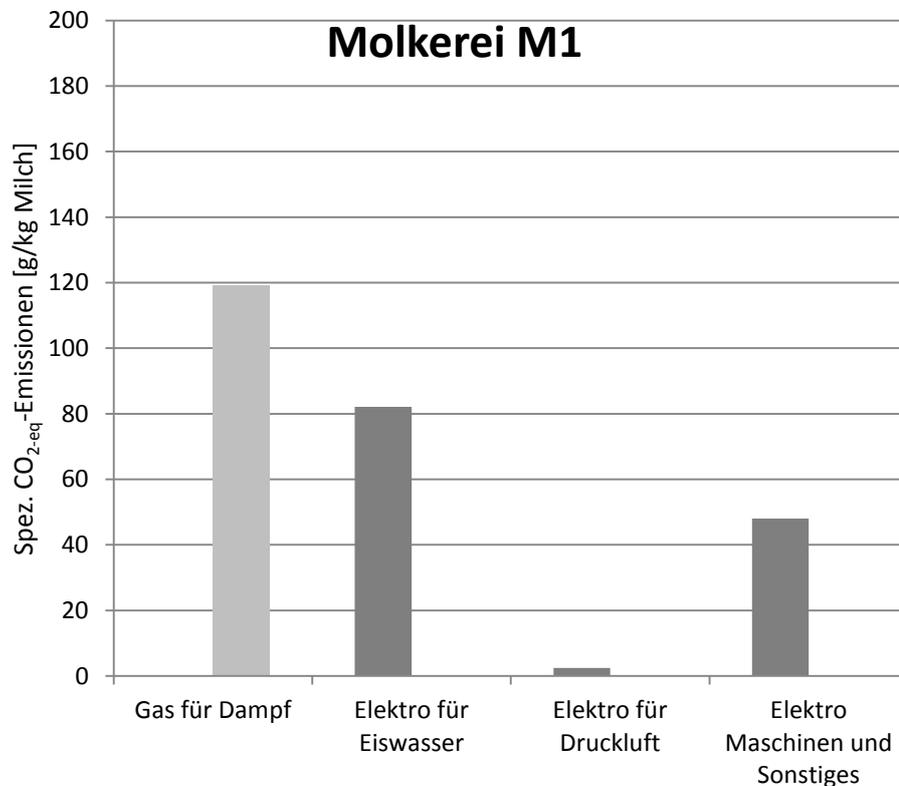


Abb. 4.4.1: THG-Emissionen in Molkerei M1 nach Anwendungsbereichen

20 % der gesamten THG-Emissionen sind verursacht durch die Kühlung nach der Pasteurisierung (38 % der Emissionen aus Elektroenergie). Weitere 15 % durch die Pasteurisierung selbst (32 % der Emissionen aus Gas). Die Bewertung der Ultraheerhitzung ergibt dagegen nur 5 % der gesamten THG-Emissionen (11 % der Emissionen aus Gas). Die bei der Abfüllung bereitgestellte Kälte verursacht 10 % der Emissionen, der Einsatz von Elektroenergie bei der Ultraheerhitzung und Homogenisierung weitere 3 %.

M2

Der ermittelte spezifische Primärenergieumsatz sowie die spezifischen THG-Emissionen beziehen sich auf die gesamte Produktion von Molkereiprodukten incl. Versandmilch als Nebenprodukt und somit nicht ausschließlich auf die Pasteurisation und Verpackung der insgesamt 7.071.000 kg Frischmilch aus ökologischer, gentechnikfreier oder konventioneller Bewirtschaftung. Die Frischmilchabfüllung macht 17 % der Molkereiprodukte aus, die das Werk verlassen (28 % ohne Einbeziehung der Versandmilch). Untersuchungsgegenstand sind

5.200 t gentechnikfreie Frischmilch für ein kooperierendes Handelsunternehmen. Die Ermittlung der spezifischen Primärenergieumsätze und der THG-Emissionen erfolgt wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben durch Anwendung der Massenallokation. Wie in Molkerei M1 kommen Elektroenergie und Erdgas als **Endenergieträger** zum Einsatz. Auch hier dient Erdgas zur Erzeugung des Dampfes, der für die Erhitzungs- und Reinigungsprozesse nötig ist. Nicht einbezogen ist Erdgas für die Beheizung von Büroräume und die Bereitstellung von Warmwasser in den Sanitärräumen. Alle übrigen Prozesse erfordern Elektroenergie. Abbildung 4.3.2 zeigt den Primärenergieumsatz nach Endenergieträgern. Der gesamte **PE-Umsatz** im Betrieb beträgt 31.101.429 MJ/a, hinzu kommt die Nutzung von Diesel für Anlieferungen von Primärverpackungen und Folien mit einem PE-Umsatz von 7.683 MJ/a. Unter Berücksichtigung der Masse der verarbeiteten Produkte und in Bezug auf die funktionelle Einheit ergibt sich insgesamt ein spezifischer PE-Umsatz von 0,74 MJ/kg Milch im Betrieb und 0,005 MJ/kg Milch für den Diesel aus Transporte des Verpackungsmaterials. Umgerechnet in spezifische **THG-Emissionen** ergeben sich 50 g CO_{2-eq}/kg Milch für die Prozesse im Betrieb, davon 26 g aus Elektroenergie und 23 g aus Gas. Die Anlieferungen von Verpackungsmaterial verursacht Emissionen in Höhe von 0,4 g CO_{2-eq}/kg Milch, dieser Wert ist in Abb. 4.4.1 nicht wahrnehmbar.

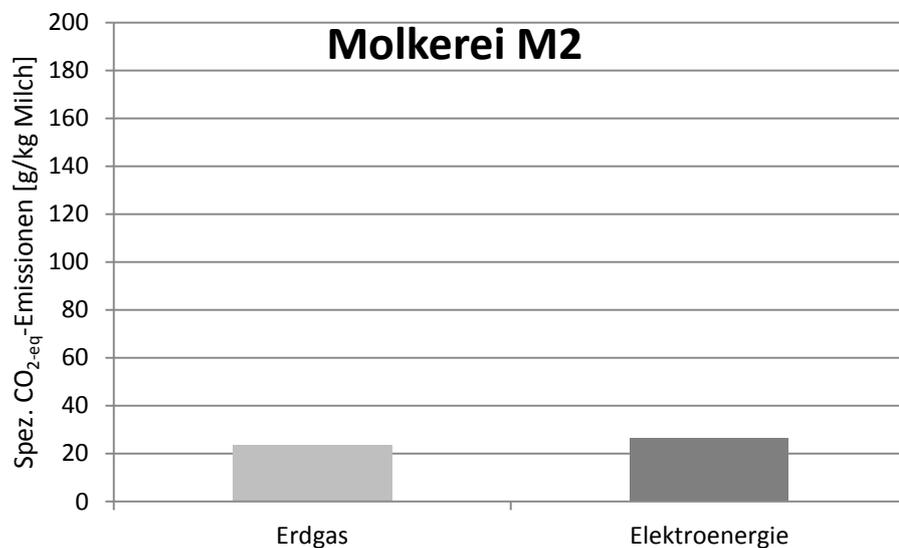


Abb. 4.4.2: THG-Emissionen in Molkerei M2 nach Endenergieträgern

M3

Molkerei M3 stellt ausschließlich UHT-Milch her. Der gesamte Energieaufwand der Molkerei fließt somit in die Standardisierung, Homogenisierung, Ultrahocherhitzung, Verpackung und Lagerung sowie in die damit verbundenen Arbeiten. Als Nebenprodukt entsteht Rahm, der mittels Massenallokation Berücksichtigung findet (vgl. Kapitel 3.4.1).

Als **Endenergieträger** kommen Heizöl und Elektroenergie zum Einsatz. Das Heizöl wird zur Erzeugung von Dampf benötigt, Elektroenergie hauptsächlich für das Betreiben der Maschinen und Anlagen der Milchverarbeitung, aber auch für die Erzeugung von Druckluft und Eiswasser. Die Lagerung der verpackten Milch erfolgt ungekühlt, die Lagerhalle muss nur an heißen Sommertagen temperiert werden. Abbildung 4.3.3 zeigt den **Primärenergieumsatz** der einzelnen Anwendungsbereiche und Endenergieträger. Insgesamt benötigt die Herstellung von UHT-Milch in diesem Werk 63.130.856 MJ/a. Transporte der Primärverpackung beanspruchen 1.948.036 MJ PE/a, die der Umverpackung 1.019.079 MJ PE/a. Nach Massenallokation des überschüssigen Rahms ergibt sich in Bezug auf die funktionelle Einheit ein spezifischer PE-Umsatz von 0,42 MJ/kg Milch im Betrieb und jeweils weitere 0,01 MJ/kg Milch für die Transporte der Primär- und der Umverpackung. Die spezifische **THG-Emissionen** für die Prozesse im Betrieb liegt insgesamt bei 32 g CO_{2-eq}/kg Milch. Davon stammen 19 g aus der Nutzung von Heizöl und 13 g aus dem Einsatz von Elektroenergie. Davon sind 0,1 g für die Produktion von Eiswasser, 0,2 g für die Erzeugung von Druckluft. Die Transporte des Verpackungsmaterials verursachen weitere 1 g, die der Umverpackung 0,5 g CO_{2-eq}-Emissionen. Die letzten beiden Werte sind nicht in Abb. 4.4.3 eingetragen.

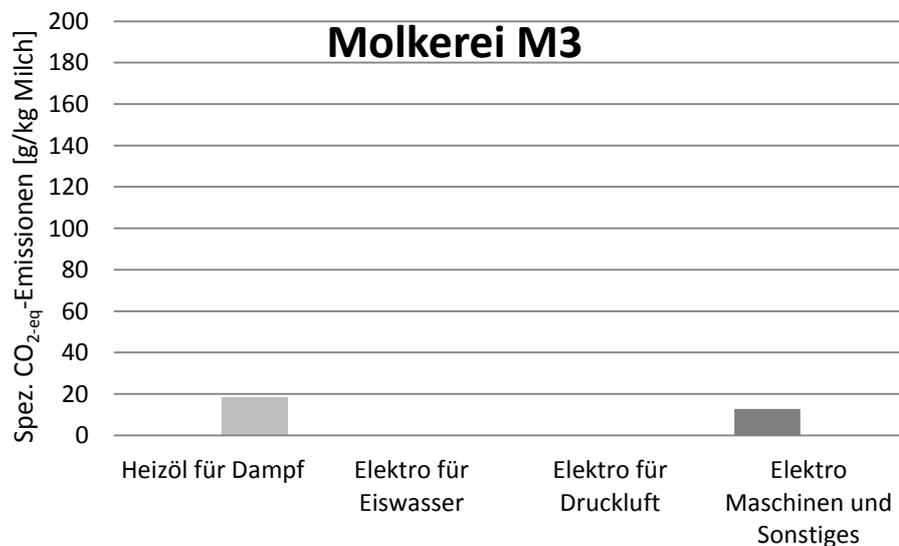


Abb. 4.4.3: THG-Emissionen in Molkerei M3 nach Anwendungsbereichen

M4

Molkerei M4 stellt neben rund 137.000 t ESL-Milch weitere Molkereiprodukte her. Dennoch ist eine Massenallokation größtenteils nicht nötig, da für die Ermittlung des Energieumsatzes und der daraus resultierenden THG-Emissionen eine Datenerfassung spezifisch für die Prozesse der ESL-Milch Herstellung erfolgt (Siehe Kapitel 3.4.1).

Als **Endenergieträger** stehen Erdgas und Elektroenergie zur Verfügung. Das Erdgas dient der Dampferzeugung zur Sterilisation der Anlagen und für die Erhitzung von Milch. Zur Erhitzung kommen zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz, zum einen Wärmetauscher mit heißem Wasser und zum anderen direkte Dampf injektion. Elektroenergie findet Einsatz bei allen Maschinen (Zentrifugen, Standardisierungsanlage, Homogenisator, Verpackungsanlagen) und Komponenten (Pumpen, Rührwerke und Kühlturmventilatoren) sowie Transportbändern und innerbetrieblichen Elektrofahrzeugen (Hochregallager, Hubwagen). Einsatzorte für Elektroenergie sind des Weiteren Kondensatoren zur Erzeugung von Kälte und Kompressoren zur Druckluftherzeugung. Die Bewertung der Kompressoren erfolgt unter der Annahme, dass die Verarbeitung der Rohmilch für alle Produkte und Nebenprodukte dieselbe Menge an Druckluft erfordert. Beim Prozessschritt „Kühl Lagerung der verpackten Ware“ ist eine Massenallokation nötig, da die Einlagerung der verpackten Milch in einem Kühlhaus für verschiedene Waren erfolgt. Die Zuordnung von Elektroenergie für Licht und Verwaltung geschieht ebenfalls über Massenallokation (vgl. Kapitel 3.4.1).

Der gesamte **Primärenergieumsatz** für die Produktion der ESL-Milch liegt bei 131.695.482 MJ/a. Bezieht man diesen Wert auf die funktionelle Einheit, ergibt sich ein spezifischer PE-Umsatz in Höhe von 1,38 MJ/kg Milch und entsprechend 97 g CO_{2-eq}/kg Milch.

30 g CO_{2-eq}/kg Milch entstehen aus der Verwendung von Erdgas, 67 g aus Elektroenergie. Wobei der Eiswasserproduktion 3 g, der Druckluftherzeugung 3 g, der Endproduktkühlung 45 g und sonstigen Maschinen und Einrichtungen 17 g zuzurechnen sind.

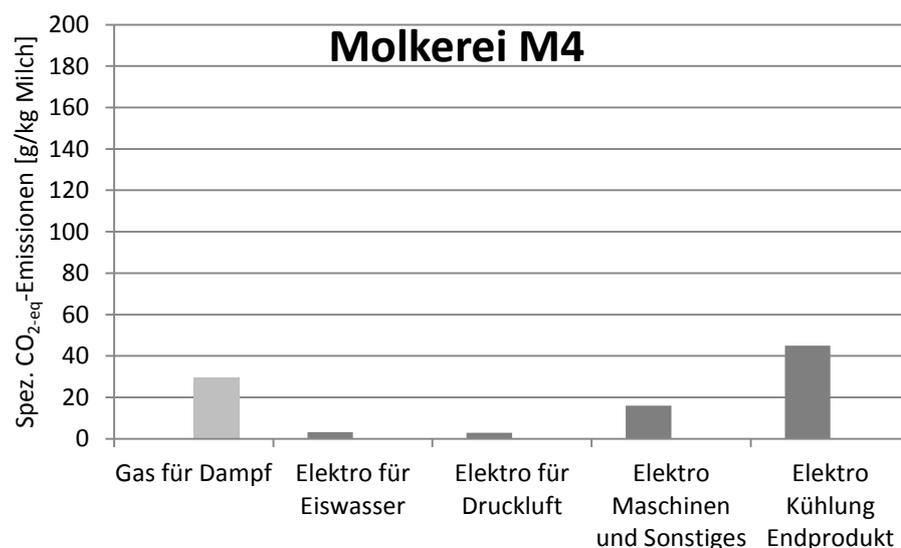


Abb. 4.4.4: THG-Emissionen in Molkerei M4 nach Anwendungsbereichen

Die Kühlagerung des Endprodukts hat mit 46 % den höchsten Anteil (67 % der Emissionen aus Elektroenergie) an den gesamten THG-Emissionen der Trinkmilch von M4, gefolgt von der Hoherhitzung mit 27 % der gesamten THG-Emissionen (88 % der Emissionen aus Gas). Ebenfalls von Bedeutung ist der Elektroenergieeinsatz des Homogenisierers mit 7 % der gesamten THG-Emissionen. Es folgen die Prozessschritte der Pasteurisation und der Eiswasserbereitstellung mit jeweils 5 % der Emissionen, sowie die Abfüllung mit 4 % der Emissionen.

M0-SV

Der Betrieb M0-SV ist ein Sonderfall, es handelt sich um einen Selbstvermarkter, der nur 17 % der verkehrsfähigen Rohmilch an eine Molkerei liefert. Den Hauptteil (81 %) der Rohmilch verarbeitet er im angrenzenden Betrieb selbst zu Molkereiprodukten der weißen Linie (Frischmilch in zwei Fettstufen, Schlagsahne, Naturjoghurt, Sauerrahmbutter und reine Buttermilch). Als Endenergieträger kommen Heizöl zur Warmwasserbereitung und Elektroenergie für die übrigen Verarbeitungsschritte (Milcherhitzer – Pasteurisierung u. Zentrifuge mit elektrischer Beheizung, Eiswasserkühlung, Spülmaschine, Kühlzelle, Butterfass) zum Einsatz. Insgesamt benötigt M0-SV hierfür PE in Höhe von 767.324 MJ/a. Nach Massenallokation der Milch und der übrigen Molkereiprodukte ergibt sich ein spezifischer PE-Umsatz von 1,34 MJ/kg Milch und spezifische THG-Emissionen in Höhe von 101 g/kg Milch. Abbildung 4.4.5 zeigt die Verteilung der spezifischen THG-Emissionen auf die eingesetzten Endenergieträger, 57 g CO₂-eq emittieren durch die Verwendung von Elektroenergie, 45 g durch Heizöl. Die Vermarktung der Produkte erfolgt über den eigenen Lieferservice.

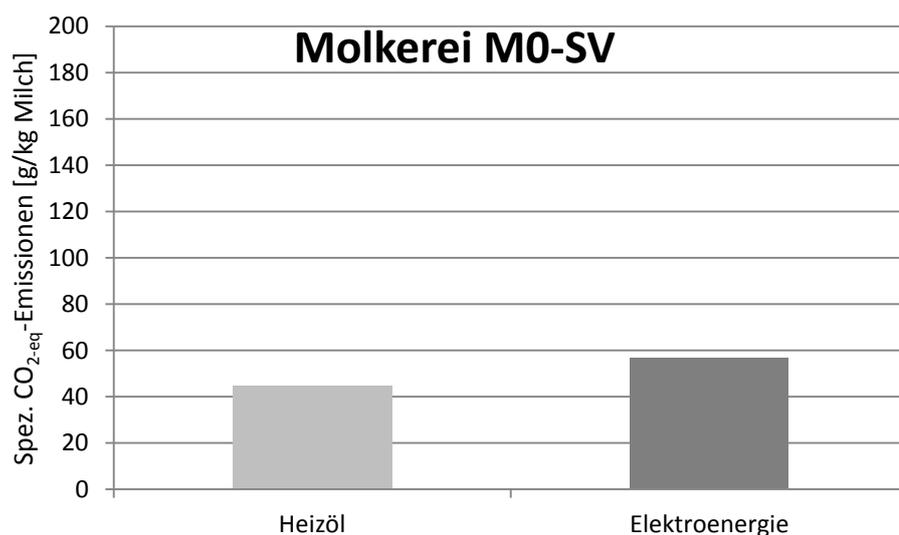


Abb. 4.4.5: THG-Emissionen in Molkerei M0-SV nach Endenergieträgern

Zusammenfassung Molkereien

Bei der Gegenüberstellung der Primärenergieumsätze der verschiedenen Molkereien zeigt sich eine große Variationsbreite zwischen den unterschiedlichen Milchsorten, insbesondere aber auch zwischen den beiden UHT-Milch-Produktionsstandorten (siehe Abb. 4.4.6). Die Primärenergieumsätze in den Molkereien reichen von 0,42 MJ/kg Milch bis 3,73 MJ/kg Milch (im Mittel 1,52 MJ/kg Milch). Für die Anlieferung von Verpackungsmaterial liegen nur Angaben von zwei Molkereien vor. Sie belaufen sich auf rund 0,01 MJ/kg Milch für die Primärverpackung (n=2) bzw. 0,02 MJ/kg Milch für Primär- und Sekundärverpackung (n=1). Tabelle 4.4.1 gibt eine Übersicht über die Aufwendungen und Emissionen der fünf Molkereien.

Tab. 4.4.1: PE-Umsätze und THG-Emissionen in den Molkereien

	Milchsorte	PE im Betrieb [MJ/a]	Spez. PE im Betrieb [MJ/kg Milch]	Spez. THG-Emissionen im Betrieb [g/kg Milch]
M1	UHT-Milch	4.842.630	3,73	252
M2	Frischmilch	31.101.429	0,74	50
M3	UHT-Milch	63.130.856	0,42	32
M4	ESL-Milch	131.695.482	1,38	97
M0-SV	Frischmilch	767.324	1,34	101

Die Molkereien M1 und M3 produzieren UHT-Milch, M1 mit resultierenden Emissionen in Höhe von 252 g CO_{2-eq}/kg Milch, M3 mit 34 g CO_{2-eq}/kg Milch. Die Daten von Molkereien

M2 und M0-SV beziehen sich auf die Produktion von Frischmilch, bei M2 entstehen 53 g CO_{2-eq}/kg Milch, bei M0-SV 101 g CO_{2-eq}/kg Milch. Molkerei M4 stellt ESL-Milch her, dabei emittieren 100 g CO_{2-eq}/kg Milch. Abbildung 4.4.6 gibt eine Übersicht über die eingesetzten Endenergieträger und deren spezifische THG-Emissionen in den einzelnen Molkereien.

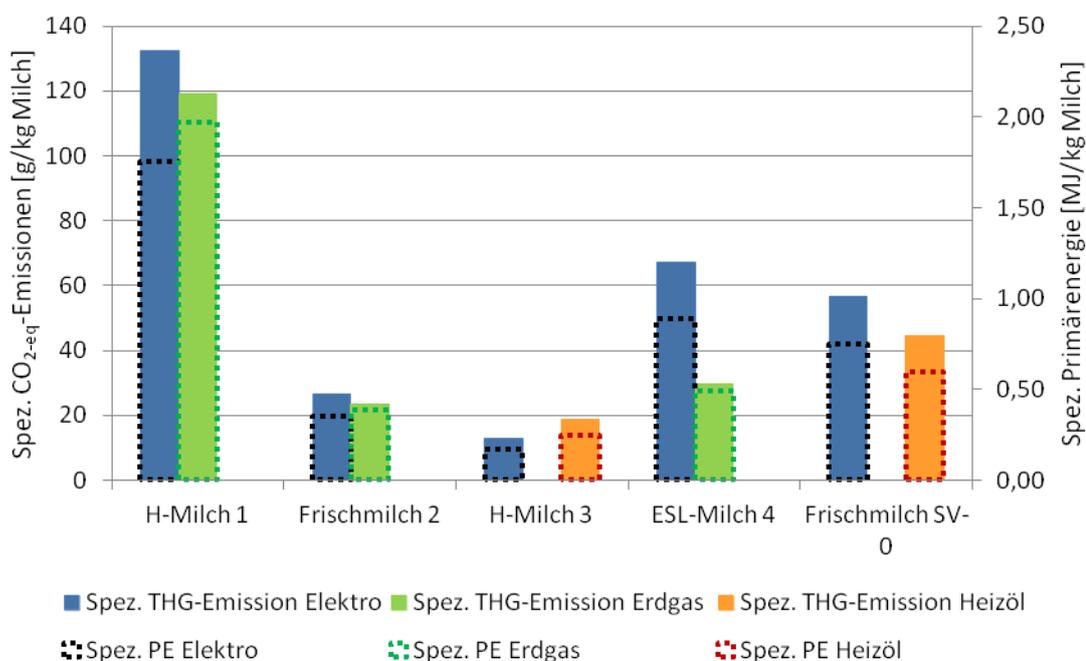


Abb. 4.4.6: Spezifische THG-Emissionen und PE-Umsätze in den Molkereien nach Endenergieträgern

Tabelle 4.4.2 differenziert die spezifischen THG-Emissionen nach ihren Anwendungsgebieten bei der Herstellung von Trinkmilch. Die fossilen Endenergieträger Gas bzw. Heizöl sind von vergleichbarer Bedeutung wie Elektroenergie. Nur Molkerei M4 hat eine deutlich höhere Emission aus Elektroenergie als aus Gas.

Tab. 4.4.2: Spezifische THG-Emissionen in den Molkereien nach Anwendungsgebieten

	THG-Emissionen [g CO _{2-eq} /kg Milch]				
	Aus Gas / Heizöl (1)	Aus Elektroenergie			
	Für Dampf / Warmwasser (2)	Für Eiswasser	Für Druckluft	Für Maschinen und Sonstiges	Für die Kühlung Endprodukts
M1	119	82	2	48	-
M2	23	26			
M3	19 ⁽¹⁾	0	0	13	-
M4	30	3	3	17	45
M0-SV	45 ^{(1),(2)}	57			

4.5 Primärenergieeinsatz und THG-Emissionen der Distribution

Distribution zum Zentrallager LEH

Die Distribution der Waren von den Molkereien zu den Zentrallägern des LEH führen überwiegend Speditionen aus. Für Molkerei M1 und M2 liegen keine Auskünfte zu den Leerfahrten und Dieselumsätzen der Speditionen vor. Für sie gelten die Angaben zur Auslastung der Fahrzeuge der Speditionen von M3 (Prott 2011). Für die fehlenden Angaben über den Dieselumsatz für den Kühltransport der Frischmilch von M2 zum Lager des LEH können die Angaben von Würz 2011, über den Dieselumsatz für die Distribution vom Lager zu den Filialen, übernommen werden (Würz 2011). Der Kühltransport umfasst weitere Molkereiprodukte, diese finden mittels Massentallokation und einem Allokationsfaktor von 0,28 Berücksichtigung. Samstags liefert M2 den LEH selbst an, daher ist die Rückfahrt eine Leerfahrt. Für Molkerei M4 liegen keine Daten zur Distribution vor. Molkerei M0-SV hat einen Lieferservice zum Endkunden, Ergebnisse hierzu sind separat im übernächsten Abschnitt dargestellt. Die spezifischen Primärenergieumsätze der Distribution der drei Molkereien reicht von 0,19 (M3), 0,25 (M1) bis 0,27 MJ/kg Milch (M2). Zu berücksichtigen ist dabei der gekühlte Transport von Frischmilch (M2).

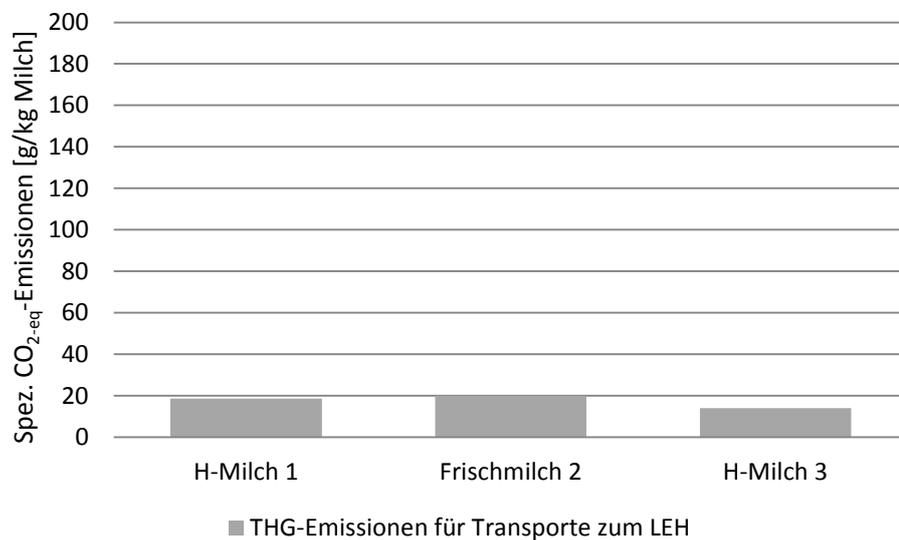


Abb. 4.5.1: Spezifische THG-Emissionen bei der Distribution der Trinkmilch

Abbildung 4.5.1 zeigt die THG Emissionen der Distribution zu den Lagern des LEH ausgehend von den drei Molkereien. Die mittleren spezifischen THG-Emissionen aus Transporten der UHT-Milch liegt bei 17 g/kg Milch (UHT-Milch 3: 14 g/kg, UHT-Milch 1: 19 g/kg

Milch). Kühltransporte der Frischmilch 2 verursachen 20 g CO₂-eq/kg Milch. Tabelle 4.5.1 zeigt die Masse an ausgelieferter Milch und die resultierenden spezifischen THG-Emissionen.

Tab.: 4.5.1: PE-Umsätze und THG-Emissionen aus den Sammelrouten der Rohmilchabholung

	Milchsorte	Masse transportierter Milch [kg/a]	PE-Umsatz [MJ/a]	THG-Emissionen [g CO ₂ -eq/kg Milch]
M1	UHT-Milch	374.400	92.903	19
M2	Frischmilch	1.492.050	1.447.763	20
M3	UHT-Milch	151.647.000	28.338.095	14
M4	ESL-Milch	n.n.	n.n.	n.n.
M0-SV	Frischmilch	Lieferservice		

Distribution zu den Filialen

Für die Frischmilch von Molkerei M2 sind ergänzend zur Distribution zum Zentrallager des LEH die Kühltransporte zu den einzelnen Filialen erfasst. Auch hier erfolgt die Zuordnung der PE-Umsätze zur Frischmilch und den sonstigen kühl ausgelieferten Waren über Massenallokation. Die transportierte Masse an Kühlwaren beträgt im Jahr rund 162 t. Der Dieselumsatz für die Belieferung der Filialen liegt bei 361.400 MJ PE/a. Dies entspricht einem spezifischen PE-Umsatz von 0,24 MJ/kg Milch und spezifischen THG-Emissionen von 18 g/kg Milch.

Lieferservice zum Endkunden

Betrieb M0-4 verarbeitet und vermarktet seine Rohmilch größtenteils selbst. Ein Weg der Selbstvermarktung ist die Auslieferung an Privathaushalte mittels eigenen Fuhrparks (Kleintransporter und Personenkraftwagen). Somit entfallen die Distribution von der Molkerei, über das Zentrallager des LEH, in die Filialen sowie der Einkauf durch den Endkunden im LEH. Die mit Dieselkraftstoff betriebenen Fahrzeuge verursachen im Jahr einen Primärenergieumsatz von rund 760.000 MJ, bzw. einen spezifischen PE-Umsatz von 1,33 MJ/kg Milch. Die Auslieferung verursacht somit spezifische THG-Emissionen in Höhe von 115 g/kg Milch.

4.6 Emissionen über die Prozesskette der Milchbereitstellung

Die spezifischen PE-Umsätze und THG-Emissionen der Landwirtschaft, der Molkerei und des Lieferservices liegen in einer Größenordnung (siehe Tabelle 4.6.1). Die Transporte der Rohmilch sowie der verpackten Trinkmilch liegen um ca. eine Zehnerpotenz darunter. Die THG-Emissionen aus anderen Quellen als Energie, die Methan- und Lachgas-Emissionen in der Landwirtschaft, nehmen einen bedeutenden Anteil an den gesamten Emissionen ein. Insgesamt verursacht die Bereitstellung von Trinkmilch von der Landwirtschaft bis zum Handel

Emissionen aus der Nutzung von Energie zwischen 140 und 560 g CO_{2-eq}/kg Milch. Unter Zurechnung der literaturgestützten Emissionen von Methan und Lachgas aus der Milchviehhaltung ist mit Emissionen in Höhe von 560 g bis 1520 g CO_{2-eq}/kg Milch zu rechnen.

Tab. 4.6.1: Übersicht aller spezifischen PE-Umsätze und THG-Emissionen der gesamten Prozesskette der Milchbereitstellung von der Landwirtschaft bis zum Handel

Module	PE-Umsätze	THG-Emissionen
Landwirtschaft (n=13)	1,99 (1,02 – 2,78) MJ/kg	148 (76 – 208) g/kg
Literatur "non-energy" Emissionen	Aus anderen Quellen als Energie	420 - 960 g/kg
Transport 1-L (n=13) alternativ: Transport 1-M (n=3)	0,25 (0,01 – 0,83) MJ/kg alternativ: 0,06 (0,04 – 0,10) MJ/kg	18 (1 – 62) g/kg alternativ: 5 (3 – 7) g/kg
Molkerei (n=5) Transport Verpackungsmaterial (n=1)	1,52 (0,42 – 3,73) MJ/kg 0,02 MJ/kg	106 (32 – 252) g/kg 2 g/kg
Transport 2 (n=3)	0,25 (0,19 – 0,31) MJ/kg	18 (14 – 20) g/kg
Transport 3 (n=1)	0,24 MJ/kg	18 g/kg
Endkunde Makrostatistik		279 g/kg
Endkunde am PoS	2 (0-36) MJ/kg	124 (0-2427) g/kg (n=401) 265 g/kg (n=184; nur PKW)
Endkunde Tagebuch	4 (0-116) MJ/kg	293 (0-8830) g/kg (n=20)
Lieferservice (2429 Stopps/a)	1,33 MJ/kg	115 g/kg

Transport 1-L: Rohmilchtransport ausgehend von den einzelnen untersuchten landwirtschaftlichen Betrieben

Transport 1-M: Rohmilchtransport über Sammelrouten der Molkereien

Transport 2: Distribution der verpackten Milch von der Molkerei zu den Zentrallagern des LEH

Transport 3: Distribution der verpackten Milch vom Lager zum „Point of Sale“

5 Diskussion

5.1 Vergleich mit Literaturdaten

Als **funktionelle Einheit** ist in der Literatur überwiegend 1 kg ECM (energiekorrigierte Milch) zugrunde gelegt. In der vorliegenden Studie ist die Masse an erzeugter Milch nach einer solchen Korrektur gemäß Gleichung 5.1.1 von *Sjaunja et al. 1990* bis zu 3 % höher (n=4) und 5 % niedriger (n=3) als die absolute Masse Rohmilch. Ausreißer ist ein Betrieb mit einer um 12 % niedrigeren Masse nach Energiekorrektur. Da nicht alle Landwirte den Fett- und Proteingehalt ihrer Milch angeben (n=8), wird diese Gewichtung nicht durchgeführt.

$$\text{ECM} = 0,25 * m_{\text{Milch}} + 12,2 * m_{\text{Fett}} + 7,7 * m_{\text{Protein}} \quad (\text{Gl. 5.1.1}) \text{ (Sjaunja 1990)}$$

ECM Masse der "energy corrected milk" [kg]

m_{Milch} Masse der Milch [kg]

m_{Fett} Fettgehalt der Milch [kg]

m_{Protein} Proteingehalt der Milch [kg]

Die in der Literatur gezogenen **Systemgrenzen** unterscheiden sich zum Teil von der hier vorliegenden Studie. Einige der in Kapitel 2.3 aufgeführten Studien schließen auf Stufe der Landwirtschaft die vorgelagerte Dünge- und Pflanzenschutzmittelproduktion, zum Teil auch die Saatgutproduktion mit ein. Für die Datenerhebung dienen jeweils Daten aus der Literatur (sekundäre Datenquellen). Dies ist bei der vorliegenden Studie nicht vorgesehen, da das Ziel besteht, möglichst wenige Sekundärdaten zu nutzen. Außerdem geben die befragten Betriebe die Menge eingesetzter Pflanzenschutz- und Düngemittel zum Großteil nicht an. Dies gilt auch für die Stufe der Molkereien, hier sind die Aufwendungen für die Produktion von Reinigungsmitteln nicht enthalten.

Zur **Prüfung der Angaben auf Plausibilität** erfolgt auf der Stufe der landwirtschaftlichen Betriebe zum einen ein Vergleich der Erträge aus Futteranbau und Futterzukauf mit den Fütterungsregimen der Betriebe, zum anderen eine Gegenüberstellung der angegebenen Dieselumsätze zur Futterproduktion mit den oben genannten Daten des KTBL "Betriebsplanung Landwirtschaft" (vgl. Kapitel 3.6.2) (KTBL 2011). Die erhobenen Dieselumsätze weichen um den Faktor 0,8 bis 1,7 von den berechneten ab, wobei die mit KTBL Daten errechneten Umsätze größtenteils höher liegen als die vom Betrieb angegebenen Werte. Betrieb M3-4 gibt einen auffallend niedrigen Wert für den Dieselumsatz zur Futterproduktion an, eventuell sind die Aufwendungen für Erbsen und Gerste nicht enthalten. Die weiteren Ausführungen beziehen sich daher auf die berechneten Werte der Futtermittelproduktion nach KTBL.

Aus den in Kapitel 2.3.3 vorgestellten **Studien zur Landwirtschaft** lassen sich durchschnittliche Treibhausgasemissionen der Milchviehhaltung in Höhe von 1,35 (0,46 - 2,0) kg CO₂-eq/kg Milch ableiten. In der hier vorgestellten Studie ergeben sich 0,08 - 0,21 CO₂-eq/kg Milch für die ermittelten Energieaufwendungen. Hinzu kommen 0,6 bis 0,8 kg CO₂-eq-Emissionen/kg Milch aus Methan- und Lachgas-Emissionen. Insgesamt sind demnach 0,5 bis 1,2 kg CO₂-eq/kg Milch anzunehmen. Diese Werte liegen in der Bandbreite der aktuellen Literatur.

Wenige Studien messen **die Methan und Lachgasemission** in der Milchviehhaltung. Die Studien, die sich mit einer Ökobilanz oder der Berechnung eines Carbon Footprints den Emissionen der Milchwirtschaft nähern, ermitteln diese mittels Faktoren nach dem IPCC oder mittels Ökobilanz-Datenbanken, die aus Einzelstudien bedient werden. Nach dem IPCC sind zwei verschiedene Verfahren möglich. Im einfachen Modell (tier 1) erfolgt die Hochrechnung über Standardfaktoren, die für die verschiedenen Regionen der Welt variieren. Im verbesserten Modell (tier 2) stehen Gleichungen zur Verfügung, die mit Daten auf Landes- und Kreisebene zu berechnen sind (Haenel 2012; IPCC 2006; UBA 2011a).

Im Review von *de Boer et al. 2003* ist die prozentuale Verteilung der Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O angegeben. Die Methan-Emission liegt demnach zwischen 48 und 65 %. Die in der vorliegenden Studie angenommenen Emissionen nehmen 52 % der Gesamtemissionen ein, und liegen somit in der Spannweite von *de Boer et al. 2003*. Dies gilt auch für die Lachgas-Emission, sie liegt nach *de Boer et al.* bei 9-32 %, in der vorliegenden Studie resultieren die angenommenen Werte in 30 % der gesamten Emissionen (siehe Abbildung 5.1.1) (De Boer 2003).

THG-Emissionen

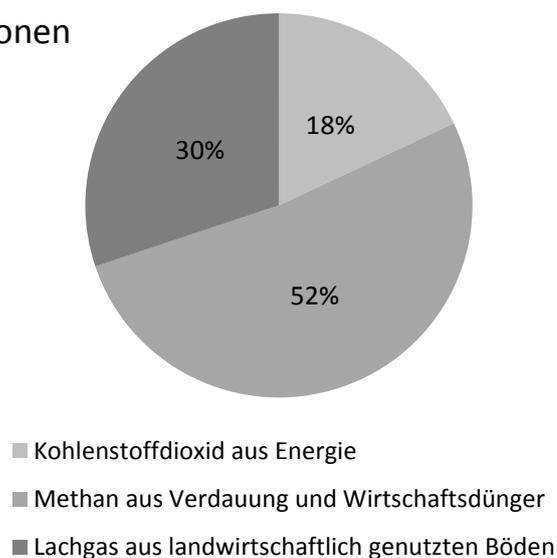


Abb. 5.1.1: Verteilung der THG-Emissionen der vorliegenden Arbeit nach ihren Quellen

Eine **Plausibilitätsprüfung ist auf Stufe der Molkereien** insbesondere für die beiden Prozessanalysen wichtig, da hier die Gefahr besteht, Prozessschritte falsch zuzuordnen. Die Erzeugung von Dampf erfordert in den vorgestellten Betrieben M1, M3 und M4 Primärenergie aus Gas bzw. Heizöl in einer plausiblen Größenordnung von 2.800 MJ/t - 3.400 MJ/t Dampf. *Grönroos et al. 2006* ermitteln für die der Landwirtschaft nachgelagerten Prozesse 0,59 MJ/l Milch aus der Nutzung von Elektroenergie. Dieser Wert liegt in der Größenordnung von Molkerei M4 und M0-SV, M2 und M3 liegen darunter, M1 deutlich darüber. *Ramírez et al. 2006* nehmen für europäische Betriebe an, dass die Herstellung von Trinkmilch und fermentierter Produkte mit der Technologie der späten 1990er Jahre durchschnittlich 1,1 MJ PE/kg Milch beanspruchen. Dies liegt in der Größenordnung der hier untersuchten Molkereien (arithmetisches Mittel von 1,5 MJ), allerdings liegt M1 deutlich darüber (3,7 MJ).

Der **Vergleich der ermittelten THG-Emissionen mit der Literatur** (siehe Kapitel 2.3.4) ergibt unterschiedliche Ergebnisse. Laut *Gerber et al. 2010* verursachen Prozesse, die den Molkereien zuzurechnen sind, durchschnittlich für alle Molkereiprodukte THG-Emissionen in Höhe von 155 g CO_{2-eq}/kg Rohmilch, für Frischmilch 153 g/kg Rohmilch (Gerber 2010). Allein die Bearbeitung in den Molkereien selbst verursacht 86 g CO_{2-eq}/kg Rohmilch. Etwas darüber liegen die ermittelten Emissionen von Granarolo S. p. A. mit 133 g CO_{2-eq}/l Milch (Granarolo S. p. A. 2012). Die Werte von *Gerber et al.* gelten durchschnittlich für Europa und liegen genauso wie die der italienischen Molkerei *Granarolo S. p. A.* in der Größenordnung der Molkereien M4 und M0-SV. Molkerei M1 liegt deutlich über den Ergebnissen von *Gerber et al. 2010* und *Granarolo S. p. A. 2012*, die Molkereien M2 und M3 deutlich darunter (Gerber 2010; Granarolo S. p. A. 2012). *Hospido et al. 2003* ermitteln in einer spanischen Studie höhere Emissionen (210 g CO_{2-eq}/l Milch), sodass alle Betriebe der vorliegenden Studie unter dem ermittelten Wert liegen. Dies gilt nicht für Molkerei M1, die auch hier deutlich darüber liegt. Nach Korrektur der ermittelten Emissionen von *Hospido et al.* um Emissionen aus der Produktion von Verpackungsmitteln (15 g) und aus Transporten (21 g) resultieren 174 g CO_{2-eq}/l Milch für die Molkereiprozesse. Darin enthaltene Emissionen aus der Herstellung von Reinigungsmitteln sind nicht bekannt. Auch der korrigierte Wert liegt über dem Wert der Molkereien M2 bis M4 und M0-SV (Hospido 2003). Die von *Nutter et al. 2010* in den USA ermittelten 76 g CO_{2-eq}/kg Milch für die Molkereiprozesse sind vergleichbar mit den Emissionen aus Betrieb M2 (Nutter 2010).

Ökologische und konventionelle Wirtschaftsweise

In der Literatur finden sich verschiedene Studien, die die ökologische mit der konventionellen Wirtschaftsweise vergleichen. Nach dieser Differenzierung lassen sich keine eindeuti-

gen Vorreiter in der Reduzierung der Treibhausgasemission erkennen. Vielmehr gibt es für ökologische und konventionell geführte Betriebe große Unterschiede in der Wirtschaftsweise, die Optimierungspotenzial bezüglich der Emissionsminderung bieten. *Cederberg et al. 2000* stellen fest, dass N_2O aus synthetischen Düngemitteln (Herstellung und Wechselwirkung im Boden) bei den konventionellen Betrieben eine große Rolle spielen, wichtigster $CO_2\text{-eq}$ -Treiber sei allerdings Methan. Die Emission von Methan tritt im ökologischen Landbau verstärkt auf, durch einen hohen Anteil an Raufutter. Die Autoren empfehlen daher den Raufutteranteil durch den Einsatz von Rapsschrot, Erbsen und Zuckerrüben zu reduzieren (Cederberg 2000). Wichtiger Einflussfaktor auf die spezifischen THG-Emissionen ist die Höhe der Milchleistung, die in ökologischen Betrieben häufig geringer ausfällt und somit höhere spezifische THG-Emissionen entstehen (De Boer 2003; Thomassen 2008b; Cederberg 2003). *Cederberg et al. 2003* geben allerdings zu bedenken, dass bei einer geringeren Anzahl an gehaltenen Kühen, durch eine längere Nutzung der Tiere und eine höheren Milchleistung weniger Fleisch als Nebenprodukt anfällt. Eine Untersuchung der Auswirkungen bei der Fleischproduktion durch Rindermast sei daher unumgänglich (Cederberg 2003). In einer weiteren Veröffentlichung aus 2004 bemerken die Autoren, dass trotz geringerem Energieumsatz der ökologischen Landwirtschaft und geringerem Einsatz von Pestiziden keine Unterschiede bei der Treibhausgasemission zwischen den Wirtschaftssystemen bestehen (Cederberg 2004). In der vorliegenden Studie ist die Milchleistung der ökologisch bewirtschafteten Betriebe nicht zwangsläufig geringer als in den konventionellen. Die Emissionen aus der Nutzung von Energie der ökologischen Betriebe (M0-1 bis M0-4) fügen sich in ihrer Höhe in die Spannweite der konventionellen Betriebe ein (siehe dazu Abbildung 5.1.2).

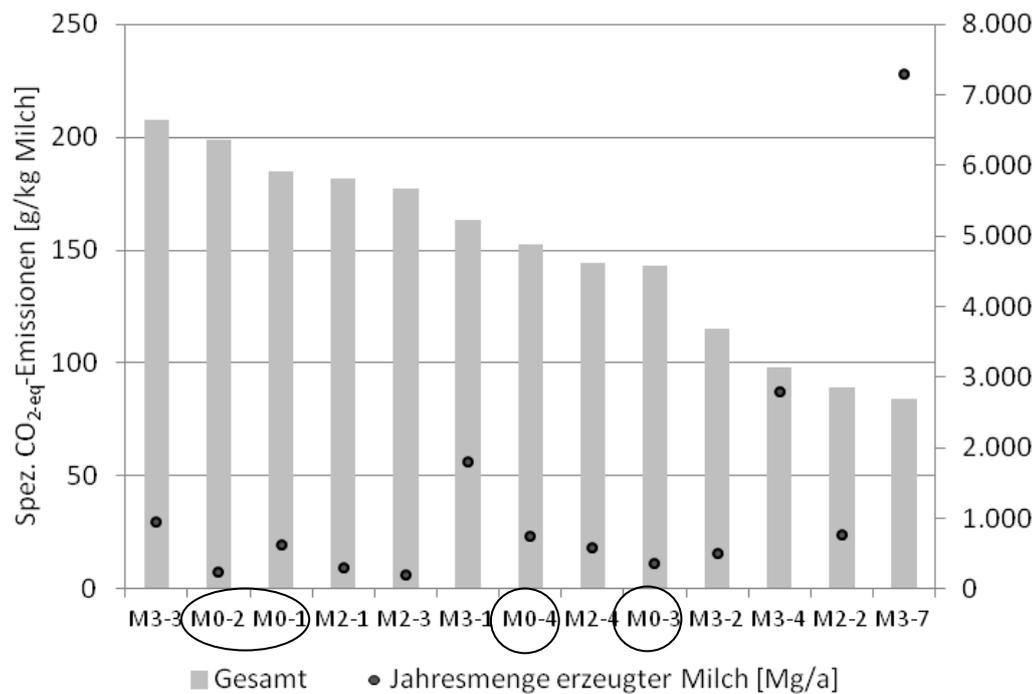


Abb. 5.1.2: Spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe in absteigender Reihenfolge. Die Markierung gilt ökologisch wirtschaftenden Betriebe

5.2 Bewertung der Ergebnisse der Landwirtschaft

Einsatz von Elektroenergie

Betrieb M2-1 gehört zu den Betrieben mit einem relativ hohen spezifischen Primärenergieumsatz aus Elektroenergie und somit relativ hohen resultierenden THG-Emissionen (58 g CO_{2-eq}/kg Milch). Alle Betriebe liegen im Mittel bei 40 (14 - 65) g CO_{2-eq}/kg Milch (siehe Abbildung 5.1.2). Die hohen Emissionen von M2-1 können damit zusammenhängen, dass der Betrieb einen neuen Stall betreibt, der für eine Betriebsvergrößerung ausgelegt ist. In 2009 hat bereits eine Aufstockung von 30 auf 50 Kühen begonnen. Da bei allen Betrieben nur ein Elektroenergiezähler für den gesamten Betrieb vorliegt, ist die genaue Ursache nicht festzustellen.

Abbildung 5.2.3 stellt die THG-Emissionen aus Elektroenergie in Abhängigkeit von der Betriebsgröße dar. Die Betriebsgröße ist ausgedrückt mit der Masse produzierter Milch. Nähert man sich diesem Zusammenhang mittels Regressionsanalyse, so zeigt diese eine negative Abhängigkeit von der Betriebsgröße von bis zu 71 %. Die THG-Emissionen aus Elektroenergie fallen ab ca. 1.800 t Rohmilcherzeugung pro Jahr auf ca. 30 g/a. Die Betriebe M0-1 und M2-2 erreichen diesen Wert schon bei einer jährlichen Rohmilcherzeugung von über 600 t/a.

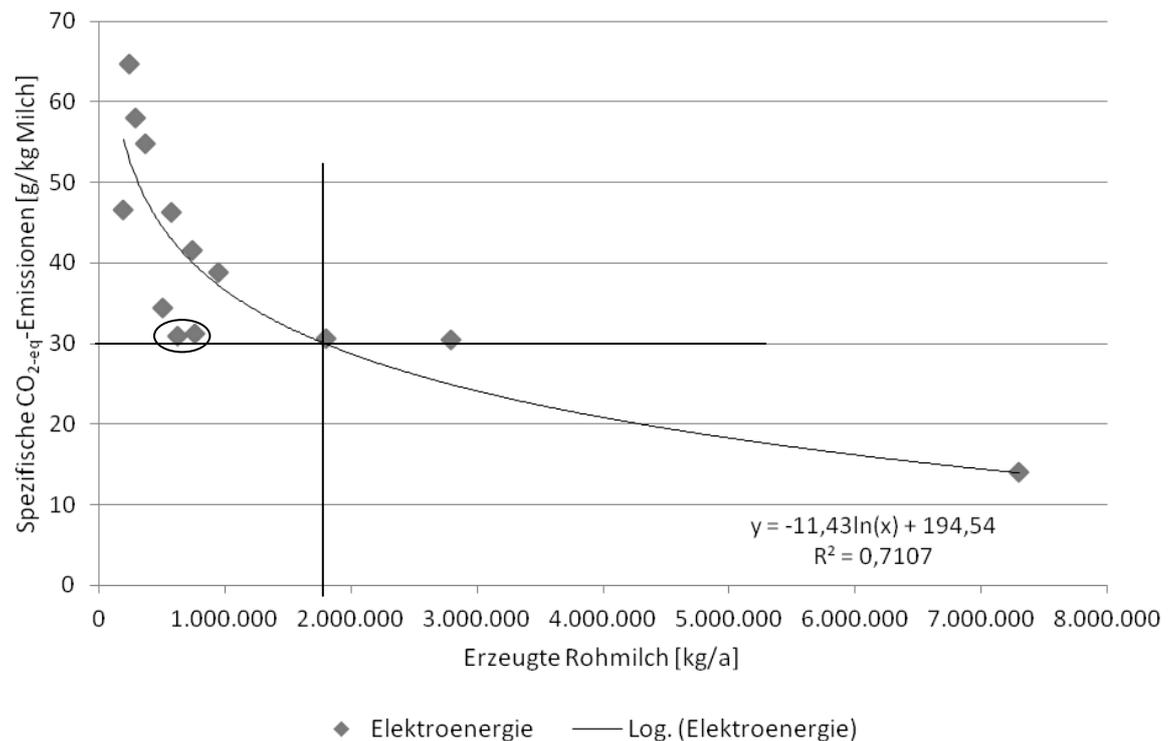


Abb. 5.2.1: THG-Emissionen aus Elektroenergie in Abhängigkeit von der Betriebsgröße

Einsatz von Treibstoff

In Kapitel 5.1 ist der angegebene Dieselumsatz für die Futterproduktion von M3-4 infrage gestellt. Bewertet man den Betrieb M3-4 wegen dieser Unsicherheit nach Priorität 2 der Allokationsregeln (siehe Kapitel 3.4.1) und nimmt für die Futterproduktion errechnete Daten an, erhöhen sich die spezifischen THG-Emissionen aus dem Tiermanagement (Tierhaltung und Futtermittelbereitstellung) von M3-4 von 33 auf 50 g. Die Emissionen des Betriebs M3-4 liegen nach der Korrektur der Aufwendungen für die Futtermittelproduktion über denen der Betriebe M2-2 und M3-7 (siehe Abbildung 5.1.2). Der Mittelwert der gesamten Emissionen aller Betriebe ändert sich dadurch nur um 1 g nach oben. Der Mittelwert und die Streuung aller Betriebe in Höhe von 149 (84 - 208) g CO_{2-eq}/kg Milch sind in Abbildung 5.2.1 dargestellt. Die Abbildung zeigt auch die mittleren THG-Emissionen aus den einzelnen Endenergieträgern. Das angegebene Streuungsmaß zeigt bei allen eine große Schwankungsbreite.

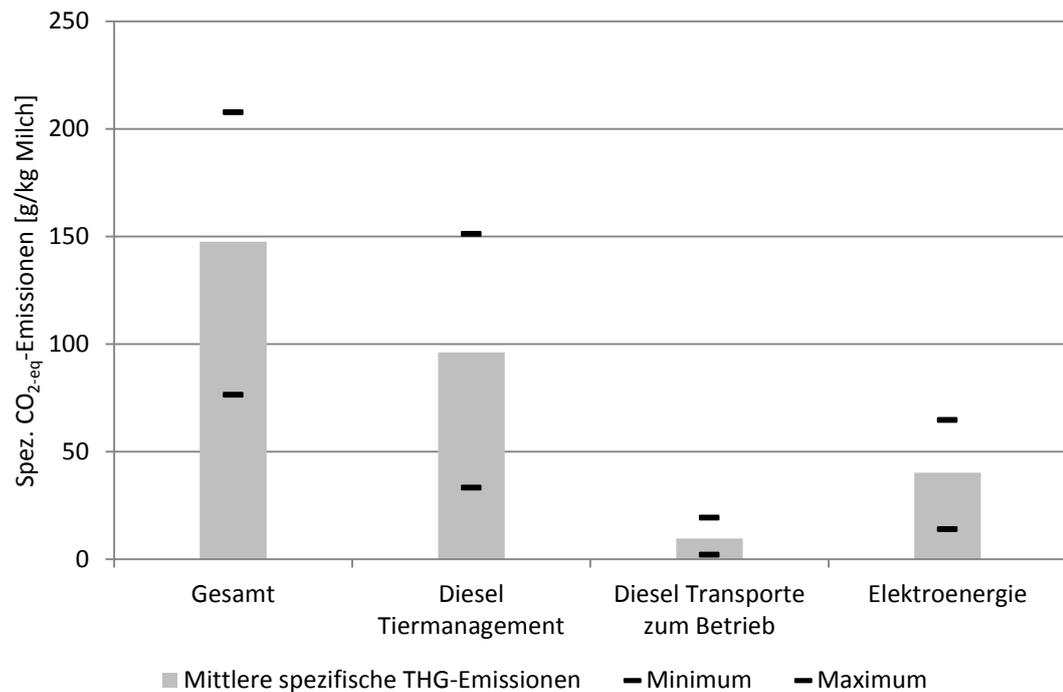


Abb. 5.2.2: Mittelwerte (min.-max.) der spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe (n = 13) nach Endenergieträgern

Der Mittelwert des spezifischen Dieselumsatzes aus dem Tiermanagement (Tierhaltung und Futterproduktion) liegt bei 98 g CO_{2-eq}/kg Milch, mit einer Streuung von 50 - 151 g CO_{2-eq}/kg Milch. Eine Unter- beziehungsweise Überschätzung der Dieselumsätze für das Tiermanagement kann bei acht Betrieben vorliegen, da entsprechend der Allokationsregeln (siehe Kapitel 3.4.1) Daten des KTBL für die Abschätzung der Aufwendungen für den Pflanzenbau zugrunde liegen. Die mittels Daten des KTBL errechneten Werte liegen meist über den von den Betrieben angegebenen Werten (siehe oben). Dies hat bei der Anwendung der Allokationsregeln nach Priorität 2 eine Überschätzung der Dieselumsätze zur Folge (3 Betriebe) und nach Priorität 3 eine Unterschätzung (5 Betriebe).

Unterschiede im Dieselumsatz kommen durch unterschiedliche Haltungssysteme zustande, so sind in einigen Laufställen elektrische Schiebesysteme zum automatischen Entmisten installiert. Der Umfang der Stroheinlage ist in allen Betrieben unterschiedlich, genauso wie die Häufigkeit des Mistens mit dieselbetriebenen Fahrzeugen. Der Dieselumsatz für die Tierhaltung ist nicht sicher ermittelbar, da Angaben vom Landwirt selbst nur für fünf Betriebe vorliegen. Ersichtlich ist, dass der Dieselumsatz in den Betrieben steigt, je öfter gemistet wird. Ein Trend lässt sich daraus, im Vergleich mit Betrieben mit elektrischer Entmistung, jedoch nicht ableiten. Unterschiede in der Nutzung von Diesel treten zudem für das Mischen von Futtermitteln und der Bereitstellung von Silage auf.

Für **Fahrten von Mitarbeitern** sind die Angaben mancher Betriebe über die Häufigkeit und Distanz der Fahrten nur ungenau oder liegen in wenigen Fällen gar nicht vor. Für zwei Betriebe besteht eine Unsicherheit der Annahmen bezüglich der Anfahrt von Mitarbeitern, diese resultiert für M0-4 in $\pm 1,5$ g CO_{2-eq}/kg Milch und für M3-1 in $\pm 4,7$ g CO_{2-eq}/kg Milch. Bei sechs Betrieben ist die Dienstleistung **Klauenpflege** nicht angegeben. Es ist nicht klar, ob diese Arbeit Mitarbeiter durchführen oder ob die Angabe fehlt. Die Emissionen aus den Anfahrten liegen bei den übrigen Betrieben im Mittel bei 0,4 (0,0 - 1,1) g CO_{2-eq}/kg Milch. Nicht alle Betriebe geben an, wie häufig der **Tierarzt** zum Betrieb fährt. Für drei Betriebe (M2-1, M3-1, M3-4) gilt daher der Mittelwert aus allen angegebenen Besuchshäufigkeiten. Die resultierenden Emissionen liegen so durchschnittlich bei 0,7 (0,1 - 2,3) g CO_{2-eq}/kg Milch.

Der Treibstoff-Umsatz für Transporte zu den Betrieben M0-2 und M0-4 ist relativ hoch. Bei Betrachtung der einzelnen Werte zeigt sich, dass die Aufwendungen der **Tierkörperbeseitigung** nicht zu vernachlässigen sind. Für die Berechnung der Treibstoffumsätze ermittelt sich die Wegstrecke für alle Betriebe nicht über die durchschnittlich zurückgelegte Tour der Fahrzeuge, da diese nur für die Betriebe M0-1 bis M0-4 bekannt sind. Bei der zugrundegelegten einfachen Fahrstrecke gemäß den beschriebenen Allokationsregeln ergeben sich spezifische THG-Emissionen von 0,1 bis 2,5 g CO_{2-eq}/kg Milch, im Mittel 0,7 g CO_{2-eq}/kg Milch.

Insgesamt verursachen alle Fahrten von Mitarbeitern und Dienstleistern Emissionen von 0,8 bis 8,0 g CO_{2-eq}/kg Milch. In Abbildung 5.1.1 ist ersichtlich, dass bei der Mehrzahl der Betriebe die ermittelten Fahrten der TKB einen erheblichen Anteil daran bilden. Die Unsicherheit für die oben genannten Fahrten von Klauenpfleger, Tierärzte und Mitarbeiter machen für die relevanten Betriebe nur 1-3 % der gesamten energiebedingten Emissionen aus, da die Fahrten von Dienstleistern und Mitarbeitern nur einen geringen Anteil der Aufwendungen ausmachen. Transporte zum Betrieb (Personen und Sachgüter) emittieren durchschnittlich 10 (2-19) g CO_{2-eq}/kg Milch (siehe Abbildung 5.1.2).

Betrieb M2-3 macht keine Angaben zur Häufigkeit des Transports von zugekauften Futtermitteln (Soja, Leistungsfutter, Heu). Die Anlieferung erfolgt zusammen mit Futtermitteln für einen weiteren Betrieb mit Mutterkuhhaltung. Die Aufwendungen für diese Transporte verursachen im besten Fall 0,2 g CO_{2-eq}/kg Milch und im schlechtesten Fall 1,7 g CO_{2-eq}/kg Milch. Dies entspricht 0-1 % aller energiebedingten Aufwendungen des Betriebs.

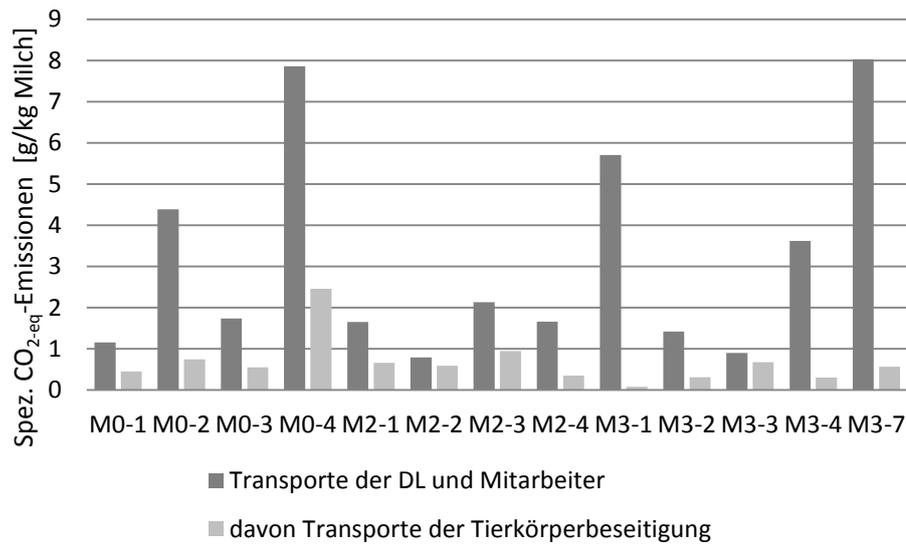


Abb. 5.2.3: Spezifische THG-Emissionen aus Transporte von Dienstleister und Mitarbeiter

Abbildung 5.2.5 zeigt die Streuung der THG-Emissionen aus der Treibstoffnutzung über die Betriebsgröße. Die Darstellung lässt keinen Zusammenhang zwischen der Höhe der THG-Emissionen und der Betriebsgröße vermuten.

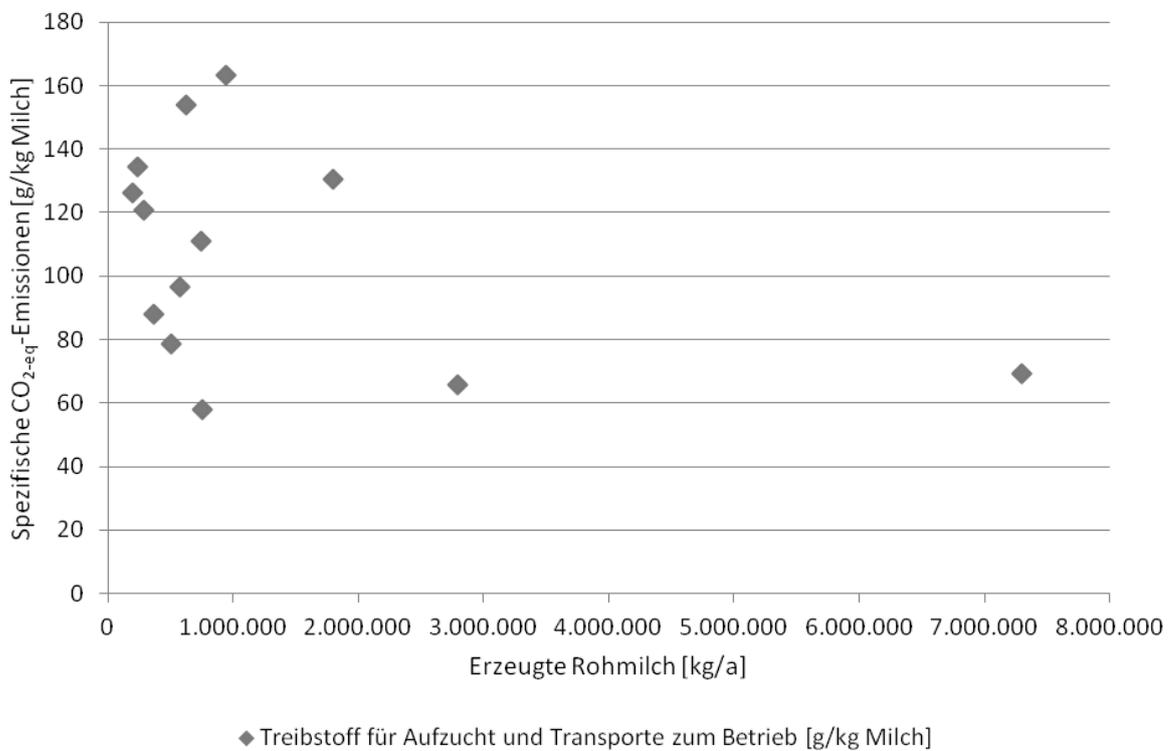


Abb. 5.2.4: THG-Emissionen aus der Treibstoffnutzung in Abhängigkeit von der Betriebsgröße

Gesamter Einsatz von Energie

Betrachtet man abschließend die gesamten THG-Emissionen aus der Energienutzung streuen die Werte über die Betriebsgröße nach Abbildung 5.2.6. Die Güte der Anpassung der THG-Emissionen an die Betriebsgröße ist mit 35 % sehr schwach. Ab ca. 2.000 t Rohmilcherzeugung pro Jahr liegen die THG-Emissionen aus der Energienutzung bei um die 125 g CO_{2-eq}/a. Die Betriebe M2-2 und M3-2 erreichen diesen Wert schon bei einer jährlichen Rohmilcherzeugung von über 500 t/a.

Somit lässt sich Hypothese 1.1 zur These der Ecology of Scale nach *Schlich et al. 2005*, für die hier untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe nur für den Einsatz von Elektroenergie verifizieren. Für den gesamten Einsatz von Primärenergie sowie speziell dem Einsatz von Diesel haben andere Faktoren einen stärkeren Einfluss.

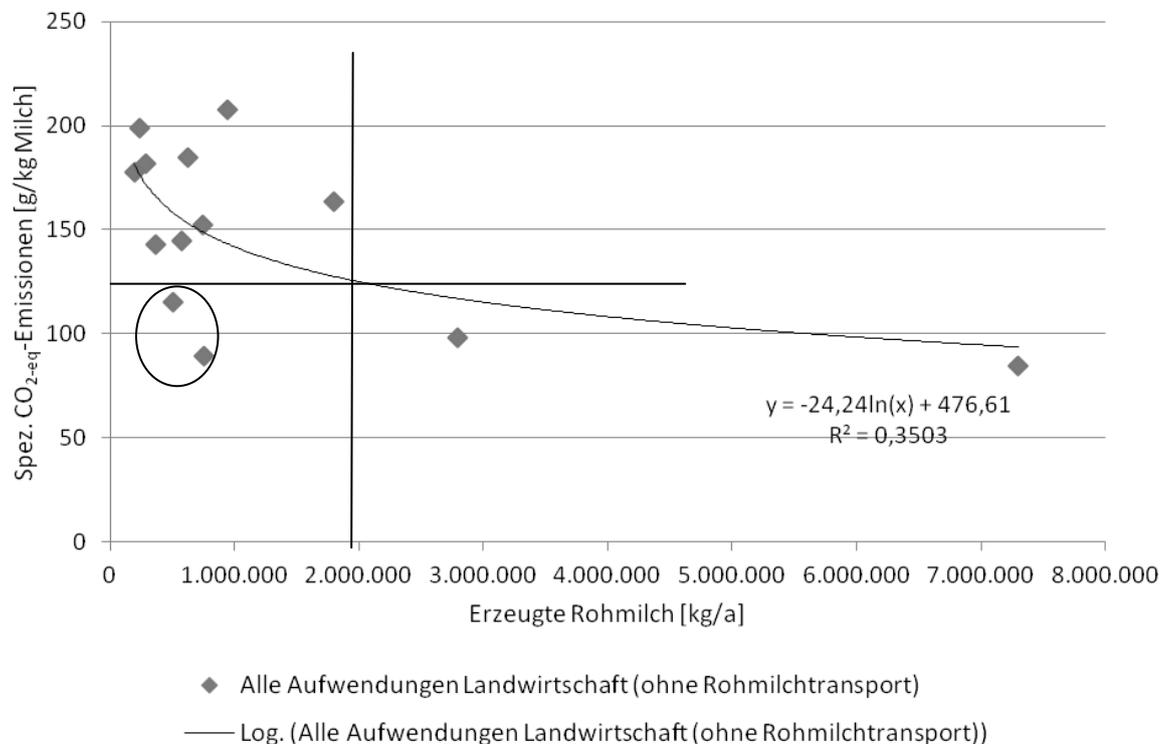


Abb. 5.2.5: THG-Emissionen aus Energienutzung nach Betriebsgröße

Insgesamt ist die Stichprobe zu klein und die Streubreite der THG-Emissionen zu groß, um eine optimale Betriebsgröße - falls es eine solche gibt - festzulegen. Hypothese 1.2 ist somit anhand dieser Ergebnisse nicht bestätigt.

Transport der Rohmilch

Abbildung 5.2.7 zeigt die mittleren THG-Emissionen der Rohmilchtransporte für die beiden Erfassungsmethoden. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede, insbesondere in der Streuung. Die Emissionen, die durch die Angaben der Molkereien und Speditionen über die

Routen der Sammelfahrzeuge ermittelt sind (Transport 1-M), streuen nicht so weit wie die der einzelnen Betriebe (Transport 1-L). Dies ist erwartungsgemäß, da es sich bereits um durchschnittliche Angaben von drei Molkereien handelt. Allerdings liegt auch das arithmetische Mittel der Emissionen von Transport 1-M mit 5 (3 - 7) g CO_{2-eq}/kg Milch (n=3) unter dem Mittelwert von Transport 1-L mit 18 (1 - 62) g CO_{2-eq}/kg Milch (n=13). Dies kann daran liegen, dass die Abschätzungsmethode von Transport 1-L zu konservativ ist (einfache Entfernung vom Betrieb zur Molkerei), oder die Sammelrouten der drei Molkereien besonders günstig liegen. Molkerei M1 produziert eine regionale Trinkmilch, deren einziger Erzeuger in einer günstigen Entfernung liegt. Molkerei M2 produziert eine Eigenmarke für einen mittelständischen Lebensmitteleinzelhändler mit 16 zuliefernden Betrieben, die ebenfalls in einem kleinen Radius um die Molkerei liegen. Die Angaben der Speditionen von Molkerei M4 beziehen sich auf eine größere Anzahl an Milchlieferanten (schätzungsweise um die 80 Betriebe). Diese bilden allerdings nur 40 % der gesamten gelieferten Rohmilch ab, sodass der ermittelte Wert einer Unsicherheit unterliegt. Für Molkerei M3 liegen keine Angaben zu Rohmilchtransporten vor.

Die Werte der landwirtschaftlichen Betriebe sind Einzelwerte und nicht repräsentativ, da die Auswahl der Betriebe nur eine kleine Stichprobe bildet und nicht repräsentativ für alle Milchlieferanten der jeweiligen Molkerei sind. Bei der Betrachtung, ausgehend von den landwirtschaftlichen Betrieben, kann die angenommene einfache Distanz eine Überschätzung darstellen, wenn die Höfe sehr eng zusammenliegen, sofern die gesamte Fahrstrecke der Tour kürzer ist als die Summe der einfachen Strecken von der Molkerei zum Milchviehbetrieb. Genauso kann es zu einer Unterschätzung kommen, wenn die Höfe weit entfernt voneinander liegen. Die Mehrzahl der ermittelten Werte liegt über den Werten, die durch die Angaben der Molkereien und Speditionen über Sammelrouten zustande kommen.

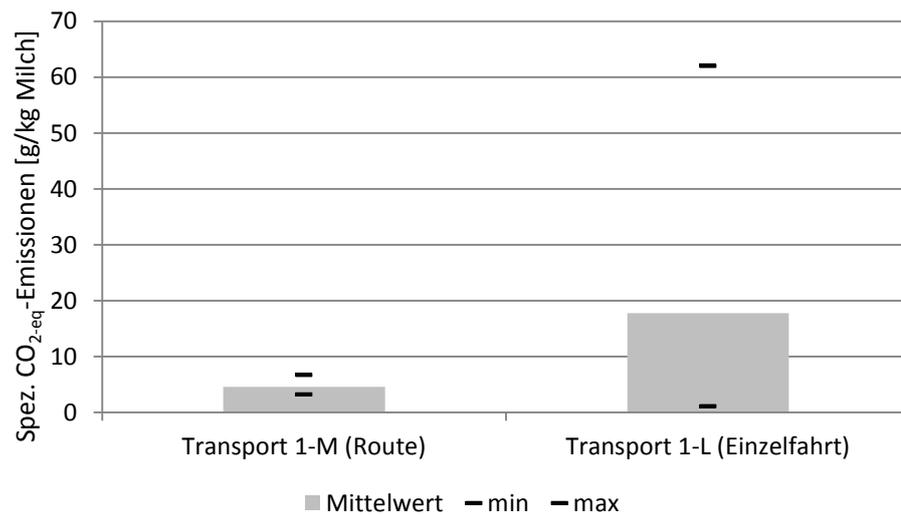


Abb. 5.2.6: Vergleich der verschiedenen Methoden zur Erfassung der Emissionen durch Transporte der Rohmilch. Transport 1-M: Route nach Angabe der Molkereien und Speditionen (n=3); Transport 1-L: Einzelfahrt ausgehend von den untersuchten landwirtschaftlichen Betrieben (n=13).

5.3 Bewertung der Ergebnisse der Molkereien

Abbildung 5.3.1 zeigt die mittleren THG-Emissionen aus den verschiedenen Endenergieträgern und ihre Streuung (min., max.) bei der Trinkmilchherstellung der fünf untersuchten Molkereien. Die Werte variieren stark, dies liegt an der Herstellung von unterschiedlichen Behandlungsarten der Milch (Frischmilch, UHT-Milch), aber auch an unterschiedlich stark optimierten Abläufen.

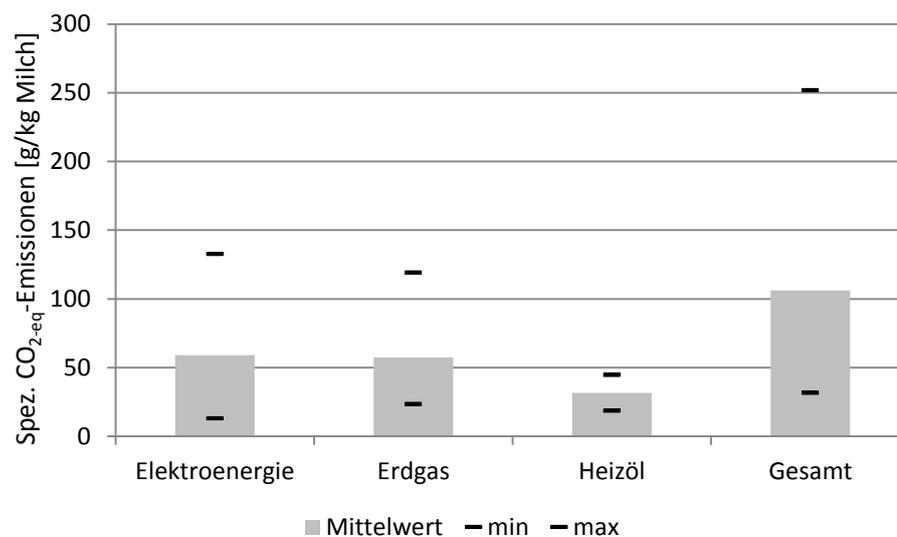


Abb. 5.3.1: Mittelwerte (min.-max.) der spezifische THG-Emissionen der Molkereien (n=5) nach Endenergieträgern

Eine Übersicht über die Höhe der THG-Emissionen aus den verschiedenen Endenergieträgern in den einzelnen Molkereien zeigt Abbildung 5.3.2. Besonders auffällig sind die hohen Emissionen von Betrieb 1, diese fallen auch im Vergleich mit der Literatur auf (Kapitel 5.1).

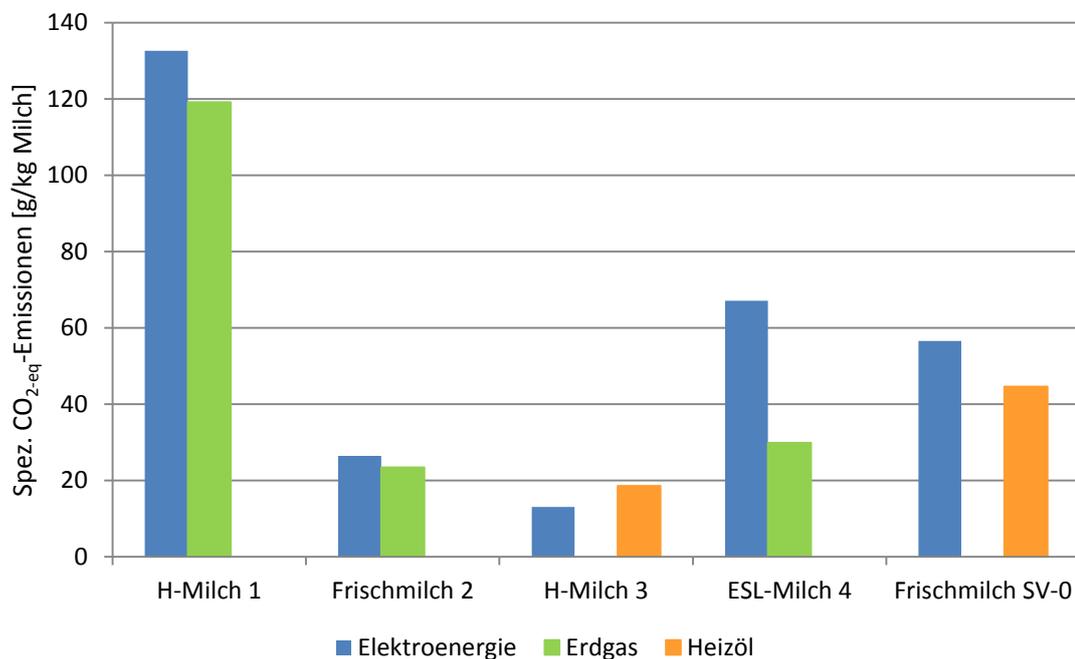


Abb. 5.3.2: Spezifische THG-Emissionen der Molkereien nach Endenergieträgern

Eventuell enthalten die angegebenen Endenergieumsätze des Prozessschrittes Pasteurisierung bei M1 nicht die typischerweise vorgesehene Wärmerückgewinnung zur Kühlung der Milch. Unter den vorliegenden Daten entstehen durch den Einsatz von Elektroenergie 52 g CO_{2-eq} bei der Kühlung von 72 auf 3 °C. Des Weiteren liegen für den Prozessschritt der Abfüllung Angaben über die Energieaufwendung zur Kühlung von 26 auf 18 °C vor. Laut mündlicher Auskunft ist keine Kühlung nötig, da die Abfüllung bei 25 °C erfolgt. Dies betrifft weitere 26 g CO_{2-eq}. Der bei Molkerei M1 auffällig hohe Einsatz von Gas hängt mit einer relativ kleinen Chargengröße zusammen. Nach jeder abgefüllten Charge erfolgen ein Produktwechsel und die Sterilisation der Anlagen. Daraus resultiert ein negativer Zusammenhang zwischen Chargengröße und Reinigungsfrequenzen.

Molkerei M4 hat im Vergleich zu M2 einen hohen Einsatz an Elektroenergie. Dies könnte mit Kälteverlusten bei der Kühlung der Milch zusammenhängen. Molkerei M2 hat ein kompakteres Kühlager mit geringen Lagerzeiten, im Gegensatz dazu hat M4 ein Hochregalager mit großer Lagerkapazität, dessen Wirkungsgrad je nach Auslastung variiert. Ferner sind bei der Analyse vor Ort Prozesspunkte aufgefallen, an denen Kälteverluste zu minimieren sind.

Bei der Prozessanalyse in Molkerei M1 und M4 ist zu berücksichtigen, dass unter Umständen eine fehlerhafte Zuordnung der einzelnen Aufwendungen von Anlagen und Geräten unterläuft. Dies soll durch enge Zusammenarbeit mit der Betriebsleitung vermieden werden. Bei den Molkereien mit Produktion von Frischmilch (M2 und M0-SV) ergeben sich die ermittelten Aufwendungen für das Produkt Milch durch Massenallokation über die gesamte Produktpalette. Dadurch kann es zu Verzerrungen kommen, wenn andere Molkereiprodukte einen höheren PE-Umsatz verursachen als Frischmilch. Beide Molkereien stellen ausschließlich Produkte der weißen Linie her, sodass nur eine geringe Überschätzung der Werte anzunehmen ist. Allerdings bezieht die Massenallokation bei M2 auch Versandmilch² mit ein, dadurch kann es wiederum zu einer Unterschätzung der Werte kommen. Bei Molkerei M3 ist nur überschüssiger Rahm für die Allokation relevant, sodass nicht mit einer relevanten Verzerrung der Daten zu rechnen ist.

"Ecology of Scale" der Molkereien

Die fünf untersuchten Molkereien stellen alle Trinkmilch her, allerdings in unterschiedlichen Sorten, von Frischmilch bis UHT-Milch. Daher und aufgrund der geringen Anzahl an untersuchten Molkereien, scheint eine Regressionsanalyse zur Bewertung des Zusammenhangs von Betriebsgröße und Umweltwirkung nicht angebracht. Eine signifikante Aussage zur Gültigkeit der These der "Ecology of Scale" ist somit nicht möglich.

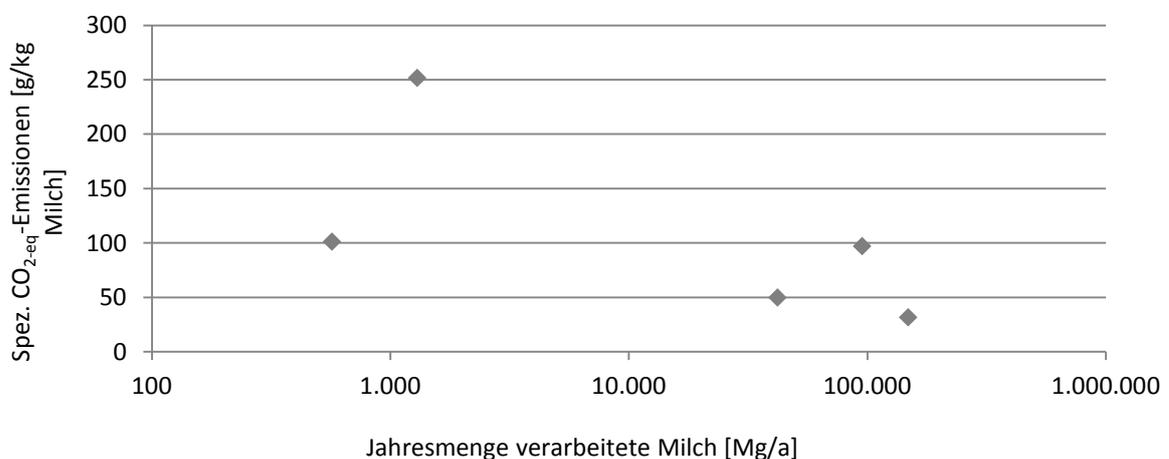


Abb. 5.3.3: THG-Emissionen der Molkereien über die Betriebsgröße

Transporte zum Handel

Die erfassten Transporte von der Molkerei zum Lager des Einzelhandels und vom Lager zu den Filialen verursachen jeweils 6 % (18 g CO₂-eq/kg Milch) der ermittelten THG-Emissionen von der Landwirtschaft bis zum Handel. Diese Werte sind nicht repräsentativ und beruhen auf

² Versandmilch: Milch, hier mit einem niedrigen Fettgehalt, die ohne Abfüllung oder in großen Containern weiter verkauft wird.

einer geringen Stichprobengröße. Die Größenordnung ist vergleichbar mit den Ergebnissen von *Gerber et al. 2010* und *Granarolo S.p.A. 2012*. *Gerber et al.* geben für Transporte zum Lager des Handels 14 g CO_{2-eq}/kg Milch an, *Granarolo S.p.A.* 15 g CO_{2-eq}/l Milch (*Gerber 2010, Granarolo 2012*). *Hospido et al. 2003* veranschlagt 21 g/l Milch für die Distribution zum Handel. Nicht klar ist, ob darin nur die Transporte zum Lager oder auch zum PoS inbegriffen sind (*Hospido 2003*). Nach Umrechnung der Ergebnisse von *Woitowitz 2007* mit den Emissionsfaktoren für Deutschland ergeben sich 7 g CO_{2-eq}/kg Milch für den Transport zum Lager des LEH und weitere 24 g für Transporte in die Filialen. Demnach liegen die Emissionen im Vergleich zu der vorliegenden Studie niedriger für den Weg zum Lager und höher für die Distribution zu den Filialen (*Woitowitz 2007*).

Betrieb M0-SV ist ein Selbstvermarkter mit Lieferservice zum Kunden. Für Transporte von der Molkerei zu den Kunden entstehen jährlich 115 g CO_{2-eq}/kg Milch. Dieser Wert lässt sich nicht direkt mit den erfassten Werten des Vertriebs über den Einzelhandel vergleichen, da für Letzteren noch die Transporte des Endkunden fehlen. *Weidema et al. 2008* stellen fest, dass die Belieferungen des Endkunden durch den Einzelhandel, mit effizienten Transportfahrzeugen und Routen, eine Reduzierung der gefahrenen Strecken pro Konsument erreichen kann. Allerdings schätzten die Autoren das tatsächliche Verbraucherverhalten als sehr unsicher ein (*Weidema 2008*).

5.4 Fazit

Prozessketten der Milchbereitstellung

Dieser Abschnitt stellt die untersuchten Prozessketten einzeln dar. Drei der Fünf sind in ihren auswertbaren Daten nicht vollständig, für diese fehlenden Module sind durchschnittliche Ergebnisse der Studie angenommen und in Abbildung 5.4.1 durch kursive Schrift markiert.

Modul	M0-SV	M1	M2	M3	M4
1 Landwirtschaft	152	<u>149</u> (84-208)	148 (89-182)	134 (84-208)	<u>149</u> (84-208)
2 Transport Rohmilch	0	3	4	<u>5 (3-7)</u>	7
3 Molkerei	101	252	50	32	97
4 Distribution zum LEH	0	19	20	14	<u>18 (14-20)</u>
5 Distribution zum PoS	0	<u>18</u>	18	<u>18</u>	<u>18</u>
Summe	253 g/kg	441 g/kg (376-500)	240 g/kg (181-274)	203 g/kg (151-279)	289 g/kg (220-350)

Abb. 5.4.1: THG-Emissionen in [g CO_{2-eq}/kg Milch] verschiedener Prozessketten der Milchbereitstellung aus Energienutzung

Abbildung 5.4.1 zeigt, dass die Prozesskette der Molkerei M3 die niedrigsten THG-Emissionen verursacht, zumindest wenn das arithmetische Mittel der einzelnen Module in die Betrachtung einfließt. Unter Berücksichtigung der Spannweite der Ergebnisse liegen die Emissionen der Prozessketten M2 und M0-SV in dessen Variationsbreite. Die Prozessketten der Molkerei M4 und Molkerei M1 verursachen höhere Emissionen. Hypothese 1.3 lässt sich mit diesen Ergebnissen nicht bestätigen, die Emissionen der Prozessketten sind bei kleinen Molkereien nicht zwangsläufig höher als bei großen Molkereien. Die Emissionen der verschiedenen Prozessketten streuen weit und liegen mit Ausnahme der Prozesskette um Molkerei M1 in einer Bandbreite. Hypothese 2 trifft somit zu, die Angabe eines Carbon Labels mit einem konkreten Zahlenwert müsste eine Spannweite von ca. 50 % des Mittelwertes ausweisen.

In der **Landwirtschaft** lässt sich der Endenergieeinsatz durch die richtige Wahl der Fahrzeuge reduzieren. Traktoren und Unimogs haben einen hohen Treibstoffumsatz, daher ist deren Einsatz effizient zu planen. Transporte von Betriebsmitteln, die auch durch Kleintransporter lieferbar sind, gilt es mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen zu vermeiden. Der Einfluss der Kühltechnik auf den Umfang des Elektroenergieeinsatzes lässt sich nicht auswerten, da differenzierte Energieumsätze nicht vorliegen. Daher ist keine Aussage darüber möglich, ob länge-

re Abholfrequenzen der Rohmilch seitens der Molkereien, um Transportwege zu reduzieren, jedoch mit längeren Lagerzeiten im landwirtschaftlichen Betrieb einhergehen, aus ökologischer Sicht kontraproduktiv sind.

Der technische Standard in den **Molkereien** ist weitgehend vereinheitlicht. Die Reduktion der Dauer der Kühllagerung sowie deren Effizienz ist ein bedeutender Faktor zur Minimierung des Elektroenergieeinsatzes. Hier besteht bei vielen Betrieben ein Optimierungspotenzial. Lange Reinigungsfrequenzen ermöglichen den Energieeinsatz (Gas/Heizöl) für die Bereitstellung von Dampf zur Sterilisation der Anlagen zu reduzieren. Dies ist vor allem bei Molkereien mit einem großen Volumen einer Produktsorte möglich. Angaben zum Transport von Verpackungsmaterial liegen nur von zwei Molkereien vor. Die Aufwendungen hierfür sind mit 0,6 % der energiebedingten THG-Emissionen von der Landwirtschaft bis zum Handel sehr gering. **Transporte** der Rohmilch zur Molkerei, sowie die der verpackten Trinkmilch zum Handel und zu den Filialen verursachen jeweils 6 % der energiebedingten THG-Emissionen entlang der Bereitstellungskette.

Abbildung 5.4.2 zeigt die prozentuale Verteilung der mittleren THG-Emissionen aus den einzelnen Modulen der Bereitstellungskette, inklusive Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft.



Abb. 5.4.2: Verteilung der gesamten THG-Emissionen entlang der Bereitstellungskette von der Landwirtschaft bis zum Handel

Aussagekraft eines Carbon Footprint

Schwachpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Erfassung der Treibhausgas-Emissionen aus anderen Quellen als Energie. Auswertbare Daten stehen in der Literatur zur Verdauung und dem Wirtschaftsdünger-Management zur Verfügung, Daten zum N-Stoffwechsel der Böden bei Milchviehhaltung sind rar. Aus den erhobenen Daten zum Wirtschaftsdüngermanagement der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe ist das Ableiten von individuellen Emissionen nicht möglich. Emissionen aus anorganischen Düngemitteln und möglicher Leckagen der Kälteanlagen, in den Betrieben und den verwendeten Fahrzeugen, sind nur über sekundäre Daten einzubinden und in der vorliegenden Arbeit nicht enthalten.

Insgesamt sind in der derzeitigen Diskussion über die Deklaration von Produkten mit einem "Carbon Footprint" (CF) eine Reihe wissenschaftlicher Fragen offen. Zur seriösen Berechnung des "CF eines Produkts muss die vollständige Prozesskette auf allen Ebenen der Be- und Verarbeitung sowie der Handhabung qualitativ und quantitativ auf der Mikroebene betrachtet werden. Dies bedeutet, dass viele Einzelunternehmen Daten zur Berechnung liefern müssen. Eine alleinige makrostatistische Analyse mit Daten aus länder- und branchenspezifischen Datenbanken kann die qualitativ für ein Einzelprodukt ausgewiesenen Ergebnisse verfälschen. Hinzu kommt, dass die Distribution zu unterschiedlichen Händlern innerhalb Deutschlands und die individuelle Darbietungsform im Handel den CF eines Produkts zusätzlich individuell beeinflussen. Eine klare Definition der Systemgrenzen wird auf der Stufe der Nutzungsphase noch schwieriger. Die Betrachtung bezieht sich derzeit entweder ausschließlich auf den direkten Endenergieumsatz bei der Nutzung, oder zusätzlich auf die Lagerung oder - im umfassendsten Fall - auch auf die Beschaffung des Produkts durch den Endverbraucher.

Zu berücksichtigen ist die eingeschränkte Aussage des CF in Bezug auf die Umweltwirkung eines Produkts. Ein CF lässt die Umweltwirkung eines Produkts bezüglich der Klimawirkung je nach Datengrundlage mehr oder weniger genau abschätzen. Er gibt jedoch keine Auskunft über die Belastung der Ressource Wasser, über die Toxizität von Pflanzenschutzmitteln oder über andere Umwelteinflüsse.

Ausblick

Die vorliegende Studie erstreckt sich auf die Prozesskette der Milchbereitstellung von der Landwirtschaft bis zum Handel, einschließlich erforderlicher Transportleistungen. Zur Vervollständigung des Lebenszyklus der Milch sind die Präsentation im Handel, das Einkaufsverhalten des Endverbrauchers, die Produktnutzung und Entsorgung zu ergänzen.

Der Einfluss des Lebensmitteleinkaufs auf die THG-Emissionen der Milchbereitstellung ist bisher kaum untersucht. Bisherige Betrachtungen in der Literatur treffen Annahmen über die Einkaufsmasse und den Fahrweg (Carlsson-Kanyama 1998; Enquete-Kommission 1994) bzw. werten länderspezifische makrostatistische Daten aus bzw. zitieren diese (Foster 2006). Zur Abschätzung der beiden Faktoren Einkaufsweg und Einkaufsmasse sind im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie zwei Pilotstudien erfolgreich durchgeführt, die eine Fortsetzung der Untersuchung erlauben (Sima 2012, 2011). Die Herangehensweise erfolgt über drei Methoden:

- Makrostatistische Daten über den Verzehr von Lebensmitteln sowie die Einkaufswege ergeben einen Wert für die THG-Emissionen des Einkaufs in Höhe von 280 g CO₂-eq/kg Einkauf (DIW 2010; BMWLV 2010).
- Die Befragung von Konsumenten mittels vierwöchigem Einkaufstagebuch ergibt, bei Massenallokation des Einkaufs und unter Berücksichtigung zusätzlicher Erledigungen im Zuge der Einkaufsfahrt, Werte zwischen 0 g CO₂-eq/kg Einkauf (Fußweg) und 8.830 g CO₂-eq/kg Einkauf. Im arithmetischen Mittel sind dies 293 g CO₂-eq/kg Einkauf.
- Die Befragung von Kunden nach ihrem Supermarkteinkaufs am „PoS“, ebenfalls bei Massenallokation und Berücksichtigung von weiteren Erledigungen, ergeben im Mittel 124 g CO₂-eq/kg Einkauf. Betrachtet man nur die PKW-Nutzer liegt der Wert bei 265 (6 - 2.427) g CO₂-eq/kg Einkauf.

Die Emissionen aus der Einkaufsfahrt liegen in der Größenordnung der energiebedingten Emissionen der gesamten Prozesskette von der Landwirtschaft bis zum Handel. Unter Berücksichtigung der Methan- und Lachgas-Emissionen in der Landwirtschaft liegen die Emissionen der Einkaufsfahrten immer noch bei ca. 20 % der Emissionen der vorausgehenden Prozesskette.

6 Zusammenfassung

Mit zunehmender Sorge um den Klimawandel versuchen verschiedene Initiativen Wege zu finden, die Akteure und den Verbraucher zu motivieren, Produkte herzustellen und zu konsumieren, die möglichst geringe Treibhausgas-Emissionen (THG) verursachen. Vorstöße seitens der Produzenten, des Handels, der Regierungen und NGOs (Nicht-Regierungsorganisationen) zur Erfassung von THG-Emissionen entlang der Bereitstellungskette verschiedener Produkte und Dienstleistungen stoßen auf unterschiedliche Resonanz. Während in Großbritannien und Frankreich verschiedene Handelsgruppen ihre Produkte mit einem "Carbon Label" versehen und in verschiedenen Ländern weltweit solche Bestrebungen bestehen, hat sich die deutsche Projektgruppe gegen eine Kennzeichnung von Lebensmitteln mit einem Label ausgesprochen (Penny 2011; Picard 2008; PCF Pilot Project Germany 2009; ADEME 2012; Fourdrin 2009; Inaba 2009; KRAV 2012; Migros 2009; The Carbon Trust 2008b). In jüngster Zeit wird auf europäischer Ebene eine erweiterte Produktbewertung mit verschiedenen Umweltindikatoren angestrebt (Bortzmeyer 2011; BP X30-323 2008; 2013/179/EU).

Die vorliegende Arbeit möchte Einflussmöglichkeiten auf die THG-Emissionen der verschiedenen Stufen der Produktbereitstellung aufzeigen. In diesem Zusammenhang steht die Frage, ob die These von *Schlich et al. 2005* zur "Ecology of Scale" (Schlich 2005) bei den Prozessketten der Milchbereitstellung Anwendung findet. Sie unterstellt dem Ausmaß der Umweltwirkungen, insbesondere aus der Endenergienutzung, einen negativen Zusammenhang zur Betriebsgröße (Schlich 2005). Sie zeigt an verschiedenen Beispielen zur Produktion von Lamm- und Rindfleisch, Äpfeln und Wein, dass die Effizienzeffekte ab einem bestimmten Produktionsvolumen von größerer Bedeutung sind als die für den Transport relevante Entfernung zwischen Primärproduktion und "Point of Sale" (Schlich 2008a, Schlich 2008b, Schlich 2009, Schröder 2007).

Die vorliegende Studie führt eine qualitative Datenerhebung entlang der Bereitstellungskette von Trinkmilch durch. Ausgehend von vier Molkereien werden 16 landwirtschaftliche Betriebe und ein Unternehmen zur Handelslogistik befragt. Vor Ort erfolgt in allen Betrieben ein persönliches Interview mittels Fragebogen. Die Erhebung umfasst alle Endenergieaufwendungen der Betriebe zur Produktion von Milch. Die Abschätzung von Lachgas- und Methan-Emissionen aus der Landwirtschaft erfolgt anhand eines Literaturreviews.

Auf Stufe der Landwirtschaft zeigt sich, dass die Emissionen aus Endenergienutzung hauptsächlich aus Diesel für die Futtermittelproduktion und Tierhaltung entstehen. Daher ist ein effizienter Einsatz der landwirtschaftlichen Fahrzeuge (Traktoren, Unimogs) von Bedeutung. Die Höhe des Dieseleinsatzes im Betrieb ist in einigen Fällen beeinflusst durch hinzuge-

zogene sekundäre Daten für die Futterproduktion, sodass die Daten nicht im gewünschten Maße den tatsächlichen Primärenergieumsatz widerspiegeln. Daraus kann eine Verschleierung möglicher Einflussfaktoren folgen. Sekundäre Daten sind in der vorliegenden Studie notwendig, wenn Angaben zur Trennung der angebauten Marktfrüchte von der Milchviehwirtschaft fehlen. Sie sind ebenfalls erforderlich für die Bewertung von zugekauften Futtermitteln. Aufgrund der großen Unterschiede in der Zukaufquote ist ein unterschiedlich großer Teil der Werte durch sekundäre Daten beeinflusst. Transporte zum Betrieb sind in der Höhe des Primärenergieumsatzes und den resultierenden THG-Emissionen weniger relevant. Die These zur "Ecology of Scale" bestätigt sich für den gesamten Primärenergieumsatz auf der Stufe der Landwirtschaft nicht. Bei einer getrennten Betrachtung der Elektroenergie lässt sich jedoch ein Zusammenhang zwischen Primärenergieumsatz und Betriebsgröße nachweisen. Elektroenergie kommt insbesondere für die Melkanlagen und Kühlung der Rohmilch zum Einsatz sowie für die Entmistung mit Schiebesystemen, falls diese installiert sind. Weitere Gerätschaften im Stall sind individuelle Fütterungssysteme für Kraftfutter und vereinzelt Ventilatoren, die in heißen Sommermonaten zum Einsatz kommen. Insgesamt zeigt die Erhebung eine große Schwankungsbreite der Ergebnisse auf allen Stufen der Bereitstellungskette. Dies macht eine Gruppierung der Ergebnisse, um weitere Einflussfaktoren aufzeigen zu können, kaum möglich.

Emissionen aus anderen Quellen als Energie, Methan aus der ruminale Verdauung und dem Wirtschaftsdüngermanagement sowie Lachgas aus landwirtschaftlich genutzten Böden, verursachen 58 - 87 % der Emissionen der landwirtschaftlichen Milchproduktion. Die Spannweite zeigt, dass die Messung und/oder Berechnung der Emissionen großen Unsicherheiten unterliegen. Hinzu kommt eine ungenügende Datengrundlage insbesondere für Lachgas.

Auf Stufe der Molkereien entstehen THG-Emissionen insbesondere durch Nutzung von Elektroenergie. Diese variiert je nach Milchsorte (Frischmilch, UHT-Milch). Dabei spielen die Kühlung des Endprodukts sowie die Effizienz des Betriebs eine Rolle. Die Höhe des Einsatzes von fossilen Energieträgern (Gas, Heizöl) für die Erzeugung von Dampf hängt mit der Chargengröße zusammen. Sie beeinflusst die Reinigungsfrequenz und den damit verbundenen Einsatz von Dampf zur Sterilisation der Anlagen. Transporte haben eine untergeordnete Bedeutung. Rohmilchtransporte zur Molkerei und die Distribution zum Lager des Handels sowie von dort zu den Filialen, verursachen jeweils 6 % der Emissionen aus Endenergienutzung entlang der Bereitstellungskette. Auf der Stufe der Molkereien findet keine Prüfung der These zur "Ecology of Scale" statt, da die Sorten produzierter Milch variieren und die Stichprobe insgesamt gering ist.

Auf allen Stufen der Bereitstellungskette ist die Streuung der THG-Emissionen zwischen den Betrieben sehr groß. Daher ist für eine korrekte CF-Deklaration des Produkts entweder eine Schwankungsbreite von ca. 50 % anzugeben, oder jeder zuliefernde Betrieb wäre einzeln zu erheben. Dies ist umso aufwendiger, je komplexer das Produkt ist und somit mehr Zulieferanten beteiligt sind.

Vor dem Hintergrund des erheblichen Aufwands der Erstellung eines "Carbon Labels" für Milch und der Vielzahl bereits bestehender Produktkennzeichnungen scheint ein alternativer Weg zur Sensibilisierung des Verbrauchers für Produkte mit niedrigen THG-Emissionen sinnvoll. Hinzu kommt, dass Endverbraucher durch ihr eigenes Handeln einen nicht zu vernachlässigenden, großen Anteil an der Klimarelevanz einer vollständigen Prozesskette von der Primärproduktion über den Point of Sale bis zum verzehrsbereiten Lebensmittel im privaten Haushalt haben.

Gleichwohl sind - unabhängig von einer Produktdeklaration - Prozessanalysen bei den Produzenten und im Handel hilfreich, um Abläufe zu optimieren und Lieferanten strategisch sinnvoll auszuwählen. Die optimale Kommunikation dieser Bemühungen gegenüber dem Kunden, sei es auf Produktebene oder über die Marke, bleibt eine offene Herausforderung.

7 Literaturverzeichnis

- (ADEME 2011) Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie (Hg.): Reading guide for the methodology annex of BP X30-323-0 (2011). Online verfügbar unter: <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=84715&p1=00&p2=09&ref=17597> (zuletzt geprüft am 04.04.2013).
- (ADEME 2012) Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie (Hg.): Guide de lecture du référentiel BP X30-323-15. Produits Alimentaires (2012). Online verfügbar unter: http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=9D6B934E3725C5E6A583A991C11C981C_tomcatlocal1360681566739.pdf (zuletzt geprüft am 04.04.2013).
- (AGEB 2011a) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (Hg.): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2010. Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes (2011). Online verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=139> (zuletzt geprüft am 31.01.2012).
- (AGEB 2011b) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (Hg.): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2009 (2011). Online verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65> (zuletzt geprüft am 16.01.2012).
- (Basset-Mens 2009) Basset-Mens C, Ledgard S, Boyes M: Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. In: *Ecological Economics* 68 (6) 2009, S. 1615–1625.
- (Bake 2003) Bake K: Handbuch der Milch und Molkereitechnik. Gelsenkirchen: Th. Mann 2003.
- (Berlin 2005) Berlin J: Environmental improvements of the post-farm dairy chain: Production management by systems analysis methods. Univ. Diss. Göteborg: Chalmers University of Technology. ESA report, Division of Environmental Systems Analysis (6) 2005.
- (BMELV 2008) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.): Bericht des BMELV für einen aktiven Klimaschutz der Agrar-, Forst- und Ernährungswirtschaft und zur Anpassung der Agrar- und Forstwirtschaft an den Klimawandel (2008). Online verfügbar unter: http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Klimaschutz/Klimaschutzbericht2008.html;jsessionid=300FE6A17556179D3180A2CD821F262B.2_cid367 (zuletzt geprüft am 26.06.2013).
- (BMELV 2010) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2010. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 2010.
- (BMELV 2013) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2012. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 2013. Online verfügbar unter: <http://www.bmelv-statistik.de/de/statistisches-jahrbuch/> (zuletzt geprüft am 08.06.2013).
- (BMVBS 2009) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.): Verkehr in Zahlen 2009/10. Hamburg: DVV Media Group GmbH 2009.

- (BMWi 2011) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hg.): Zahlen und Fakten. Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung (2011). Online verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html> (zuletzt geprüft am 06.03.2013).
- (Bortzmeyer 2011) Bortzmeyer M: The French environmental labelling scheme: preliminary outcomes of the experimentation phase and future outlook. Website des PCF World Summit 2011. Online verfügbar unter: <http://www.pcf-world-forum.org/initiatives/country-governmental-initiatives/france/> (zuletzt geprüft am 05.04.2013).
- (Brade 2008) Brade W, Dämmgen U, Lebzien P, Flachowsky G: Milcherzeugung und Treibhausgas-Emissionen. In: *Berichte über Landwirtschaft* 86 (3) 2008, S. 445–460.
- (Brümmer 2010) Brümmer C: Die Treibhausgasbilanz am Agrarstandort Gebesee. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hg.): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. Darmstadt: KTBL-Schrift (483) 2010, S. 208–220.
- (DIW 2010) Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Verkehr in Zahlen 2009/2010. Hamburg: DVV Media Group GmbH 2010.
- (PAS 2050 2008) British Standards Institution (Hg.): Publicly Available Specification: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services PAS 2050. London: BSI 2008.
- (PAS 2050 2011) British Standards Institution (Hg.): Publicly available specification: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services PAS 2050. BSI 2011.
- (BP X30-323 2008) Boutique afnor (Hg.): General principles for an environmental communication on mass market products BP X30-323. La Plaine Saint-Denis: AFNOR 2008.
- (Carlsson-Kanyama 1998) Carlsson-Kanyama A: Climate change and dietary choices - how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? In: *Food Policy* 23 (3/4) 1998, S. 227–293.
- (Casey 2005) Casey JW, Holden NM: Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. In: *Agricultural Systems* 86 (1) 2005, S. 97–114.
- (Casey 2005) Casey JW, Holden NM: The Relationship between Greenhouse Gas Emissions and the Intensity of Milk Production in Ireland. In: *J Environ Qual* 34 (2) 2005, S. 429–436.
- (Cederberg 2000) Cederberg C, Mattsson B: Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming. In: *Journal of Cleaner Production* 8 (1) 2000, S. 49–60.
- (Cederberg 2003) Cederberg C, Stadig M: System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production. In: *Int J Life Cycle Assess* 8 (6) 2003, S. 350–356.
- (Cederberg 2004) Cederberg C, Flysjö A: Life cycle inventory of 23 dairy farms in southwestern Sweden. SIK-Rapport (728) 2004.
- (Climatop 2013) Climatop: Website des Labels "approved by climatop" (2013). Online verfügbar unter: <http://www.climatop.ch/index.php/Produktkatalog.html> (zuletzt geprüft am 27.06.2013).

- (Dalgaard 2008) Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue W: LCA of soybean meal. In: *Int J Life Cycle Assess* 13 (3) 2008, S. 240–254.
- (De Boer 2003) De Boer IJM: Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. In: *Livestock Production Science* 80 (1-2) 2003, S. 69–77.
- (De Klein 2006) De Klein C, Novoa RS, Orle S, Smith KA, Rochette P, Wirth TC: N₂O emission from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: IPCC 2006 – Guidelines for national greenhouse gas inventories Vol. 4, S. 11.1–11.54.
- (Eide 2002) Eide MH: Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. In: *Int J Life Cycle Assess* 7 (2) 2002, S. 115–126.
- (Enquete-Kommission 1994) Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hg.): Landwirtschaft. Band 1 von 3. Bonn: Economica (1) 1994.
- (2003/66/EG) Europäische Kommission: Richtlinie betreffend die Energiekettierung für elektrische Haushaltskühl- und -gefriergeräte sowie entsprechende Kombinationsgeräte (03.06.2003). In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L170, S. 10–14.
- (2013/179/EU) Europäische Kommission: Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations (09.04.2013). In: *Official Journal of the European Union* L 124 (56), S. 1–210.
- (VO (EU) Nr. 397/2013) Europäische Kommission: Verordnung zur Änderung der VO (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Überwachung der CO₂-Emissionen neuer Personenkraftwagen (30.04.2013). In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L120, S. 4–8.
- (VO (EG) Nr. 443/2009) Europäisches Parlament und Rat: Verordnung zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen (23.04.2009). In: *Amtsblatt der Europäischen Union* (L140), S. 1–15.
- (Flachowsky 2007) Flachowsky G, Brade W: Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. In: *Züchtungskunde* 79 (6) 2007, S. 417–465.
- (Flysjö 2011) Flysjö A, Cederberg C, Henriksson M, Ledgard S: How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. In: *Int J Life Cycle Assess* 16 (5) 2011, S. 420–430.
- (Forster 2007) Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Bernsten T, Betts R, Fahey DW et al.: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: University Press 2007, S. 129–234. Online verfügbar unter: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf> (zuletzt geprüft am 10.03.2013).
- (Foster 2006) Foster C, Green K, Bleda M, Dewick P, Evans B, Flynn A, Mylan J: Environmental impacts of food production and consumption. A report for the department for environment, food and rural affairs. Manchester Business School. London: defra 2006. Online verfügbar unter: http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=EV02007_4601_FRP.pdf. (zuletzt geprüft am 06.03.2012)

- (Fourdrin 2009) Fourdrin E: Environmental communication on consumer goods in France. Seminar of the federal public service Belgium: Toward consumer-oriented environmental information on consumer goods. Brüssel, 22. Januar 2009. Online verfügbar unter: www.health.belgium.be/filestore/16254550/FOURDRIN_Brussels_22_January_2009_1_16254550_en.pdf&ei=zDjIUdL9FIbbsgaXxYGgAg&usg=AFQjCNE3tjPEPKvqTeIZOVplZBm5ZenXBQ&bvm=bv.48705608,d.Yms (zuletzt geprüft am 16.07.2013).
- (Frischknecht 2011) Frischknecht RD, Tuchschnid M, Itten R: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen. Version 2.2. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE. ESU-services Ltd. Uster: CH 2011. Online verfügbar unter: <http://www.esu-services.ch/publications/energy/> (zuletzt geprüft am 16.01.2012).
- (Gerber 2010) Gerber P, Vellinga T, Opio C, Henderson B, Steinfeld H: Greenhouse gas emissions from the dairy sector. A life cycle assessment. Hg. v. FAO. Rom: Italy 2010.
- (Granarolo S.p.A. 2012) Granarolo S.p.A. (Hg.): Environmental product declaration for high-quality pasteurized milk packaged in pet bottles (2012). Online verfügbar unter: http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9083/epd118_Granarolo_high_quality_pasteurized_milk_2013.pdf (zuletzt geprüft am 25.06.2013).
- (Grönroos 2006) Grönroos J, Seppälä J, Voutilainen P, Seuri P, Koikkalainen K: Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 117 (2-3) 2006, S. 109–118.
- (Haas 2001) Haas G, Wetterich F, Köpke U: Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83 (1-2) 2001, S. 43–53.
- (Haenel 2012) Haenel H, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H et al.: Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2010. vTI Agriculture and Forestry Research. *Landbauforschung*, Sonderheft (356) 2012.
- (Heller 2008) Heller M: Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of a large-scale vertically integrated organic dairy in the U.S. 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector. Zürich, 12.-14. November 2008. Online verfügbar unter: <http://www.agroscope.admin.ch/aktuell/02720/02722/03985/04043> (zuletzt geprüft am 03.01.2012).
- (Heller 2011) Heller MC, Keoleian GA: Life cycle energy and greenhouse gas analysis of a large-scale vertically integrated organic dairy in the united states. In: *Environmental Science & Technology* 45 (5) 2011, S. 1903–1910.
- (Herrmann 2010) Herrmann H: Klauenpflegestände. 1. Auflage. Hg. v. DLG e. V. Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft. Frankfurt am Main: DLG-Merkblatt (362) 2010.
- (Hirschfeld 2008) Hirschfeld J, Weiß J, Preidl M, Korbun T: Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Berlin: Schriftenreihe des IÖW (186) 2008.
- (Hospido 2003) Hospido A, Moreira MT, Feijoo G: Simplified life cycle assessment of Galician milk production. In: *International Dairy Journal* 13 (10) 2003, S. 783–796.
- (IDF 2009) International Dairy Federation (Hg.): Environmental / ecological impact of the dairy sector. Literature review on dairy products for an inventory of key issues. List of en-

- vironmental initiatives and influences on the dairy sector. Bulletin of the International Dairy Federation (436) 2009.
- (Inaba 2009) Inaba A: Japanese activities on CFP. 1st PCF World Summit. Berlin, 23-24 September 2009.
- (IPCC 2006) Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories 2006. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use. Hg. v. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. Japan: IGES 2006. Online verfügbar unter: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm> (zuletzt geprüft am 28.02.2012).
- (Japanese Government 2009) Japanese Government (Hg.): Draft of Japanese technical specification „general principles for the assessment and labeling of carbon footprint of products“ (extract) 2009.
- (Kassow 2009) Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G: Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. Hg. v. Rahmann G. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau. *Landbauforschung Sonderheft* (335) 2009.
- (Klimatmärkning för mat 2009) Klimatmärkning för mat (Hg.): Project description for the project standards for climate marking of foods (2009:01). Svenskt sigill, KRAV 2009. Online verfügbar unter: <http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/uploads/2009/02/projektbeskrivning-en-23.pdf> (zuletzt geprüft am 21.07.2009).
- (Klimatmärkning för mat 2010) Klimatmärkning för mat (Hg.): Criteria for mitigation of climate impact from food production and distribution (Version 2010:3). Online verfügbar unter: <http://www.klimatmarkningen.se> (zuletzt geprüft am 05.04.2013).
- (Kool 2006) Kool DM, Hoffland E, Hummelink EWJ, van Groenigen JW: Increased hippuric acid content of urine can reduce soil N₂O fluxes. In: *Soil Biology and Biochemistry* 38 (5) 2006, S. 1021–1027.
- (KRAV o.J.a) KRAV, Svenskt sigill (Hg.): Climate Labeling of food in Sweden. Online verfügbar unter: <http://www.krav.se/sv/Klimat/klimat/In-English/> (zuletzt geprüft am 02.03.2009).
- (KRAV o.J.b) KRAV, Svenskt sigill (Hg.): Standards for reducing climate impact in food. Online verfügbar unter: <http://www.krav.se/sv/Klimat/klimat/In-English/> (zuletzt geprüft am 02.03.2009).
- (KRAV 2012) KRAV, Svenskt sigill (Hg.): Status report: climate certification for food. Online verfügbar unter: <http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/uploads/2012/02/Status-report-climate-certification-Sweden-feb-2012.pdf> (zuletzt geprüft am 05.04.2013).
- (KRAV 2008) KRAV, Svenskt sigill (Hg.): Project description for the project standards for climate marking of foods (Version 2.0) 2008. Online verfügbar unter: <http://www.krav.se/sv/Klimat/klimat/In-English> (zuletzt geprüft am 02.03.2008).
- (KTBL 2011) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hg.): Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11. Online verfügbar unter: <http://www.ktbl.de/index.php?id=931> (zuletzt geprüft am 30.09.2011).

- (Lassen 2008) Lassen B, Friedrich C, Prübe H: Statistische Analysen zur Milchproduktion in Deutschland - Geografische Darstellung (Stand: Januar 2008). Hg. v. Institut für Betriebswirtschaft. Braunschweig: vTI 2008.
- (Luo 2008) Luo J, Ledgard SF, de Klein CAM, Lindsey SB, Kear M: Effects of dairy farming intensification on nitrous oxide emissions. In: *Plant Soil* (309) 2008, S. 227–237.
- (Matthes 2008) Matthes FC: Climate Chance: 01/2008. Politikszenerarien für Klimaschutz IV, Szenarien bis 2030. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau: 2008. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de> (zuletzt geprüft am 12.12.2008).
- (Meul 2007) Meul M, Nevens F, Reheul D, Hofman G: Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119 (1-2) 2007, S. 135–144.
- (Migros 2009) Migros (Hg.): website von migros: Klimaschonende Produkte deklarieren (2009). Online verfügbar unter: http://www.migros.ch/DE/Ueber_die_Migros/Nachhaltigkeit/Produkte_Labels/CO2_Produktdeklaration/Seiten/Label_Climatop.aspx (zuletzt geprüft am 09.03.2009).
- (MIV 2012) Milchindustrie Verband e. V. (Hg.): Zahlen, Daten, Fakten. Beilage zum Geschäftsbericht 2011/2012. Online verfügbar unter: <http://www.meine-milch.de> (zuletzt geprüft am 30.06.2013).
- (MIV 2013) Milchindustrie Verband e. V. (Hg.): website des MIV: Deutscher Milchmarkt. Import- und Exportstruktur (2013). Online verfügbar unter: <http://www.meine-milch.de/artikel/deutscher-milchmarkt-import-und-exportstrukturen> (zuletzt geprüft am 30.06.2013).
- (Monteny 2001) Monteny GJ, Groenestein CM, Hilhorst MA: Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (60) 2001, S. 123–132.
- (Müller-Westermeier 2006) Müller-Westermeier G: Wetter und Klima in Deutschland. 4. überarbeitete Auflage. Stuttgart: Hirzel Verlag 2006.
- (Mwangome 2009) Mwangome GC: Use of delivered energy in a food process chain. A case study of the Kenyan fluid milk chain. Univ. Diss. Gießen: Justus-Liebig-Universität. Online verfügbar unter: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2009/6992> (zuletzt geprüft am 17.03.2013).
- (Nature & More 2009b) Nature & More Foundation (Hg.): website von nature & more: CO₂-Angabe für Transport und Lagerung (2009). Online verfügbar unter: http://www.natureandmore.com/German/Content/Main_Navigation/CO2/CO2_Angaben.cmt (zuletzt geprüft am 09.03.2009).
- (Nature & More 2009a) Nature & More Trace and Tell system (Hg.): website von nature & more: CO₂-Ausgleich für die gesamte Lieferkette (2009). Online verfügbar unter: http://www.natureandmore.com/German/Content/Main_Navigation/CO2/CO2_Ausgleich.cmt (zuletzt geprüft am 09.03.2009).
- (DIN EN ISO 14040 2006) Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes im DIN: Umweltmanagement – Ökobilanzen – Grundsätze und Rahmenbedingungen DIN EN ISO 14040. Beuth 2006.

- (DIN EN ISO 14044 2006) Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes im DIN: Umweltmanagement – Ökobilanzen – Anforderungen und Anleitungen DIN EN ISO 14044. Beuth 2006.
- (DIN ISO 14067 2012) Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes im DIN: Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation DIN ISO 14067 (Entwurf). Beuth 2012.
- (Nutter 2010) Nutter D, Kim D, Thoma G, Ulrich R: Greenhouse Gas Emission Analysis for Fluid Milk Processors: Processing, Packaging and Distribution. Poster Presentation: Icafood 2010, 7th International Conference. Bari, 22.-24 September 2010.
- (Öko-Institut e.V. 2010) Öko-Institut e.V. (Hg.): Gemis 4.6. Globales Emissionsmodell integrierter Systeme. Online verfügbar unter: <http://www.gemis.de> (zuletzt geprüft am 12.12.2011).
- (Olesen 2006) Olesen JE, Schelde K, Weiske A, Weisbjerg MR, Asman WAH, Djurhuus J: Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (2-3) 2006, S. 207–220.
- (PCF Pilot Project Germany 2009) PCF Pilot Project Germany (Hg.): Product carbon footprinting - Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum? Ergebnisbericht. Thema 1, 2009. Online verfügbar unter: http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht_2009.pdf (zuletzt geprüft am 06.04.2013).
- (Penny 2011) Penny T: Large-scale product carbon footprinting of consumer goods. Proceedings of life cycle assessment XI: Green future markets. Chicago, 4.-6. Oktober 2011. Online verfügbar unter: <http://lcacenter.org/lcaxi/abstracts/392.htm> (zuletzt geprüft am 16.06.2011).
- (Phan 2012) Phan N, Kim K, Parker D, Jeon E, Sa J, Cho C: Effect of beef cattle manure application rate on CH₄ and CO₂ emissions. In: *Atmospheric Environment* (63) 2012, S. 327-336.
- (Picard 2008) Picard C: The Casino Carbon Footprint. The 1st complete environmental labelling scheme in France. Green Spider Annual Meeting. Annecy, 2.-3. Oktober 2009. Online verfügbar unter: http://ec.europa.eu/environment/networks/greenspider/doc/am_2008/am08_pres_indice_carbone_casino.pdf (zuletzt geprüft am 09.03.2009).
- (Prott 2011) Prott H: Daten zur Distribution der Trinkmilch von Molkerei M3. Mitarbeiter in Molkerei M3. E-Mail vom 14.10.2011.
- (PTB 2010) Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Hg.): Temperatur-Mengenumwertung von Biokraftstoff-Mineralkraftstoff-Gemischen und Biokraftstoff-Heizöl-Gemischen (2010). Unter Mitarbeit von: Wolf H, Rinker M. Online verfügbar unter: <http://www.ptb.de/de/org/1/15/151/papers/bio-ethanol-d.pdf> (zuletzt geprüft am 17.02.2012).
- (Rochette 2011) Rochette P: Towards a standard non-steady-state chamber methodology for measuring soil N₂O emissions. In: Special Issue: Greenhouse Gases in Animal Agriculture - Finding a Balance between Food and Emissions (166–167) 2011, S. 141–146.
- (Rottmann 2011) Rottmann: Energieumsatz für das Malen und Mischen von Futtermitteln. Dienstleister in der Landwirtschaft. Telefonische Auskunft vom 08.04.2011.

- (Rotz 2010) Rotz CA, Montes F, Chianese DS: The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. In: *J Dairy Sci* 93 (3) 2010, S. 1266–1282.
- (Rudolphi 2004) Rudolphi B: Normwerte für die Gewichtsentwicklung weiblicher Kälber und Jungrinder. Institut für Tierproduktion Dummerstorf (2004). Online verfügbar unter: <http://www.portal-rind.de/index.php?name=News&file=article&sid=91> (zuletzt geprüft am 16.01.2012).
- (Schächtele 2007) Schächtele K, Hertle H: Die CO₂-Bilanz des Bürgers. Recherche für ein internetbasiertes Tool zur Erstellung persönlicher CO₂ Bilanzen. Hg. v. Umweltbundesamt, Ifeu. Publikation des Umweltbundesamts 2007.
- (Schlich 2005) Schlich E, Fleissner U: The ecology of scale: assessment of regional energy turnover and comparison with global food. In: *Int J Life Cycle Assess* 10 (3) 2005, S. 219–223.
- (Schlich 2008a) Schlich, Elmar (Hg.): Äpfel aus deutschen Landen - Endenergieumsätze bei Produktion und Distribution. Göttingen: Cuvillier Verlag 2008.
- (Schlich 2008b) Schlich E: Beef of local and global provenance: A comparison in terms of energy, CO₂, scale, and farm management. 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector. Zürich, 12.-14. November 2008. Online verfügbar unter: <http://www.agroscope.admin.ch/aktuell/02720/02722/03985/> (zuletzt geprüft am 07.06.2013).
- (Schlich 2009) Schlich E, Hardtert B, Krause F: Rindfleisch aus Sicht der Ecology of Scale. Rindfleisch aus regionaler und globaler Herkunft: Von der Primärproduktion bis zum PoS - Ein Vergleich vollständiger Prozessketten hinsichtlich Energieumsatz und Kohlenstoffdioxidemission. In: *Fleischwirtschaft* (9) 2009, S. 114–118.
- (Sejian 2011) Sejian V, Lal R, Lakritz J, Ezeji T: Measurement and prediction of enteric methane emission. In: *Int J Biometeorol* 55 2011, S. 1–16.
- (Sima 2012) Sima A, Möhrmann I, Thomae D, Schlich E: Einkaufswege als Teil des Consumer Carbon Footprints (CCF) - Zum Anteil des Endverbrauchers an der Klimarelevanz von Prozessketten im Lebensmittelbereich. In: *Ernährungsumschau* 59 (9) 2012, S. 524–530.
- (Sjaunja 1990) Sjaunja LO, Baevre L, Junkkarinen L, Pedersen J, Setälä J: A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula (1990) S. 156–157.
- (Sonesson 2003) Sonesson U, Berlin J: Environmental impact of future milk supply chains in Sweden: a scenario study. In: *Journal of Cleaner Production* 11 (3) 2003, S. 253–266.
- (Statistisches Bundesamt 2011) Statistisches Bundesamt (Hg.): Schlachtungs- und Schlachtgewichtsstatistik. Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (zuletzt geprüft am 04.01.2012).
- (Statistisches Bundesamt 2013a) Statistisches Bundesamt (Hg.): Allgemeine und repräsentative Erhebung über die Viehbestände. Tabellen 41311. Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (zuletzt geprüft am 08.06.2013).
- (Statistisches Bundesamt 2013b) Statistisches Bundesamt (Hg.): Außenhandel. Tabellen 51000. Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (zuletzt geprüft am 08.06.2013).

- (Sun 2008) Sun H, Trabue SL, Scoggin K, Jackson WA, Pan Y, Zhao Y et al.: Alcohol, volatile fatty acid, phenol, and methane emissions from dairy cows and fresh manure. In: *J Environ Qual* 37 (2) 2008, S. 615–622.
- (Tan 2009) Tan IYS, van Es HM, Duxbury JM, Melkonian JJ, Schindelbeck RR, Geohring LD et al.: Single-event nitrous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. In: *Soil and Tillage Research* 102 (1) 2009, S. 19–26.
- (The Carbon Trust 2008) The Carbon Trust (Hg.): Introduction to the carbon trust standard methodology. UK 2008. Online verfügbar unter: <http://www.carbontrust.co.uk>.
- (The Carbon Trust 2008) The Carbon Trust (Hg.): Product carbon Footprinting: the new business opportunity. Experience from leading companies. UK 2008.
- (Thomae 2011) Thomae D, Möhrmann I, Sima A, Schlich E: Relevance of consumers shopping trip to the carbon footprint of German food supply. Proceedings of life cycle assessment XI: Green future markets. Chicago, 4.-6. Oktober 2011. Online verfügbar unter: <http://lcacenter.org/lcaxi/sessions/Posters.htm> (zuletzt geprüft am 06.06.2013).
- (Thomassen 2008) Thomassen MA, Dalgaard R, Heijungs R, Boer I de: Attributional and consequential LCA of milk production. In: *Int J Life Cycle Assess* (13) 2008, S. 339–349.
- (Thomassen 2008) Thomassen MA, van Calster KJ, Smits MCJ, Iepema GL, Boer IJM de: Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. In: *Agricultural Systems* 96 (1-3) 2008, S. 95–107.
- (Thomassen 2009) Thomassen MA, Dolman MA, van Calster KJ, Boer IJM de: Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms. In: *Ecological Economics* 68 (8-9) 2009, S. 2278–2284.
- (Töpel 2004) Töpel A: Chemie und Physik der Milch: Naturstoff – Rohstoff – Lebensmittel. Hamburg: Behr's 2004.
- (UBA 2008) Umweltbundesamt (Hg.): Der Blaue Engel und seine Perspektiven für die Zukunft. Online verfügbar unter: http://www.blauer-engel.de/de/blauer_engel/presse/meldungen.php?we_objectID=193 (zuletzt geprüft am 09.03.2009).
- (UBA 2010) Umweltbundesamt (Hg.): Grundsätze zur Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: http://www.blauer-engel.de/_downloads/publikationen/Vergabegrundsätze-2010.pdf. (zuletzt geprüft am 05.04.2013).
- (UBA 2011) Umweltbundesamt (Hg.): Climate Chance 11/2011. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2009. Dessau-Roßlau: 2011. Online verfügbar unter: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4126.html> (zuletzt geprüft am 31.01.2012).
- (UBA 2011b) Umweltbundesamt (Hg.): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009. Fachgebiet I 2.5 Energieversorgung und -daten. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf> (zuletzt geprüft am 31.01.2012).

- (UBA 2012) Umweltbundesamt (Hg.): Climate Chance 08/2012. Bericht unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012. Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2010. Dessau-Roßlau: 2012. Online verfügbar unter: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4292.html> (zuletzt geprüft am 28.01.2013).
- (Van der Werf 2009) van der Werf HMG, Kanyarushoki C, Corson MS: An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. In: *Journal of Environmental Management* 90 (11) 2009, S. 3643–3652.
- (Vereinte Nationen 1997) Vereinte Nationen: Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen 1997.
- (WBCSD 2004) WBCSD, WRI: A corporate accounting and reporting standard. Revised edition. Hg. v. The GHG Protocol 2004.
- (Webb 2005) Webb J, Anthony SG, Brown L, Lyons-Visser H, Ross C, Cottrill B et al.: The impact of increasing the length of the cattle grazing season on emissions of ammonia and nitrous oxide and on nitrate leaching in England and Wales. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105 (1-2) 2005, S. 307–321.
- (Weidema 2008) Weidema BP, Wesnaes M, Hermansen J, Kristensen T, Halberg N: Environmental improvement potentials of meat and dairy products. Hg. v. European Commission. Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). Spain 2008.
- (Weiske 2006) Weiske A, Vabitsch A, Olesen JE, Schelde K, Michel J, Friedrich R, Kaltschmitt M: Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (2-3) 2006, S. 221–232.
- (Weiß 2011) Weiß J, Pabst W, Granz S: Tierproduktion. 14. Aufl. Stuttgart: Enke 2011.
- (Woitowitz 2007) Woitowitz A: Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren - dargestellt am Beispiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweisen. Univ. Diss. München: Technische Universität München. Online verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20071127-619300-1-7> (zuletzt geprüft am 07.06.2013).
- (WRI; WBCSD 2011) World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development (Hg.): GHG protocol corporate value chain (scope 3) and product life cycle standards. factsheet 2011.
- (WRI; WBCSD 2011) World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development (Hg.): Greenhouse gas protocol: Product life cycle accounting and reporting standard. USA 2011.
- (Würz 2011) Würz R: Belieferung der Filialen mit Kühlwaren. Mitarbeiter eines Handelsunternehmens. E-Mail vom 06.06.2011.
- (Xu 2009) Xu T, Flapper J: Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry. In: *Energy Policy* 37 (12) 2009, S. 5334–5341.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bedanken.

Besonderen Dank, meinem Doktorvater Prof. Dr. Elmar Schlich, der mir mit seinem Engagement diese Arbeit ermöglicht hat. Prof. Dr. Ditmar Bräunig für die Übernahme des Zweitgutachtens. Allen Kooperationspartnern, die diese Arbeit durch die vertrauensvolle Bereitstellung der Daten ermöglicht haben. Ich bedanke mich für die Zeit, die Sie sich für die Erhebung genommen haben und die freundlichen Gespräche. Den Masterstudentinnen und Masterstudenten Annekathrin Halbeis, Sebastian Michalla, Insa Möhrmann und Anne Sima für die tatkräftige Unterstützung bei der Datenermittlung im Rahmen ihrer Masterarbeiten.

Herzlichen Dank, der gesamten Arbeitsgruppe der Professur für Prozesstechnik für die kollegiale und freundschaftliche Atmosphäre. Meiner Familie, meinem Mann und meinen Kindern, meinen Eltern, Schwiegereltern und meiner Schwester sowie allen Freunden, die mir zur Seite standen, Danke.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Klimarelevanz von Prozessketten zur Bereitstellung von
Trinkmilch -
von der Landwirtschaft bis zum Handel

ANHANG

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Ökotrophologie
am Fachbereich 09 Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
M.Sc. Daniela Thomae
Lahnau, 20.09.2013

Inhaltsverzeichnis

Landwirtschaft	I
Endenergieumsatz	I
Erträge der Milchkuhhaltung und daraus abgeleitete Allokationsfaktoren	II
Primärenergieumsatz	II
Spezifischer Primärenergieumsatz	III
Spezifische THG-Emissionen	IV
Mittelwerte der spezifischen THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe	V
Treibstoffumsatz für die landwirtschaftliche Produktion von Futtermitteln	VI
Einsatz von Milchaustauscher	XVI
Treibstoffumsatz verschiedener Fahrzeuge	XVI
Transport von Zukauffutter	XVII
Fahrten von Dienstleistern und Mitarbeitern	XXI
Molkereien	XXIV
Verarbeitete Molkereiprodukte der untersuchten Molkereien und daraus abgeleitete Allokationsfaktoren	XXIV
Endenergieumsatz	XXIV
Primärenergieumsatz	XXIV
Spezifischer Primärenergieumsatz	XXIV
Spezifische THG-Emissionen	XXV
Endenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel	XXV
Primärenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel	XXV
Spezifischer Primärenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel	XXV
Spezifische THG-Emissionen für Transporte zur Molkerei und zum Handel	XXVI
Mittelwerte der spezifischen THG-Emissionen der Molkereien	XXVI

Landwirtschaft

Endenergieumsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen ohne Allokation

Betrieb	Diesel am Hof (ohne Mafrü) [l/a]	Diesel aus DL eigenes Futter [l/a]	Diesel Zukauf-futter [l/a]	Treibstoff für DL und Mitarbeiter [l/a]	Diesel Zukauf Transporte [l/a]	Elektro [MJ/a]	Flüssiggas [MJ/a]
M0-1	26.618	781	3.323	235	304	121.292	
M0-2	8.705	974	316	342	127	97.319	
M0-3	9.400	400	600	213	176	129.528	
M0-4	21.400	385	2.186	1.883	771	192.251	
M1-1	40.000		10.064	15.701		295.200	552.000
M2-1	9.119	110	865	157	1.335	106.748	
M2-2	11.906		1.248	195	969	147.931	
M2-3	6.905	388	907	141		59.400	
M2-4	15.343		1.071	312	1.445	167.598	
M3-1	65.000	1.348	3.441	3.338	3.370	345.600	
M3-2	7.160	673	1.971	235	3.133	109.598	
M3-3	40.000	3.164	4.025	282	3.790	234.000	7.820
M3-4	19.000	3.375	7.598	3.261	7.022	529.481	
M3-5		0	10.130	2.194		618.743	
M3-6	10.756	0	28.230	1.314		162.000	
M3-7	40.407	12.200	66.397	19.011	27.446	638.521	

Mafrü: Marktfrüchte

DL: Dienstleister

EE-Umsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen summiert ohne Allokation

Betrieb	Diesel für Tierpflege ohne Transporte [l/a]	Treibstoff für Transporte zum Betrieb [l/a]	Diesel für Tierpflege mit Transporten [l/a]	Diesel Transport zur Molkerei [l/a]
M0-1	30.722	539	31.261	9.742
M0-2	9.995	469	10.464	3.196
M0-3	10.400	389	10.789	7.384
M0-4	23.971	2.654	26.625	5.386
M1-1	50.064	15.701	65.765	1.351
M2-1	10.094	1.492	11.586	292
M2-2	13.154	1.164	14.318	261
M2-3	8.200	141	8.341	788
M2-4	16.414	1.757	18.171	552
M3-1	69.789	6.708	76.497	7.756
M3-2	9.804	3.368	13.172	1.489
M3-3	47.189	4.072	51.261	2.947
M3-4	29.973	10.283	40.256	1.526
M3-5	10.130	2.194	12.324	6.974
M3-6	38.986	1.314	40.300	2.141
M3-7	119004	46457	165461	6031

Erträge der Milchkuhhaltung und daraus abgeleitete Allokationsfaktoren

Betrieb	Jahresmenge erzeugte verkehrsfähige Milch [kg/a]	Jahresmenge erzeugtes Rindfleisch (Schlachtung, Verkauf) [kg/a]	Allokationsfaktor der Milch
M0-1	624.255	6.819	99%
M0-2	240.000	2.005	99%
M0-3	370.000	10.029	97%
M0-4	741.824	2.758	100%
M2-1	292.298	3.832	99%
M2-2	741.000	4.293	99%
M2-3	195.000	10.358	95%
M2-4	611.724	6.100	99%
M3-1	1.800.000	18.918	99%
M3-2	504.120	9.318	98%
M3-3	946.000	24.789	97%
M3-4	2.790.000	5.845	100%
M3-7	7.300.000	53.422	99%

Primärenergieumsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen mit Allokation

Betrieb	Diesel am Hof (ohne Mafrü) [MJ/a]	Diesel aus DL eigenes Futter [MJ/a]	Diesel Zukauf Futter [MJ/a]	Treibstoff für DL und Mitarbeiter [MJ/a]	Diesel Zukauf Transporte [MJ/a]	Elektro [MJ/a]	Flüssiggas [MJ/a]
M0-1	1.091.259	32.019	136.233	9.307	12.463	255.560	0
M0-2	357.788	40.033	12.988	13.567	5.220	205.572	0
M0-3	379.300	16.140	24.211	8.296	7.102	268.614	0
M0-4	883.635	15.897	90.263	75.045	31.836	407.977	0
M2-1	373.045	4.500	35.386	6.209	54.613	224.430	0
M2-2	490.671	0	51.433	7.755	39.934	313.324	0
M2-3	271.742	15.270	35.694	5.358	n.n.	120.140	0
M2-4	629.228	0	43.923	12.346	59.261	353.245	0
M3-1	2.665.897	55.287	141.128	132.147	138.216	728.472	0
M3-2	291.360	27.386	80.205	9.228	127.490	229.208	0
M3-3	1.615.462	127.783	162.556	10.973	153.065	485.693	8.992
M3-4	785.806	139.584	314.240	130.192	290.417	1.125.436	0
M3-7	1.662.496	501.954	2.731.822	754.956	1.129.232	1.350.170	0

Primärenergieumsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen summiert mit Allokation

Betrieb	Diesel für Tierpflege ohne Transporte [MJ/a]	Treibstoff für Transporte zum Betrieb [MJ/a]	Treibstoff für Tierpflege mit Transporten [MJ/a]	Diesel Transport zur Molkerei [MJ/a]	Gesamt ohne Transport zur Molkerei [MJ/a]
M0-1	1.259.511	21.770	1.281.281	403.756	1.536.841
M0-2	410.809	18.787	429.597	132.458	635.168
M0-3	419.652	15.397	435.049	306.029	703.663
M0-4	989.795	106.880	1.096.675	223.222	1.504.652
M2-1	412.931	60.822	473.753	12.102	709.938
M2-2	542.103	47.689	589.792	10.817	903.116
M2-3	322.706	5.358	328.064	32.659	459.979
M2-4	673.151	71.607	744.757	22.878	1.109.686
M3-1	2.862.312	270.364	3.132.676	321.446	3.922.630
M3-2	398.951	136.718	535.670	61.711	778.231
M3-3	1.905.801	164.039	2.069.840	122.138	2.626.394
M3-4	1.239.629	420.609	1.660.239	63.245	2.848.781
M3-7	4.896.272	1.884.188	6.780.459	249.954	8.234.975

Spezifische Primärenergieumsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen (I)

Betrieb	Diesel Zukauf Futter [MJ/kg Milch]	Treibstoff DL und Mitarbeiter [MJ/kg Milch]	Diesel Zukauf Transporte [MJ/kg Milch]	Diesel Transport zur Molkerei [MJ/kg Milch]
M0-1	0,22	0,01	0,02	0,04
M0-2	0,05	0,06	0,02	0,01
M0-3	0,07	0,02	0,02	0,17
M0-4	0,12	0,10	0,04	0,04
M2-1	0,12	0,02	0,19	0,65
M2-2	0,07	0,01	0,05	0,55
M2-3	0,18	0,03	n.n.	0,83
M2-4	0,08	0,02	0,10	0,30
M3-1	0,08	0,07	0,08	0,18
M3-2	0,16	0,02	0,25	0,12
M3-3	0,17	0,01	0,16	0,13
M3-4	0,11	0,05	0,10	0,02
M3-7	0,37	0,10	0,15	0,03

Spezifische Primärenergieumsätze der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen (II)

Betrieb	Elektroenergie [MJ/kg Milch]	Flüssiggas [MJ/kg Milch]	Herstellung von Milchaustauscher (Annahme) [MJ/kg Milch]	Gesamt ohne Transport zur Molkerei [MJ/kg Milch]
M0-1	0,41	0,00	0,00	2,46
M0-2	0,86	0,00	0,00	2,65
M0-3	0,73	0,00	0,00	1,90
M0-4	0,55	0,00	0,00	2,03
M2-1	0,77	0,00	0,04	2,43
M2-2	0,41	0,00	0,00	1,19
M2-3	0,62	0,00	0,06	2,36
M2-4	0,61	0,00	0,02	1,93
M3-1	0,40	0,00	0,03	2,18
M3-2	0,45	0,00	0,03	1,54
M3-3	0,51	0,01	0,07	2,78
M3-4	0,40	0,00	0,02	1,02
M3-7	0,18	0,00	0,01	1,13

Spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen

Betrieb	Diesel für Tierpflege ohne Transporte [g/kg Milch]	Treibstoff DL und Mitarbeiter [g/kg Milch]	Diesel Zukauf Transporte [g/kg Milch]	Elektroenergie [g/kg Milch]	Flüssiggas [g/kg Milch]
M2-1	106	2	13	58	0
M2-2	53	1	4	31	0
M2-3	124	2	n.n.	47	0
M2-4	88	2	7	46	0
M0-1	151	1	1	31	0
M0-2	128	4	2	65	0
M0-3	85	2	1	55	0
M0-4	100	8	3	42	0
M3-1	119	6	5	31	0
M3-2	59	1	18	34	0
M3-3	151	1	11	39	1
M3-4	33	4	7	30	0
M3-7	50	8	11	14	0

Spezifische THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe nach Quellen summiert

Betrieb	Transporte gesamt [g/kg Milch]	Treibstoff für Tierhaltung mit Transporten [g/kg Milch]	Diesel Transport zur Molkerei [g/kg Milch]	Herstellung von Milch- austauscher (Annahme) [g/kg Milch]	Gesamt (ohne Rohmilch- transport) [g/kg Milch]
M2-1	15	121	3	3	182
M2-2	5	58	1	0	89
M2-3	2	126	13	5	177
M2-4	9	96	3	2	144
M0-1	3	154	48	0	185
M0-2	6	134	41	0	199
M0-3	3	88	62	0	143
M0-4	11	111	23	0	152
M3-1	11	130	13	3	163
M3-2	19	79	9	2	115
M3-3	12	163	10	5	208
M3-4	11	44	2	2	76
M3-7	19	69	3	1	84

Mittelwerte der spezifischen THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Betriebe

	spezifische THG-Emissionen		
	Mittelwert	Minimum	Maximum
Alle Endenergieträger	148	76	208
Diesel Tiermanagement	96	33	151
Diesel Transporte zum Betrieb	10	2	19
Elektroenergie	40	14	65
Rohmilchtransporte	18	1	62

Treibstoffumsatz für die landwirtschaftliche Produktion von Futtermitteln

Für die Abschätzung der Endenergieumsätze für die Futtermittelproduktion auf Grundlage von Daten des KTBL (KTBL 2011) sind verschiedene Kenndaten festzulegen. Hierfür dienen die Mittelwerte der untersuchten Betriebe der vorliegenden Arbeit.

- 20 ha Parzellengröße (Schlaggröße),
- 4 km Feld-Hof-Entfernung und eine
- maximale Motorisierung von 83 kW (manche Arbeiten werden von der KTBL-Datenbank automatisch mit einer geringeren Motorisierung bewertet)
- aus wendenden und nicht-wendenden Verfahren wird der Mittelwert ermittelt, Direktsaat wird nicht berücksichtigt

Endenergieumsätze, die in der Regel von Dienstleistern aufgewandt werden, sind in den nachfolgenden Angaben enthalten.

Fremd erbrachte Dienstleistungen sind in Spalte 1 farbig hinterlegt.

Herstellung eigener Futtermittel M0-1 bis M0-2

Sorte:	Anbau- fläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Ver- kauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Markt- früchte [l/a]	Diesel Futter- mittel [l/a]	Diesel zuge- kaufte DL [l/a]
Luzerne-Klee gras, öko	26,4	46,5	100		69	1822	0	1822	
Silomais, öko	13,2	34	100		105	1386	0	1386	
Grünland intensiv, öko, 4 Schnitt	30	19,7	100		100	3000	0	3000	
Grünland extensiv, öko, 1 Schnitt, Weide	15	45	100		58	870	0	870	
Naturschutzfläche, Heu, öko, 1 Schnitt ohne Düngung	13	2,3	100		27,9	363	0	363	
Winterweizen, Vermehrung, öko	10,1	4,8	25	75	78	788	591	197	
Winterroggen- Vermehrung, öko	9,6	3,9	25	75	78	749	562	187	
Dinkel-Vermehrung, öko	6,8	4,01	25	75	78	530	398	133	
Triticale- Vermehrung, öko	6,2	4,5	25	75	78	484	363	121	
Wechselweizen- Vermehrung, öko	6,0	3,6	25	75	78	468	351	117	
Hafer-Vermehrung, öko	5,7	4,0	25	75	78	445	333	111	
Ackerbohnen, öko	12,4	4,0	100		72	893	0	893	
Kartoffeln, öko	1,6	30	30	70	148	237	166	71	
Verusche- Luzernengras, öko	0,5	46,5	100		69	35	0	35	
Versuche-Erbsen, öko	1,5	3,45		100	77	116	116	0	
Versuche-Brache, öko	1,0			100			0	0	
<i>Futter Mischen</i>	<i>142</i>				<i>5,5</i>	<i>781</i>			
Summe M0-1						12.183	2.879	9.304	781
Getreide, öko	56	3,5	75	25	74	4144	1036	3108	
Ackergras, öko	14	35	100		69	966	0	966	
Wiese (Silage), öko	22,6	35	100		100	2260	0	2260	
Wiese (Heu), öko	5,4	35	100		104	562	0	562	
Weide, öko	4	45	100		26,5	106	0	106	
<i>Getreide Dreschen</i>	<i>147</i>		75	25	<i>4,3</i>	<i>474</i>			
<i>Kalk ausfahren</i>						<i>100</i>			
<i>Silage herstellen</i>						<i>400</i>			
Summe M0-2						8038	1036	7002	974

Herstellung eigener Futtermittel M0-3 bis M0-4 und M1-1

Sorte:	Anbau- fläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Ver- kauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Markt- früchte [l/a]	Diesel Futter- mittel [l/a]	Diesel zuge- kaufte DL [l/a]
Mais, öko	6,75	20	100		105	709	0	709	
Getreide, öko	188,34	3	36	64	74	13.937	8880	5.057	
Ackergras, öko	24,36	10	100		69	1.681	0	1.681	
Wiese (Silage), öko	15,3	6	100		100	1.530	0	1.530	
Wiese (Heu), öko	5	4	100		104	520	0	520	
Weide, öko	15,57	45	100		26,5	413	0	413	
Ackerbohne, öko	6,25	2,5	100		72	450	0	450	
Erbse, öko	8,95	3	100		77	689	0	689	
<i>Kleegras (Ackergras Ernte)</i>	<i>244</i>				<i>1,6</i>	<i>400</i>	0		
Summe M0-3	270,52					19.929	8880	11049	400
Getreide, öko	28	3,2	100		74	2.072	0	2.072	
Ackergras, öko	30	20,5	100		69	2.070	0	2.070	
Wiese (Silage), öko	102	19,7	100		100	10.200	0	10.200	
Mäheweide, öko	57	45	100		58	3.306	0	3.306	
Weide, öko	19	45	100		26,5	504	0	504	
Hüttenge (schlechtes Weideland), öko	17	20	100		21,3	362	0	362	
<i>Getreide Dreschen</i>	<i>90</i>				<i>4,3</i>	<i>385</i>	0		
Summe M0-4						18.514	0	18.514	385
Grünland	155	22	100		98	15.190	0	15.190	
Silomais	55	45	100		95	5.225	0	5.225	
Summe M1-1						20.415	0	20.415	

Herstellung eigener Futtermittel M2-1 bis M2-3

Sorte:	Anbaufläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Verkauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Marktfrüchte [l/a]	Diesel Futtermittel [l/a]	Diesel zugekaufte DL [l/a]
Silomais	14,02	51,4	100		95	1.332	0	1.332	
Winterweizen	18,27	7,8	10	90	73	1.334	1.200	133	
Winterweizen (Schwiegereltern*)	30	7,8	10	90	73	2.190	1.971	219	
Wintergerste	7,60	7,5	100		67	509	0	509	
Vermehrung Wiesenschlingel	6,775	1		100	53,5	362	362	0	
Vermehrung Lieschgras	6,775	0,58		100	53,5	362	362	0	
Ackergras	11,40	41,6	100		168	1.915	0	1.915	
Grünland, 4 Schnitt	11,40	17	100		98	1.117	0	1.117	
Sommergerste	2,00	40	100		67	134	0	134	
<i>Mähdrusch Grassamen</i>	<i>10,70</i>				<i>12,9</i>	<i>x</i>			
<i>Getreide Schrotten</i>	<i>20,00</i>				<i>5,5</i>	<i>110</i>			
Summe M2-1						9.256	3.896	5.360	110
Grünland, für Silage	26,98	30	100		97	2.617	0	2.617	
Grünland, extensiv	3	45	100		58	174	0	174	
Luzerne-Klee gras	7,26	50	100		122	886	0	886	
Silomais	22,22	50	100		95	2.111	0	2.111	
Wintergerste (Futter)	5	7,2	100		67	335	0	335	
Winterweizen (Verkauf)	10,17	8	20	80	73	742	594	148	
Summe M2-2						6.865	594	6.271	
Grünland, 3 Schnitt	8	30	100		84	672	0	672	
Silomais	8	45	100		95	760	0	760	
Klee gras (Ackerfutter), 4 Schnitt	2	41,6	100		122	244	0	244	
Futtergetreide (v.a. Gerste)	5	6,5	100		67	335	0	335	
Weizen (auch fürs Vieh?)	15	8,5		100	73	1.095	1.095	0	
Wald	4								
<i>Klee gras häckseln und walzen, 4 Schnitt</i>	<i>83,2</i>				<i>1,2</i>	<i>100</i>			
<i>Grünland häckseln und walzen, 3 Schnitt</i>	<i>240</i>				<i>1,2</i>	<i>288</i>			
Summe M2-3						3.106	1.095	2.011	388

Herstellung eigener Futtermittel M2-4

Sorte:	Anbaufläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Verkauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Marktfrüchte [l/a]	Diesel Futtermittel [l/a]	Diesel zugekaufte DL [l/a]
Silomais	21	26,4	100		95	1.995	0	1.995	
Ackergras, Klee gras	5	41,6	100		168	840	0	840	
Weizen	9	4,5		100	73	657	657	0	
Grünland	83	17	100		98	8.134	0	8.134	
Summe M2-4						11.626	657	10.969	

Herstellung eigener Futtermittel M3-1 bis M3-3

Sorte:	Anbaufläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Verkauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Marktfrüchte [l/a]	Diesel Futtermittel [l/a]	Diesel zugekaufte DL [l/a]
Maissilage	80	73	100		95	7.600	0	7.600	
AWS	426	7,9	100		97	41.322	0	41.322	
Heu	180	3,2	100		98	17.640	0	17.640	
<i>Getreide Schrotten</i>	<i>245</i>				<i>5,5</i>	<i>1.348</i>			
Summe M3-1						66.562	0	66.562	1.348
Winterweizen	55	4,2		100	73	4.015	4015	0	
Wintergerste	20	4,9	50	50	67	1.340	670	670	
Sommergerste	6	2,7		100	67	402	402	0	
Zuckerrüben	5,5	45		100	42,3	233	233	0	
Raps	25	3,3		100	71	1.775	1775	0	
Maissilage	25	45	100		73	1.825	0	1.825	
Gras für Silage und Heu (1. Schnitt Silage, 2./3. Heu, dann Weide)	30	17	100		96	2.880	0	2.770	
Weide	15	45	100		21,3	320	0	320	
<i>Ballen presse</i>	<i>110</i>				<i>1</i>	<i>110</i>			
<i>Mais häckseln</i>	<i>1.125</i>	45			<i>0,5</i>	<i>563</i>			
Summe M3-2						12470	7095	5.585	673
Wiese für Heu und Silage (3 Schnitt)	110	17	100		79	8.690	0	8.690	
Luzerne	23	41,6	100		111,6	2.567	0	2.567	
Weide	7	20	100		21,3	149	0	149	
Mais	70	35	100		69	4.830	0	4.830	
Weizen	15	7,4	100		73	1.095	0	1.095	
<i>Mais häckseln</i>	<i>2.450</i>	35			<i>0,6</i>	<i>1.470</i>			
<i>Gras häckseln</i>	<i>1.694</i>	15,4			<i>1</i>	<i>1.694</i>			
Summe M3-3						16.236	0	16.236	3.164

Herstellung eigener Futtermittel M3-4 bis M3-6

Sorte:	Anbaufläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Verkauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Marktfrüchte [l/a]	Diesel Futtermittel [l/a]	Diesel zugekaufte DL [l/a]
Wiese	10,57	27,5	100		61	645	0	645	
Mähweide	65,91	27,5	100		58	3.823	0	3.823	
Luzerne	40,74	28	100		131	5.337	0	5.337	
Ackergras	15,17	41,6	100		122	1.851	0	1.851	
Mais	50	30	100		69	3.450	0	3.450	
Gerste	250	6	40	60	67	16.750	10.050	6.700	
Winterweizen	315,1	7,011		100	73	23.002	23.002	0	
Winterroggen	336,6	4,611		100	70	23.562	23.562	0	
Hafer	10,7	6,288		100	70	749	749	0	
Zuckerrüben	67,9	55		100	42,3	2.872	2.872	0	
Erbsen zur Körnergewinnung	30,4	2,667	100		79	2.402	0	2.402	
Winterraps zur Körnergewinnung	268,5	4,912		100	71	19.064	19.064	0	
Mais häckseln	1.500	30			0,6	900			
Gras häckseln (Silage)	800				1	800			
Gras häckseln (Luzerne)	913				1	913			
Erbsen dreschen und schroten	81				9,4	762			
Summe M3-4						103.506	79.299	24.207	3.375
Grünland	700	17	100		98	68.600		68.600	
Roggen	350	6,9		100	70	24.500		0	
Gerste	115	5,9		100	67	7.705		0	
Raps	115	3,4		100	71	8.165		0	
Mais	140	44	100		95	13.300		13.300	
Summe M3-5						122.270		81.900	
Silomais	22	54	100		95	2.090		2.090	
Welsches Weidelgras, 1./3. Schnitt Silage, 2. Schnitt bleibt stehen bis zur Samenbildung	10	16	100		95	950	0	950	
Winterweizen	200	85	1	99	73	14.600	14.491	110	
Zuckerrüben	18	70		100	42,3	761	761	0	
Winterraps	40	45		100	71	2.840	2.840	0	
Weide	5	45	100		21,3	107	0	107	
Summe M3-6						21.241	18.092	3.256	

Herstellung eigener Futtermittel M3-7

Sorte:	Anbaufläche: [ha] [t/a]	Ertrag: [t/ha]	eigenes Futter [%]	Verkauf [%]	Diesel [l/ha] [l/t]	Diesel [l/a]	Diesel Marktfrüchte [l/a]	Diesel Futtermittel [l/a]	Diesel zugekaufte DL [l/a]
Mais	200	45	100		51	10.200	0	10.200	
Luzerne/Gras	50	40	100		122	6.100	0	6.100	
Kartoffeln (inkl. 3 Schläge Pflanzkartoffeln)	631	52		100	141	88.971	88.971	0	
Gerste	115	9,6		100	67	7.705	7.705	0	
Weizen	425	9		100	73	31.025	31.025	0	
Zuckerrüben	60	70		100	94	5.640	5.640	0	
Raps	150	4,5		100	71	10.650	10.650	0	
Zwiebeln (Abtransport der Zwiebeln mit externem Diesel)	236	36		100	136	32.025	32.025	0	
Weide	5	45	100		21,3	107	0	107	
<i>Maisernte</i>	<i>9.000</i>				<i>1</i>	<i>9.000</i>			
<i>Grasernte</i>	<i>2.000</i>				<i>1,6</i>	<i>3.200</i>			
Summe M3-7						192.316	176.016	16.407	12.200

Herstellung von zugekauften Futtermitteln

Kraftfutter zur Proteinaufnahme ist wie Soja und Raps gerechnet. Die Herstellung von Düngemitteln, Mineralstoffen und Mineralfutter sowie Salze findet keine Berücksichtigung. Die Herstellung von Milchaustauscher richtet sich nach dem Energieaufwand für die Herstellung von Rohmilch (vgl. Kapitel 3.6.2) und ist mit 2,2 MJ/kg angesetzt.

Herstellung zugekaufter Futtermittel

Grau hinterlegt: Kraftfutter zur Proteinaufnahme ist wie Soja und Raps berechnet. Die Herstellung von Düngemittel, Mineralstoffe, Mineralfutter, Salze kann nicht berücksichtigt werden.

Die Herstellung von Milchaustauscher ist unten dokumentiert.

Herstellung zugekaufter Futtermittel für M0-1 bis M0-4 und M1-1

	[t/a]	Diesel [l/t]	Allokation	Diesel [l/a]
Lecksteine u. Minerallecksteine				x
Mineralstoffe (Ca- und P-reich)	1,7			x
Viehsalz				x
Futtermischgetreide, öko	25,58	19		486,02
Grassilage, Ballen, öko	41,6	4		166,4
Futtererbsen, öko	2,26	22		49,72
Siloballen, öko	148,85	4		595,4
Grassilage, öko [m³]	117	3		351
Maissilage, öko	12,52	3		37,56
Ackerbohnen, öko	14,76	18		265,68
Lupinen, öko	5,3	26		137,8
Erbsen-Bohngemenge, öko	5,88	20		117,6
Triticale, öko	16,4	19		311,6
Summe M0-1				2.519
Kraftfutter (Getreideanteil), öko	12	19		228
Kraftfutter (Erbsenanteil), öko	4	22		88
Summe M0-2				316
Silageballen, öko	150	4		600
Mineralfutter	3,5			x
Summe M0-3				600
Weizen, öko	74	19		1406
Lupinen, süß; getoastet, öko	30	26		780
Mineralfutter				x
Summe M0-4				2.186
Rapskuchen	300	21	0,6	3780
Triticale	390	10		3900
Soja	120	23	0,8	2208
Pressschnitzel	400	2	0,22	176
Summe M1-1				10.064

Herstellung zugekaufter Futtermittel für M2-1 bis M2-4

	[t/a]	Diesel [l/t]	Allokation	Diesel [l/a]
Milki Sincropac	2,1	15	enthalten	32
Milkinal	2,1	15	enthalten	32
GVO-frei TMR	15,0	15	enthalten	225
Viehsalz	0,7			x
Milchaustauscher	0,2			x
Rapsextraktionsschrot	45,8	21	0,6	577
Summe M2-1				865
Rapsschrot	20,4	21	0,6	257
Expeller (Raps)	37,0	21	0,6	466
Glyzerin	9,5			x
Sojaschrot	21,6	23	0,8	397
Heu	11,6	11		128
Viehsalz	1,1			x
Summe M2-2				1.248
Soja GVO-frei	12,0	23	0,8	221
Kuhkorn	36,5	10		365
Heu	29,2	11		321,2
Summe M2-3				907
Viehsalz				x
Pressschnitzel (Zuckerrübe, nass) fürs Silo	50	2	0,22	22
Rapsschrot	14	21	0,6	176
Sojaschrot	40	23	0,8	736
Mineralfutter	12,3			x
Milchaustauscher	0,725			x
Kälbermüsli **	0,375	10		3,75
Biertreber	215,2	nur Transport		x
Körnermais	12,5	7		87,5
Milchleistungsfutter	3	15		45
Summe M2-4				1.071
Mineralfutter	45,5			x
Milchaustauscher	4,5			x
Soja	187	23	0,8	3441

Herstellung zugekaufter Futtermittel für M3-1

	[t/a]	Diesel [l/t]	Allokation	Diesel [l/a]
Mineralfutter	45,5			x
Milchaustauscher	4,5			x
Soja	187	23	0,8	3.441
Summe M3-1				3.441

Herstellung zugekaufter Futtermittel für M3-2 bis M3-7

	[t/a]	Diesel [l/t]	Allokation	Diesel [l/a]
Viehfutter	72	15	enthalten	1080
Sojaschrot	48	23	0,8	883
Mineralstoffe	4,3			x
Schnitzel	18	2	0,22	8
Summe M3-2				1.971
Sojaschrot	72	23	0,8	1325
Kraftfutter 20/4 Pellets	180	15	enthalten	2700
Summe M3-3				4.025
Zuckerrübenschnitzel	450	2	0,22	198
Biertreber (Fa. Trimonis)	248	nur Transport		x
Raps	200	21	0,6	2520
Soja	200	23	0,8	3680
Mineralstoffe (Fa. Cawo, Wowok)				x
Kraftfutter 20/4	80	15	enthalten	1200
Milchaustauscher				x
Summe M3-4				7.598
Mineralstoffe				x
Lecksteine				x
Soja	125	23	0,8	2300
Raps	175	21	0,6	2205
MMF Pellets	375	15	enthalten	5625
Summe M3-5				10.130
Sojaschrot	900	23	0,8	16560
Rapskuchen	900	21	0,6	11340
Heu	30	11		330
Summe M3-6				28.230
Sojaschrot (HP, Brasilien)	321	23	0,8	5912
Rapsextraktionsschrot	1107	21	0,6	13954
Biertreber	282	nur Transport		x
Pressschnitzel	2450	2	0,22	1078
Luzerne (z.T.)	1352	4		5407
Getreide (z.T.)	495	12		5937
gequetschtes Getreide	77	12		921
Kälberfutter	17,5	12		210
Milchaustauscher	6,5			x
Heu	474	8,9		4219
Heulage	108	4,9		529
Ergänzungsfutter (Mineralfutter, Palmfett, Kuhtrank für frisch Abgekalbte, Viehsalz, Siliermittel)	105			x
Preлак (Saure Salze in Getreide, Soja, Raps)	61	15	enthalten	922
Mineralstoffe	135			x
Stroh	191			x
Summe M3-7				66.397

Einsatz von Milchaustauscher

Für die Herstellung von 1 kg Milchaustauscher (MA) sind 7,38 kg Rohmilch notwendig.

	MA [kg/d]	Anzahl Kälber männl.	Anzahl Tage mit MA	Anzahl Kälber weibl.	Anzahl Tage mit MA	MA [kg/a]	PE für MA [MJ/kg]	PE für entsprechend e Rohmilch [MJ/a]
M0-1	0							
M0-2	0							
M0-3	0							
M0-4	0							
M1-1	0,4			150	77	4.620	2,2	75.010
M2-1	0,4			24	76	730	2,2	11.846
M2-2	0,4			45	0	0	2,2	0
M2-3	0,4	14	63	15	63	731	2,2	11.865
M2-4	0,4	35	11	34	42	725	2,2	11.774
M3-1	0,4			106	90	3.816	2,2	61.957
M3-2	0,4			37	56	829	2,2	13.456
M3-3	0,4			120	80	3.840	2,2	62.346
M3-4	0,4			136	72	3.917	2,2	63.593
M3-5	0,4			204	70	5.712	2,2	92.740
M3-6	0,4			43	20	344	2,2	5.585
M3-7	0,4			257	63	6.476	2,2	105.151

Treibstoffumsatz verschiedener Fahrzeuge

Je nach Region und deren Geographie variiert der Treibstoffumsatz der Fahrzeuge. Für flache Regionen gilt der niedrigste angegebene Wert, für bergige Regionen der höchste.

Fahrzeug	Nutzlast [t]	Nutzung	Quelle	Diesel [l/100 km]
LKW	3,5	Sackware	Engelhardt 2011 ¹⁾	19-25
LKW	25	Sackware mit Paletten	Engelhardt 2011	28-31
Silozug		Soja, Kraftfutter	Engelhardt 2011	42-43
Kipper		Raps, Soja, Rübenschnitzel	Engelhardt 2011	35-37
Silotankzug		Milch	Engelhardt 2011	34
Spezialfahrzeug		Tierkörperbeseitigung	TKBA Rievenich 2011	32
Traktor (88 kW)	24	Straßentransport	Bericht der Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2004 ²⁾	53
Traktor (63 kW)	24	Straßentransport	Joule (4) 2007: 84-86	46
PKW		Tierarzt, Mitarbeiter	BMVBS 2009 ³⁾	7,6
PKW	0,5	Sackware	Schätzung	10
Kleintransporter		Klauenpfleger	Schätzung	19

1) Persönliche Auskunft

2) <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/348/article/5879/page/print.html>

3) BMVBS: Verkehr in Zahlen 2009/10. Hamburg: DVV Media Group GmbH 2009

Transport von Zukauffutter

Der Endenergieumsatz für die eigene Abholung von Zukauffutter im Landhandel mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen (Traktor, Unimog) ist bereits im erfassten Hofdieselumsatz enthalten.

Transport von Zukauffutter für M0-1 bis M0-4

Produktname	An /Ab	Häufigkeit	Masse	EH	Fahrzeug	Entfernung [km]	Faktor	Diesel [l/100 km]	Diesel [l/a]
Futterweizen	An	2	44,7	t/a	Traktor	18,2	2	46	33,5
Lecksteine	An	16			LKW 3,5 t Nutzlast	32,6	2	22	x
Mineralstoffe	An	4	1,7	t/a	LKW 3,5 t Nutzlast	32,6	2	22	57,4
Viehsalz	An			t/a	LKW 3,5 t Nutzlast	32,6	2	22	x
Futtermischgetreide	An	1	25,6	t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Grassilage, Ballen	An	1		t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Futtererbsen	An	1	2,3	t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Siloballen	An	2		t/a	Traktor	18,2	2	46	33,5
Grassilage [m³]	An	1		t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Maissilage	An	1	12,5	t/a	Traktor	3,8	2	46	3,5
Ackerbohnen	An	1	14,8	t/a	LKW	97,2	2	30,5	59,3
Lupinen	An	1	5,3	t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Erbsen-Bohngemenge	An	1	5,9	t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Triticale	An	1	16,4	t/a	Traktor	18,2	2	46	16,7
Summe M0-1									304
Kraftfutter 304/100	An	4	16	t/a	Silofahrzeug	187	0,5	34	127,2
Summe M0-2									127
Mineralfutter	An	3	3,5	t/a	Kleinlaster	20	2	22	26,4
Silageballen	An	15	150	t/a		3		10 l/Fahrt	150,0
Summe M0-3									176
Weizen	An	2	50	t/a	Silofahrzeug	344	2	34	467,8
Weizen	An	2	24	t/a	Traktor	30	2	46	55,2
Lupinen, süß; getoastet	An	2	30	t/a	Kipper	344	1	36	247,7
Kraftfutter	Ab		1,15	t/a					x
Summe M0-4									771

An: Anlieferung

Ab: Abholung

Transport von Zukauffutter für M2-3-M2-4

Produktname	An /Ab	Häu- figkeit	Masse	EH	Fahrzeug	Ent- fernung [km]	Faktor	Diesel [l/100 km]	Diesel [l/a]
Dünger (KAS)		n.n.	15	t/a		6	2	22	x
Dünger, Sonstiger		n.n.					2		x
Kalk		n.n.					2		x
Soja GVO-frei		n.n.	12	t/a	Silozug	6	2	42,5	n.n.
Kuhkorn		n.n.	36,5	t/a	Silozug	6	2	42,5	n.n.
Heu		n.n.	29,2	t/a			2		n.n.
Summe M2-3									n.n.
Dünger (KAS)			15	t/a					x
Düngemittel	Ab ¹⁾	1	2	t/a	Traktor mit Hänger	8	2	46	x
Dünger, Kalk	Ab ¹⁾	1	10	t/a	Traktor mit Hänger	8	2	46	x
Viehsalz									x
Mineralfutter	An	6	12,3	t/a	LKW 3,5 t Nutzlast	8	2	22	21
Magermilchpulver	Ab	5	0,725	t	PKW	8	1	10	4
Kälbermüsli	2)		0,375	t					
Rapsschrot	2)		14	t/a					
Sojaschrot	An	9	40	t/a	Silozug	20	2	42,5	153
Schnitzel, Press-	An	2	50	t/a	Silozug	55	1	42,5	47
Biertreber	An	4	96	t/a	Silozug	126	2	42,5	428
Biertreber	An	5	120	t/a	Silozug	182,5	2	42,5	776
Körnermais	Ab	2	12,5	t	Unimog 52 PS mit Anhängen	8	2	23	x
Körnermais	An	2			LKW 3,5 t Nutzlast	8	2	22	7
Ergänzungsfutter	An	1	3	t	LKW 3,5 t Nutzlast	20	2	22	9
Summe M2-4									1.445

An: Anlieferung

Ab: Abholung

1) mit Fremddiesel

2) bereits enthalten, der Transport erfolgt zusammen mit weiteren Produkten

Transport von Zukauffutter für M3-1 bis M3-7

Produktname	An /Ab	Häu- figkeit	Masse	EH	Fahrzeug	Ent- fernung [km]	Faktor	Diesel [l/100 km]	Diesel [l/a]
Sojaschrot	An	6	54	t/a	Silozug	58	2	42	292
Rapskuchen	Ab	6	54	t/a	Traktor	31	2	46	x
Heu	Ab	1	30	t/a	Traktor		2	46	x
Diesel	An	9	40.000	l/a	Tankzug	34			x
Düngemittel	An	8	170	t/a ?	Kipp- fahrzeug	34	2	35	x
Rübenschnitzel	An	12	300	t/a	Kipp- fahrzeug	38	1	35	160
Summe M3-6									452
Rapsschrot	An	26	554	t/a	Silozug	447	2	42	9.762
Sojaschrot	An	26	321	t/a	Kipper/Silo- zug	157	2	38,5	3.143
Rapsexpeller	An	26	554	t/a	Kipper/Silo- zug	233,8	2	38,5	4.681
Biertreber	An	11	282		Kipper	72,3	2	35	570
Schnitzel, Press-	An	98	2.450	t/a	Silozug	19	2	42	1.564
Luzerne (z.T.)	An	250	2.000	t/a	Traktor	12,5	2	46	2.875
Getreide (z.T.)	An	4	100	t/a	Traktor	12,5	2	46	46
Mineralfutter	An	26	301	t/a	LKW (Paletten)	165	2	28	2.402
Ergänzungsfutter	An	26			LKW (Paletten)	165	2	28	2.402
Düngemittel	An				Kipper	50	2	35	x
Heu	Ab				Traktor (Annahme)				x
Summe M3-7									27.446

An: Anlieferung

Ab: Abholung

Molkereien

Verarbeitete Molkereiprodukte der untersuchten Molkereien und daraus abgeleitete Allokationsfaktoren

Betrieb	Masse verarbeitete Rohmilch [kg/a]	Masse Endprodukt [kg/a]	Masse Nebenprodukt [kg/a]	Allokation für Milch
M1	1.300.000	1.300.000	xx	1
M2	40.984.913	1.492.050	40.716.950	0,04
M3	150.479.054	148.691.785	1.660.470	0,99
M4	354.889.752	95.363.604	xx	1
M0-SV	590.607	571.597	enthalten	1

Endenergieumsätze der Molkereien ohne Allokation

Betrieb	Elektro [MJ/a]	Erdgas [MJ/a]	Heizöl [MJ/a]	Gesamt [MJ/a]
M1	1.070.322	2.288.253	xx	3.358.575
M2	6.916.050	14.616.288	xx	21.532.338
M3	12.178.282	xx	32.340.101	44.518.382
M4	39.743.846	42.000.973	xx	81.744.819
M0-SV	200.700	xx	295.507	496.207

Primärenergieumsätze der Molkereien ohne Allokation

Betrieb	Elektroenergie [MJ/a]	Erdgas [MJ/a]	Heizöl [MJ/a]	Gesamt [MJ/a]
M1	2.279.787	2.562.843	xx	4.842.630
M2	14.731.187	16.370.243	xx	31.101.429
M3	25.939.740	xx	37.191.116	63.130.856
M4	84.654.392	47.041.089	xx	131.695.482
M0-SV	427.491	xx	339.833	767.324

Spezifischer Primärenergieumsätze der Molkereien

Betrieb	Elektroenergie [MJ/a]	Erdgas [MJ/a]	Heizöl [MJ/a]	Gesamt [MJ/a]
M1	1,75	1,97	xx	3,73
M2	0,35	0,39	xx	0,74
M3	0,17	xx	0,25	0,42
M4	0,89	0,49	xx	1,38
M0-SV	0,75	xx	0,59	1,34

Spezifische THG-Emissionen der Molkereien

Betrieb	Elektroenergie [g/kg Milch]	Erdgas [g/kg Milch]	Heizöl [g/kg Milch]	Gesamt [g/kg Milch]
M1	133	119	xx	252
M2	26	23	xx	50
M3	13	xx	19	32
M4	67	30	xx	97
M0-SV	57	xx	45	101

Endenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel

Betrieb	Masse Endprodukt [kg/a]	Diesel Transporte Rohmilch [MJ/a]	Diesel Transporte Verpackungs- materialien ¹⁾ [MJ/a]	Diesel Transporte zum LEH [MJ/a]
M1	374.400	48.680	nn	80.785
M2	5.436.000	223.622	6.681	1.258.924
M3	148.691.785	148.613	1.693.944	24.641.822
M4	95.363.604	10.636.514	nn	nn
M0-SV	571.597	0	nn	0

1) ohne Umverpackung

Primärenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel

Betrieb	Masse Endprodukt [kg/a]	Diesel Transporte Rohmilch [MJ/a]	Diesel Transporte Verpackungs- materialien ¹⁾ [MJ/a]	Diesel Transporte zum LEH [MJ/a]	Transporte zu den Filialen
M1	374.400	55.982	nn	92.903	
M2	5.436.000	257.165	7.683	1.447.763	361.400
M3	148.691.785	170.905	1.948.036	28.338.095	
M4	95.363.604	12.231.992			
M0-SV	571.597	0	nn	Lieferservice zum Endkunden	

1) ohne Umverpackung

Spezifischer Primärenergieumsatz für Transporte zur Molkerei und zum Handel

Betrieb	Diesel Transporte Rohmilch [MJ/a]	Diesel Transporte Verpackungs- materialien ¹⁾ [MJ/a]	Diesel Transporte zum LEH [MJ/a]	Transporte zu den Filialen
M1	0,043	nn	0,25	
M2	0,049	0,005	0,27	0,24
M3		0,013	0,19	
M4	0,089	nn	nn	
M0-SV	0	nn	Lieferservice zum Endkunden	

1) ohne Umverpackung

Spezifische THG-Emissionen für Transporte zur Molkerei und zum Handel

Betrieb	Diesel Transporte Rohmilch [MJ/a]	Diesel Transporte Verpackungsmaterialien ¹⁾ [MJ/a]	Diesel Transporte zum LEH [MJ/a]	Transporte zu den Filialen
M1	3	nn	19	
M2	4	0,386	20	18
M3		0,982	14	
M4	7	nn	nn	
M0-SV	0	nn	Lieferservice zum Endkunden	

1) ohne Umverpackung

Mittelwerte der spezifischen THG-Emissionen der Molkereien

	spezifische THG-Emissionen		
	Mittelwert	Minimum	Maximum
Alle Endenergieträger	106	32	252
Elektroenergie	59	13	133
Erdgas	57	23	119
Heizöl	32	19	45

Rohmilchtransporte	5	3	7
--------------------	---	---	---

Persönliche Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6107-4



9 17 8 3 8 3 5 19 6 1 0 7 4

Photo cover: luminoso (Ital. Leuchten) Ölgemälde ca. 120 x 80 cm
von Jens Thomae, 2008.