

Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz
Studiengang Ökolandbau und Vermarktung

Aus dem Fachgebiet Unternehmensführung
in der Agrarwirtschaft
Dr. Jens Pape

Bachelorarbeit

zum Thema

Einfluss der landwirtschaftlichen Erzeugung auf die CO₂-Bilanz eines Brotes – dargestellt am Beispiel Märkisches Landbrot

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (BSc)

vorgelegt von

Sebastian Gollnow

Matrikel-Nr. 1020510

1. Gutachter: Dr. Jens Pape

2. Gutachterin: Prof. Dr. Anna Maria Häring

Danksagung

Sehr herzlich danke ich meinem Betreuer Dr. Jens Pape! Frau Prof. Dr. Anna Maria Häring danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Märkisches Landbrot, insbesondere Herrn Christoph Deinert und Herrn Jürgen Baumann, danke ich besonders für das interessante Thema.

Frau Dr. Elisabeth Angenendt danke ich für die wertvollen Hinweise.

Sperrvermerk

Die vorliegende Bachelorarbeit ist bis auf weiteres gesperrt.

Die Arbeit ist für die Bibliotheksbenutzung bis zur Freigabe durch das Unternehmen Märkisches Landbrot GmbH (Berlin) **gesperrt** (§ 15 (13) RSPO).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Anhangsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Vorgehensweise.....	3
2 Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau	5
2.1 Relevante Treibhausgase.....	5
2.2 Einfluss der Wirtschaftsweisen (konventionell, ökologisch) auf die Treibhausgasemissionen.....	7
2.3 Emissionsquellen in der pflanzlichen Erzeugung.....	9
2.3.1 Energieträger.....	9
2.3.2 Düngemittel.....	11
2.3.3 Investitionsgüter.....	12
2.3.4 Saatgut.....	12
2.3.5 Bodenbürtige Lachgasemissionen.....	13
2.4 Zwischenfazit.....	15
3 CO₂-Bilanzierung von Produkten	17
3.1 Ökobilanzierung nach ISO 14040 und 140044.....	17
3.2 Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050).....	19
3.3 Stop-Climate-Change.....	21
3.4 Zwischenfazit.....	21
4 Methodik	22
4.1 Wahl des Bilanzierungsrahmen.....	22
4.2 Beteiligte Betriebe.....	24
4.2.1 Märkisches Landbrot.....	24
4.2.2 Herkunft der landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffe.....	24
4.3 Durchführung der CO ₂ -Bilanzierung im Rahmen des Projektes.....	25
4.3.1 Bilanzierung der ökologischen Produktionsverfahren in Brodowin.....	25
4.3.2 Produktionsverfahren „konventionell“ und „konventionell ressourcenschonend“.....	28

5	Ergebnisse: CO₂-Bilanzierung landwirtschaftlicher Rohstoffe am Beispiel Märkisches Landbrot	30
5.1	Übergeordnete, Fruchtfolge spezifische Faktoren	30
5.1.1	Vorfrucht.....	30
5.1.2	Düngung.....	31
5.2	Verfahrensspezifische Faktoren.....	32
5.2.1	Roggen.....	32
5.2.2	Weizen	33
5.2.3	Sonnenblume	34
6	Vergleichende Berechnung für konventionell bzw. konventionell ressourcenschonend Wirtschaftsweisen	35
6.1	Vergleich Produktionsverfahren Roggen.....	35
6.2	Vergleich Produktionsverfahren Weizen	36
6.3	Vergleich Produktionsverfahren Sonnenblumen	37
6.4	Vergleich Produktionsverfahren ökologisch, konventionell, konventionell ressourcenschonend bezogen auf ein Sonnenblumenbrot.....	378
7	Diskussion	40
8	Schlussfolgerungen und Handlungsmöglichkeiten	46
9	Zusammenfassung.....	48
10	Literaturverzeichnis	49
11	Anhang	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Struktureller Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).....	4
Abbildung 2.	Globale Treibhausgasemissionen nach Sektoren (ITC 2008:3)	5
Abbildung 3.	Carbon Label ökologisch erzeugter Kartoffeln (Carbon Label 2008:1).....	20
Abbildung 4.	Lebenszyklus eines Produktes, Schritte nach PAS2050	22
Abbildung 5.	Prozess Model der Rohstoff Erzeugung	23
Abbildung 6.	Systemvergleich: Erzeugung landwirtschaftlicher Rohstoffe eines Brotes.....	38
Abbildung 7.	Vergleich mit Studie FAL 2000 Hektarbezogene Emissionen des Anbaus von Roggen und Weizen unter verschiedener Bewirtschaftung.	41
Abbildung 8.	Vergleich mit Studie FAL 2000 Ertragsbezogene Emissionen des Anbaus von Roggen und Weizen unter verschiedener Bewirtschaftung.	42
Abbildung 9.	Vergleich: CO ₂ -e Emissionen verursacht durch die Landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrotes.	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schadgasenbezogene Treibhausgaspotentiale der betrachteten Treibhausgase über einen Zeithorizont von 100 Jahren (nach IPCC 2007:212).....	6
Tabelle 2:	Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen verursacht durch die Landwirtschaft.....	9
Tabelle 3:	Emissionsfaktoren bestimmter Energieträger.....	9
Tabelle 4:	Einige energiebedingte CO ₂ -e Emissionen des ökologischen Getreideanbaus am Beispiel Brodowin	10
Tabelle 5:	CO ₂ -e Emissionen für die Bereitstellung von Düngemitteln (FAL 2000:35).....	12
Tabelle 6:	Datenquellen der konventionellen und des ökologischen Verfahrens	29
Tabelle 7:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Klee gras (2-jährig).....	30
Tabelle 8:	Allokation des durch das Produktionsverfahren Klee gras verursachten Treibhauspotentials	30
Tabelle 9:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch Düngung in Brodowin	31
Tabelle 10:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Roggenanbau in Brodowin	32
Tabelle 11:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Weizenanbau in Brodowin.....	33
Tabelle 12:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Anbau von Sonnenblumen in Brodowin / Gut Ogrosen	34
Tabelle 13:	Vergleich: CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Anbau von Roggen.....	35
Tabelle 14:	Vergleich: CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Anbau von Weizen	36
Tabelle 15:	Vergleich: CO ₂ -e Emissionen verursacht durch den Anbau von Sonnenblumen	37
Tabelle 16:	Vergleich: CO ₂ -e Emissionen verursacht durch die Landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrot es	38

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Weizen konventionell	53
Anhang 2:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Roggen konventionell	54
Anhang 3:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Sonnenblumen konventionell	55
Anhang 4:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Roggen konventionell ressourcenschonend.....	56
Anhang 5:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Weizen konventionell ressourcenschonend	57
Anhang 6:	CO ₂ -e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Sonnenblumen konventionell ressourcenschonend	58
Anhang 7:	Verwendeter Fragebogen zur Datenerhebung für die Erstellung der CO ₂ -Bilanz eines Brotes	59

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Anh.	Anhang
bspw.	beispielsweise
BSI	British Standards Institution
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlendioxid
CH ₄	Methan
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
dt	Dezitonne (100kg)
EMAS	Eco Management and Auditing Scheme
et al.	et alii (lat.), und andere
etc.	et cetera (lat.), und so weiter
EU	Europäische Union
EPLCA	European Plattform on Life Cycle Assessment
e.V.	eingetragener Verein
FiBL	Research Institute of Organic Agriculture
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
ggf.	gegebenenfalls
ha	Hektar
Hrsg.	Herausgeber
hrsg.	herausgegeben
i.d.R.	in der Regel
IPCC	International Panel on Climate Change
ISO	International Standards Organization
ITC	International Trade Center
Kap.	Kapitel
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen
kWh	Kilowattstunde
LCA	Life Cycle Assessment
LVLf	Landesamt für Verbraucherschutz und Flurneuordnung
LWK	Landwirtschaftskammer
max.	maximal
N ₂ O	Distickstoffmonoxid, Lachgas

NPK	Stickstoff/Phosphor/Kali Dünger
NRW	Nordrhein Westfalen
PAS	Publicly Available Specification
ppm	Parts per Million
ppb	Parts per Billion
PSM	Pflanzenschutzmittel
PV	Produktionsverfahrens
S.	Seite
SME	small and medium enterprises
sog.	sogenannt/e
u.	und
usw.	und so weiter
u.U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Erstellung einer produktbezogenen CO₂-Bilanz eines Brotes, die bei der Demeter-Bäckerei Märkisches Landbrot (Berlin) erstellt wird leisten. In einer solchen Bilanz werden alle im Zusammenhang mit der Herstellung und Vermarktung des Produktes ausgestoßenen Treibhausgase von der Rohstoffherzeugung bis zur Entsorgung der Verpackung erfasst und bilanziert. Die Bilanz verdeutlicht somit, in welchen Produktionsschritten wieviel Treibhausgase ausgestoßen werden, wo Einsparpotentiale liegen und ermöglicht darüber hinaus einen innerbetrieblichen Vergleich über mehrere Jahre sowie mit Produkten anderer Betriebe.

Die Veröffentlichung der Daten liefert dem Kunden Informationen über die Umweltauswirkungen des Produktes; das Produkt erhält damit ein zusätzliches Qualitätsmerkmal.

1.1 Problemstellung

Die Bäckerei Märkisches Landbrot ist seit 1995 nach der EG-Verordnung EMAS (Eco- Management and Audit Scheme) validiert und bemüht, eine proaktive und transparente betrieblichen Umweltpolitik zu betreiben. Jährlich wird eine Ökobilanz und alle drei Jahre eine Umwelterklärung veröffentlicht. Die Datenerhebung im Rahmen der Ökobilanzierung beschränkt sich bisher auf betriebliche Umweltauswirkungen der Bäckerei und den Vertrieb der Produkte (Transport). Umweltauswirkungen der Rohstoffherzeugung werden bisher noch nicht berücksichtigt.

Die revidierte EMAS-Verordnung sieht vor, dass auch indirekte Umweltaspekte bei der Bewertung der Umweltleistung des Unternehmens berücksichtigt werden (Pape 2003:353). Zu diesen indirekten Umweltaspekten gehören im Falle der Bäckerei Märkisches Landbrot insbesondere die Rohstoffherzeugung sowie der Transport der Rohstoffe zur Bäckerei.

Neben den EMAS-Anforderungen gewinnt die Reduzierung von Treibhausgasen vor dem Hintergrund der Klimadiskussion (des anthropogen verursachten Klimawandels) zunehmend an Bedeutung. Die produktbezogene Erfassung von Treibhausgasen ermöglicht die Berücksichtigung aller mit einem Produkt assoziierten Emissionen. Relevante, Emissionen verursachende Faktoren können entlang der Prozesskette erkannt und Maßnahmen zur Reduzierung ergriffen werden.

In der Ernährungswirtschaft werden erste Produkte hinsichtlich ihrer Klimarelevanz zertifiziert: Von einer Göttinger Consulting-Firma wurde ein sog. „Stop-

Climate-Change“-Zertifizierungsverfahren entwickelt und bereits für unterschiedliche Lebensmittel angewendet: So wird beispielsweise seit Januar 2008 die „Superwurst“, eine „CO₂-neutrale“ Bratwurst beworben und vertrieben (Bioland 2008:33).

Eine international einheitliche Methodik zur CO₂-Bilanzierung und Kennzeichnung von Produkten gibt es bislang jedoch nicht. Im Rahmen des Pilotprojekts „Product Carbon Footprints“ (PCF) - initiiert durch den *Carbon Trust* in Großbritannien - wird seit März 2007 eine eigens zur CO₂-Bilanzierung entwickelte Methodik angewandt (Pohlmann 2008). Produkte von mehr als 15 britischen Unternehmen wurden entlang der Wertschöpfungskette analysiert und Emissionsreduktionspotentiale identifiziert. Kommuniziert wird die CO₂-Bilanz dort durch ein CO₂-Label auf den Produkten (Pohlmann 2008).

Seit April 2008 wird auch in Deutschland am Pilotprojekt „Product Carbon Footprints“ (PCF) gearbeitet¹. Vor Allem im Bereich der Normung wird die Standardisierung einer Methodik zur CO₂-Bilanzierung diskutiert (Pohlmann 2008:1). Beim DIN wurde bereits ein Gremium eingerichtet, das sich ausschließlich mit der Thematik produktbezogener CO₂-Bilanzen befasst.

Um vor dem Hintergrund der dargestellten Entwicklung sowie im Rahmen ihres proaktiven Umweltmanagements eine produktbezogene CO₂-Bilanz erstellen zu können, sind die bestehenden Ansätze zunächst hinsichtlich ihrer Anwendbar- und Übertragbarkeit zu prüfen. In einem weiteren Schritt benötigt die Bäckerei Märkisches Landbrot Informationen zu den Umweltauswirkungen der vorgelagerten landwirtschaftlichen Erzeugung der Rohstoffe. Hierzu soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten.

¹ Unter der Initiative des WWF, des Öko-Instituts, des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, THEMA1 und 6 Unternehmen wird an der Erstellung einer International einheitlicher Methodik, in Kooperation mit anderen europäischen Initiativen, gearbeitet (Pohlmann 2008:1).

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, die mit der landwirtschaftlichen Erzeugung der Rohstoffe (Weizen, Roggen, Sonnenblumenkerne), die zur Herstellung eines Sonnenblumenbrot benötigt werden, verbundenen Treibhausgasemissionen zu ermitteln und zu bewerten. Der Beitrag dieser Arbeit zur gesamt CO₂-Bilanz des Brotes lässt sich durch die Beantwortung folgender Fragestellungen skizzieren:

1. Welche Ansätze zur produktbezogenen CO₂-Bilanzierung bestehen bereits und wie lassen sich diese auf die Untersuchung übertragen?
2. Welchen Anteil hat die landwirtschaftliche Erzeugung von Roggen, Weizen und Sonnenblumen an der gesamten CO₂-Bilanz des Brotes?
3. Welchen Einfluss hat die Wirtschaftsweise (ökologisch bzw. konventionell) auf die CO₂-Bilanz eines Sonnenblumenbrot?

Exemplarisch wurde das Sonnenblumenbrot für die Untersuchung ausgewählt, da die 2 Hauptzutaten (Roggen und Weizen) regional von 2 Erzeugern stammen, die wie das Märkische Landbrot Partnerbetriebe der Fachhochschule Eberswalde sind. Die entsprechenden Produktionsverfahren und Daten lassen sich daher vergleichsweise leicht ermitteln und mit den konventionellen Produktionsweisen unter gleichen Standortbedingungen vergleichen.

1.3 Vorgehensweise

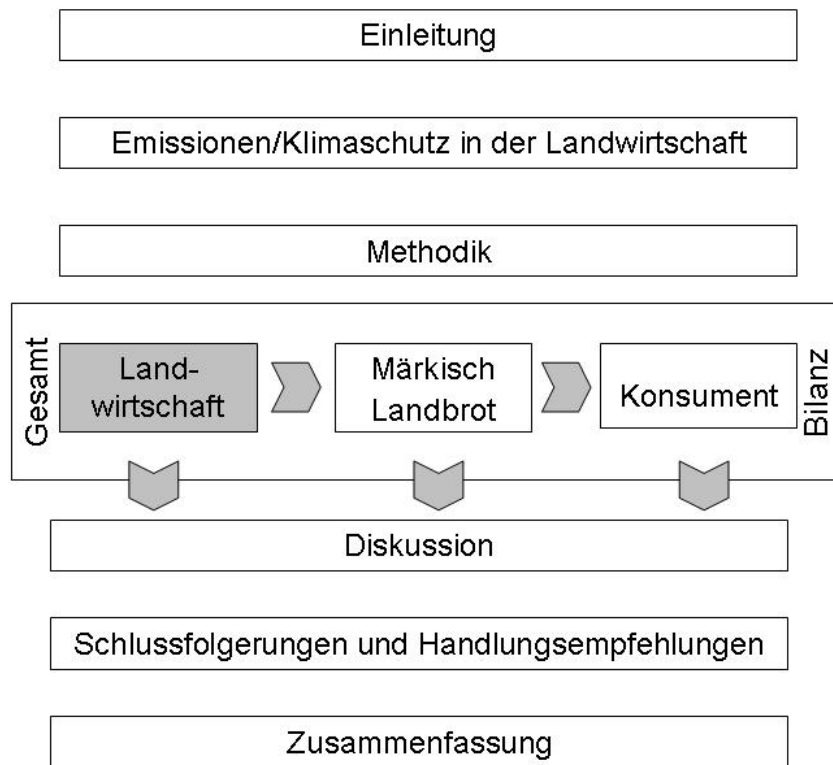
Im ersten Teil (Kapitel 2) wird erörtert welche Treibhausgase in der landwirtschaftlichen Produktion von Bedeutung sind. Hierauf folgend wird ein Überblick (Kapitel 3) über Methoden der Öko- bzw. Treibhausgas-Bilanzierung gegeben.

Im vierten Kapitel wird die verwendete Methodik, die zur Datenerhebung und Bilanzierung der Treibhausgas-Emissionen in der landwirtschaftlichen Erzeugung zum Einsatz kommt, vorgestellt.

Im fünften Kapitel wird am Beispiel eines Brotes der Bäckerei Märkisches Landbrot der Beitrag der landwirtschaftlichen Erzeugung der Rohstoffe zur CO₂-Bilanz aufgezeigt. Die ermittelten CO₂-Emissionen der ökologischen Erzeugung von Weizen, Roggen, Sonnenblumen werden mit CO₂-Emissionen konventioneller Betriebe, die unter vergleichbaren Standortbedingungen, und Produktionsverfahren wirtschaften, verglichen (Kapitel 6).

Abschließend werden die gewonnen Ergebnisse diskutiert (Kapitel 7), Schlussfolgerungen gezogen und Handlungsempfehlungen gegeben (Kapitel 8).

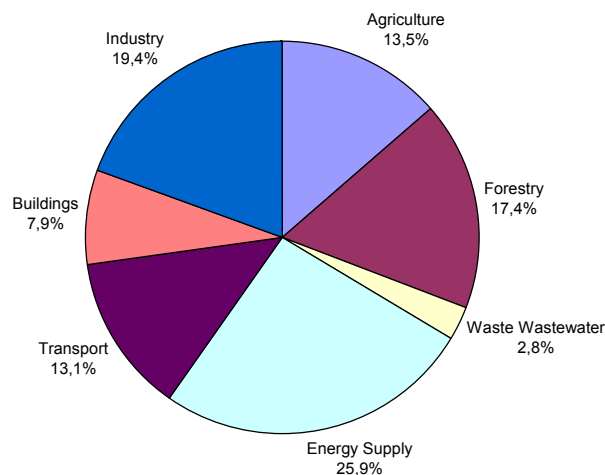
Abbildung 1. Struktureller Aufbau der Arbeit (eigene Darstellung).



2 Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau

Aus der Landwirtschaft werden Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) freigesetzt (Treibhausgase im Sinne des Kyoto - Protokolls EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2003:B1000). In Deutschland trägt die Lebensmittelversorgungsketten mit einem Anteil von 16%-20% zum gesamten Ausstoß von Treibhausgasemissionen bei (vzbv 2008:1). Ihr Anteil am Treibhauseffekt ist somit ähnlich bedeutend wie die Bereiche Verkehr und Wohnen (vzbv 2008) (siehe Abb.:2). Die Landwirtschaft emittiert ca. 13,5 % der Treibhausgase (ITC 2008:3).

Abbildung 2. Globale Treibhausgasemissionen nach Sektoren (ITC 2008:3).



2.1 Relevante Treibhausgase

Unter der Wirkung des Treibhauseffekts ist der zusätzliche, vom Menschen (anthropogen) verursachte Breitrag zum Treibhauseffekt zu verstehen. Ausgelöst wird dieser in der Landwirtschaft vor allem durch den Ausstoß der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O und deren zunehmenden Anreicherung in der Atmosphäre.

Die Treibhauspotentiale der einzelnen Treibhausgase differieren sowohl in ihrer Klimawirkung, als auch in ihrer Verweildauer in der Atmosphäre. Um die Treibhauspotentiale der verschiedenen Gase einheitlich darstellen zu können wird sich den jeweiligen CO₂ – Äquivalenten (CO₂-e) als Vergleichsgrößen bedient (IPCC 2007:212). Für den vorgegebenen Zeithorizont von 100 Jahren liegt das Treibhauspotential je Kilogramm Kohlendioxid (CO₂) bei eins, für ein Kilogramm

Methan (CH₄) bei 25 und für ein Kilogramm Distickstoffoxid (N₂O) bei 298 (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Schadgasenbezogene Treibhausgaspotentiale der betrachteten Treibhausgase über einen Zeithorizont von 100 Jahren (nach IPCC 2007:212).

Substanz	Formel	Treibhauspotential*
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1
Distickstoffoxid	N ₂ O	298
Methan	CH ₄	25

* kg CO₂-e/kg Substanz

Im folgenden Abschnitt werden die Treibhausgaspotentiale von CO₂, CH₄ und N₂O und ihre Quellen in der Landwirtschaft erläutert.

Kohlendioxid

Kohlendioxid (CO₂) hat ein geringeres Treibhauspotential als CH₄ oder N₂O. Durch seine hohe atmosphärische Konzentration von 380 ppm ist es jedoch mit mehr als 60% am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt.

Der jährliche Konzentrationsanstieg liegt derzeit bei 0,4%. Quellen in der Landwirtschaft, die für die CO₂ Akkumulation in der Atmosphäre verantwortlich gemacht werden, stellen insbesondere die Verbrennung fossiler Energieträger und der Energiensatz für die Herstellung von Dünge- und Futtermitteln da (Angenendt 2003:11). Eine wichtige Rolle kann, vor allem in nicht industriell geprägten Ländern, der Humusabbau in Folge von Landnutzungsänderungen und Waldrodungen einnehmen. Zum Beispiel ist Indonesien, aufgrund von Regenwaldabholzung für die Anpflanzung von Palmölplantagen, nach den USA und China der drittgrößte CO₂-Emittent der Welt (Höhn 2008:1).

Methan

Methan (CH₄) hat eine atmosphärische Konzentration von 1,77 ppm und ist mit einem Anteil von 15% am Treibhauseffekt beteiligt. Gegenwärtig liegt der jährliche Konzentrationsanstieg bei 0,18% (IPCC 2007). Etwa zwei Drittel der CH₄ Emissionen sind anthropogen bedingt wobei der größte Anteil auf landwirtschaftliche Aktivitäten wie die Wiederkäuerhaltung und den Nassreisanbau zurückzuführen sind (FAL 2000:11).

Lachgas

Die atmosphärische Konzentration von Lachgas (N₂O) ist mit 319 ppb sehr gering. Die Landwirtschaft trägt einen Anteil von 65-80% an den anthropogenen N₂O Emissionen (FAO 2007). Durch das hohe Treibhauspotential trägt N₂O je-

doch einen Anteil von 4% am Treibhauseffekt. Das Zerfallsprodukt Stickstoffmonoxid (NO) ist außerdem indirekt am Ozonabbau beteiligt. Geringfügige Konzentrationsänderungen können somit langfristig zu signifikanten Veränderungen im Strahlungshaushalt der Erde führen (FAL 2000:11). Dieser Effekt gehört allerdings nicht direkt zum Treibhauseffekt und wird in der wissenschaftlichen Literatur unter dem Stichwort „Ozonabbau“ behandelt. Der Jährliche Konzentrationsanstieg liegt derzeit bei 0,25%.

Der Landwirtschaft zuzuordnende bedeutende Quellen sind (in der vorgelagerten Produktion) die Herstellung von Stickstoffdüngern und (in der landwirtschaftlichen Produktion entstehende) Lachgas (N₂O) Zwischenprodukt der Denitrifikation und Nitrifikation.

Die N₂O Emission aus landwirtschaftlich genutzten Böden steigt mit der Menge der N-Düngergabe an. „Optimale“ Bedingungen findet die N₂O Bildung in schlecht durchlüfteten Böden unter Sauerstoffarmut (Freye 2008:18).

2.2 Einfluss der Wirtschaftsweisen (konventionell, ökologisch) auf die Treibhausgasemissionen

Der Begriff Öko-Landbau bezeichnet Betriebe, die nach der EG-Verordnung Nr. 2092/91 oder nach Anbau Richtlinien der Verbände wirtschaften. Die Eigenschaften der ökologischen Wirtschaftsweise werden im Folgenden beschrieben.

Unter dem Begriff konventioneller Landbau sind demgegenüber alle Betriebe zusammengefasst die nicht nach den Grundsätzen des Öko-Landbaus wirtschaften. Das Spektrum der Bewirtschaftungsintensität ist hier sehr weit. Die hier beschriebenen Eigenschaften und Einflüsse auf Treibhausgasemissionen beziehen sich daher auf den bundesweiten Durchschnitt.

Konventionelle Landwirtschaft

Die konventionelle Landwirtschaft ist in ihren Produktionsformen und Intensität sehr unterschiedlich. Allgemein kann man jedoch von einer höheren Intensität, einer vereinfachten Fruchtfolgen und einer geringeren Biodiversität ausgehen. Produktionsgrundlagen sind durch hohe Inputs in Form von synthetischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, Wachstumsregulatoren (im Pflanzenbau) und Futtermitteln gekennzeichnet. Die Ammoniaksynthese, das „Haber-Bosch-Verfahren“ zur Herstellung von Stickstoffdüngern ist der energieaufwendigste Prozessschritt in der Produktion landwirtschaftlicher Inputs.

Treibhausgasemissionen werden im konventionellen Landbau somit vor allem durch die energieaufwendige Bereitstellung von Stickstoffdüngern verursacht. Durch die intensive Stickstoffdüngung der Böden ist außerdem von hohen Lachgasemissionen auszugehen (Tauscher 2003:22)

Berechnet durch HAAS ET. AL. (1994:20) auf Basis des Agrarberichtes 1993 liegen die Treibhausgasemissionen bezogen auf den Ertrag im konventionellen Landbau um 20%-50% höher als im Öko-Landbau. Zu berücksichtigen ist, dass in dieser Studie lediglich einzelne Produktionsverfahren untersucht wurden. Der im Öko-Landbau notwendige Leguminosenanbau im Rahmen der Fruchtfolge zur N-Versorgung anderer Früchte wurde nicht berücksichtigt. In Studien welche die Vorfruchtwirkung der Leguminosen mitberücksichtigen wie etwa FAL 2000 sind Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Verfahren geringer bzw. verursachen ökologische Verfahren sogar mehr Treibhausgasemissionen.

Öko-Landbau

Im Öko-Landbau wird der benötigte Stickstoff hauptsächlich durch Leguminosen in den Produktionskreislauf eingebracht. Mineralische Stickstoffdünger finden keine Verwendung. Treibhausgasemissionen verursachende Faktoren sind hier vor allem Lachgasemissionen verursacht durch N-Einträge des intensiven Anbaus von Leguminosen und des Wirtschaftsdüngers (Tauscher 2003:22).

Viehhaltung und Ackerbau sind im Öko-Landbau meist in einem Betrieb integriert, der Viehbesatz je Hektar ist geringer als im konventionellen Landbau und es werden vorwiegend Haltungsformen mit Einstreu genutzt. Der hierdurch erzeugte Mist, genutzt im Pflanzenbau, fördert das Bodenleben. Vielfältige Fruchtfolgen in Kombination mit Bodenruhe unter Klee gras fördert die Bodenstruktur.

Ökologisch bewirtschaftete Böden haben für gewöhnlich höhere Humusgehalte (Schulz 2007:11). Humus fixiert einerseits CO₂ im Boden, andererseits fördert ein höherer Humusgehalt die Bodenstruktur, welche wiederum die Wasseraufnahme und Speicherfähigkeit des Bodens verbessert. In zunehmend häufiger vorkommenden extremen Wetterlagen - etwa infolge des Klimawandels - kann durch einen höheren Humusgehalt das Pflanzenwachstum stabilisiert werden.

2.3 Emissionsquellen in der pflanzlichen Erzeugung

In diesem Kapitel werden die durch die Bereitstellung und den Gebrauch landwirtschaftlicher Inputs verursachten Treibhausgasemissionen erläutert und Quantifizierungsmethoden dargestellt.

2.3.1 Energieträger

Relevante Energieträger zur Berechnung der Treibhausgasemissionen sind: Diesel, Heizöl und Strom. Allgemein kann hier in direkte und indirekte Emissionen unterschieden werden. Direkte Emissionen zielen nach dieser Unterteilung auf die durch den Verbrauch entstehenden Emissionen, während indirekte Emissionen durch die Bereitstellung der Energieträger (Förderung, Aufbereitung, Transport etc.) verursacht werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 2: Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen verursacht durch die Landwirtschaft.

direkte CO₂-e Emissionen	indirekte CO₂-e Emissionen
Verbrennung fossiler Energieträger	Bereitstellung von Betriebsmitteln:
Bodenbürtige Lachgasemissionen (entstehen durch mikrobielle Umsetzung des eingebrachten Stickstoffs)	Energieträger (Förderung, Aufbereitung, Transport)
	Düngemittel
	Pflanzenschutzmittel
	Saatgut
	Investitionsgüter
	Bodenbürtige Lachgasemissionen (entstehen durch mikrobielle Umsetzung des eingebrachten Stickstoffs)

Tabelle 3: Emissionsfaktoren bestimmter Energieträger.

Energieträger	Einheit	Kg CO ₂ -e je Einheit
Diesel	l	2,91
Heizöl	l	2,87
Strom	kWh	0,62

Quelle: Angenendt (2003:58).

Diesel

Diesel ist der wichtigste Energieträger und bestimmt den größten Teil des direkten Energieverbrauchs in der Pflanzenproduktion (FAL 2000:30). Durch den Verbrauch entstehende Treibhausgasemissionen sind vor allem abhängig von der Arbeitsbreite und Leistung der Maschinen, dem jeweils durchgeführten Arbeitsgang, der Schlaggröße und der Bodenart. Der Dieserverbrauch wird in dieser Arbeit anhand des KTBL Kalkulationsprogramms zur Datensammlung und Betriebsplanung in der Landwirtschaft aus dem Jahr 2006 berechnet (KTBL 2006). Aus dem Verbrauch resultierende indirekte und direkte CO₂-Emissionen werden nach folgendem Modell berechnet (nach Angenendt 2003:59).

$$\text{CO}_2\text{-e Emissionen} = Z \cdot V \cdot L \cdot E$$

mit:

Z = Schlepperstunden je Hektar

V = Liter Diesel Verbrauch je Hektar

L = Leistungsfaktor von 0,7 (z.B. Striegeln) bis 1,5 (z.B. Pflügen)

E = Emissionsfaktor [kgCO₂/l] (Tabelle 5.1.)

In Tabelle 4 werden einige Arbeitsgänge und die daraus resultierenden CO₂-e Emissionen dargestellt.

Beispiel Pflügen (Partnerbetrieb Brodowin):

Der Zeitbedarf je Hektar liegt bei 0,94 Stunden, der Dieserverbrauch bei 21,39 Litern:

$$0,94\text{h} \cdot 21,39\text{l/ha} \cdot 1,5 \text{ Leistungsfaktor} \cdot 2,91 \text{ Emissionsfaktor [kgCO}_2\text{/l]} = 87,77 \text{ kg CO}_2\text{/ha}$$

Tabelle 4: Einige energiebedingte CO₂-e Emissionen des ökologischen Getreideanbaus am Beispiel Brodowin.

Arbeitsgang ^{1*}	Zeit h/ha ^{2*}	l Diesel/ha ^{2*}	Leistungsfaktor ^{3*}	kg CO ₂ -e Emissionen /ha ^{3*}
Pflügen	0,94	21,39	1,50	87,77
Saatbettkombi.	0,39	7,60	1,25	10,78
Striegeln	0,18	2,39	0,70	0,88
Mähdrusch	1,20	12,79	1,00	44,66
Abfahren	0,60	0,61	1,00	1,07
Stoppelgrupper	0,23	5,71	1,25	4,78

^{1*}Brodowin 2008 ^{2*}KTBL 2006 ^{3*}Angenendt 2003

Heizöl

Heizöl wird für die Getreidetrocknung verwendet. Wie beim Diesel entstehen auch hier indirekte und direkte Treibhausgasemissionen (siehe Tabelle 3).

Strom

Strom als Energieträger ist für das Schälen der Sonnenblumenkerne notwendig. Daten über den Verbrauch wurden bei den Mühlen erhoben. Für das Schälen einer dt Sonnenblumenkerne verbraucht die Maschine 36kWh, dies entspricht 22g CO₂-e unter Berücksichtigung von direkten als auch indirekte Emissionen.

2.3.2 Düngemittel

Wirtschaftsdünger und Kalk werden in diesem Kapitel ausführlicher behandelt. Treibhausgasemissionen verursacht durch die Bereitstellung mineralischer Düngemittel sind in Tabelle 5 dargestellt.

Wirtschaftsdünger

Mit dem Wirtschaftsdünger wird dem Acker ein Teil der Nährstoffe, die ihm durch das Erntegut entzogen werden, zurückgegeben. Durch die Substitution mineralischer Düngemittel durch Wirtschaftsdünger können bis zu 40% an Energie eingespart und damit indirekte Emissionen reduziert werden (FAL 2000:36). Da in der Ökobilanz indirekte Umweltbeeinträchtigungen dem jeweiligen Produkt zugeordnet werden aufgrund dessen sie produziert werden, wird die Herstellung mineralischer Düngemittel dem Pflanzenbau und nicht der Düngemittel Industrie zugeordnet. Da die Tierhaltung eindeutig dem Zweck der Fleisch bzw. der Milchproduktion und nicht der Gülle oder Mistproduktion dient stellt Wirtschaftsdünger also vorerst ein Abfallprodukt der Fleischproduktion da. Umweltbeeinträchtigungen verursacht durch die Erzeugung von Wirtschaftsdüngern werden daher der Tierhaltung und nicht dem Pflanzenbau zugeordnet (FAL 2000:36).

In der Landwirtschaft kann die „Erzeugung“ von Wirtschaftsdünger und die damit verbundenen Emissionen bis zur Lagerung auf der Mistplatte eindeutig den Produktionsverfahren der Tierhaltung zugeordnet werden. Erst mit der Aufbereitung und ggf. einer Lagerung am Feldrand findet eine Verwendung für den Pflanzenbau statt. Damit ist der Wirtschaftsdünger erst ab der Mistplatte dem Pflanzenbau zuzuordnen (Arman 2003:13).

Mineralische Düngemittel

In Tabelle 6 sind die durch den Primärenergieeinsatz für die Bereitstellung (Herstellung und Transport) von Düngemitteln und Kalk entstehenden CO₂-e Emissionen dargestellt. Die abgebildeten Werte sind Durchschnittswerte des in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzten Düngers im Bezugsjahr 1993. Aktuellere Daten sind nicht vorhanden.

Kalk

Kalk ist kein Düngemittel im eigentlichen Sinne, sondern ein Bodenverbesserer der zur Erhöhung des pH-Werts eingesetzt wird. Es ist das einzige mineralische Düngemittel welches im Ökolandbau Verfahren angewendet wird. Die Höhe der empfohlenen Kalkgabe hängt von der Bodenart ab, auf schweren Böden liegt diese bspw. doppelt so hoch wie auf leichten (Kreitmayer 2004:232)

Tabelle 5: CO₂-e Emissionen für die Bereitstellung von Düngemitteln (FAL 2000:35).

Dünger	Bezug	Kg CO₂-e Emissionen /kg Dünger
Stickstoff	1kg N	7,52
Phosphat	1kg P ₂ O ₅	1,18
Kalium	1kg K ₂ O	0,67
Kalkstein	1kg CaO	0,12

(FAL 2000:35)

2.3.3 Investitionsgüter

Hierzu zählen Maschinen, Geräte, Anlagen und Gebäude. Die Bereitstellung und Wartung von Investitionsgütern verursachen Treibhausgasemissionen, welche den einzelnen Produktionsverfahren und somit den durch das Produkt verursachte Treibhausgasemissionen zugeordnet werden können.

In dieser Arbeit wird die Bereitstellung von Investitionsgütern aus dem Bilanzierungsrahmen ausgeklammert. Der Bilanzierungsrahmen dieser Arbeit orientiert sich an der standardisierten Methodik PAS - 2050 (siehe Kapitel 4). Investitionsgüter werden nach PAS – 2050 nicht berücksichtigt (BSI 2008:13).

2.3.4 Saatgut

Aufgrund fehlender Datengrundlage bei der Saatgutbereitstellung konnte nur die Aufwendung zur Saatguterzeugung (dem Nachbau) und nicht der Aufwand zur Saatgutzüchtung mit in die Bilanz einbezogen werden.

2.3.5 Bodenbürtige Lachgasemissionen

Die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen verursacht direkte und indirekte N₂O-N Emissionen. Die Quantifizierung dieser Emissionen erfolgt anhand von Methoden und Faktoren der „2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC 2006:11). Die Berechnung des N-Gehalts in Ernterückständen erfolgt analog Tabelle 11.2 der IPCC-Richtlinie (IPCC 2006:11.17). Die Umrechnung der N₂O-N Emissionen zu N₂O Emissionen wird mit folgender Formel durchgeführt (IPCC 2006:11.7):

$$N_2O = N_2O-N * 44/28$$

Direkte N₂O-N Emissionen

Eine Steigerung der N Verfügbarkeit im Boden verstärkt in den meisten Böden die Nitrifikations- und Denitrifikationsrate. Da N₂O-N als Zwischenprodukt dieser Prozesse entsteht lassen sich direkte N₂O-N-Emissionen anhand des zugeführten Stickstoffes quantifizieren (IPCC 2006:11.7).

$$E(N_2O-N_{\text{DIREKT}}) = (F_{\text{AW}} + F_{\text{SN}} + F_{\text{CR}} + F_{\text{BN}}) + EF_1$$

$E(N_2O-N_{\text{DIREKT}})$	= jährliche Emissionen [kg N ₂ O-N /ha und Jahr]
F_{AW}	= N Eintrag durch Wirtschaftsdünger [kg N /ha und Jahr]
F_{SN}	= N Eintrag durch mineralische N-Düngung [kg N /ha und Jahr]
F_{CR}	= N Eintrag durch Biologische N-Fixierung [kg N /ha und Jahr]
F_{BN}	= N Eintrag durch Ernterückstände [kg N /ha und Jahr]
EF_1	= Emissionsfaktor [kg N ₂ O-N /kg N-Eintrag und Jahr]

Zur Bestimmung der direkten N₂O-N Emissionen wird die Summe der N-Einträge durch Wirtschaftsdünger, mineralische N-Dünger, biologische N-Fixierung und Ernterückstände mit dem Emissionsfaktor 0,01 multipliziert. Dieser Emissionsfaktor ist das Ergebnis einer Studie des IPCC auf Grundlage von weltweiten Messungen (IPCC 2006:11.6).

Indirekte N₂O-N Emissionen durch atmosphärische Deposition gasförmiger N-Verbindungen

Die Anwendung stickstoffhaltiger Düngemittel erhöht die Verflüchtigungsrate gasförmiger N-Verbindungen in Form von Ammoniak (NH₃) und N-Oxiden (NO_x). Diese gasförmigen N-Verbindungen verlagern sich in andere Ökosysteme und erhöhen dort die Lachgasemissionen (indirekte Wirkung). Sie werden wie folgt berechnet (IPCC 2006:11).

$$N_2O-N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + (F_{ON} * Frac_{GASM})] * EF_4$$

N₂O-N = jährliche N₂O-N Emissionen durch atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen [kg N₂O-N/ha und Jahr]

F_{SN} = Einsatz an mineralischen N-Düngemitteln [kg N/ha und Jahr]

Frac_{GASF} = Anteil des mineralischen N-Dünners der als NH₃ und NO_x emittiert [NH₃-N und NO_x-N /kg N]

F_{ON} = Einsatz an Wirtschaftsdünger [kg N/ha und Jahr]

Frac_{GASM} = Anteil des Wirtschaftsdüngers der als NH₃ und NO_x emittiert [NH₃-N und NO_x-N /kg N]

EF₄ = Emissionsfaktor für N₂O Emissionen durch atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen [kg N₂O-N/kg NH₃-N und NO_x-N]

Für die Ausbringung mineralischer N-Dünger geht der Verlustkoeffizient von 0,10 (Frac_{GASF}) in die Berechnung ein. Dies bedeutet, dass 10% des mineralischen N-Düngers in Form von Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH₃) emittieren. Für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger wird pauschal von einem Verlustkoeffizient von 0,20 (Frac_{GASM}) ausgegangen. Dies bedeutet, dass 20% des organischen N-Düngers in Form von Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH₃) emittieren. Der mittlere Emissionsfaktor für N₂O-N Emissionen durch atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen (NO_x und NH₄) liegt bei 0,01 (EF₄). Das heißt, dass 1% dieser gasförmiger Stickstoffverbindungen (NO_x und NH₄), verlagert in andere Ökosysteme hier als N₂O-N emittieren. N-Einträge durch Ernterückstände und biologische N-Fixierung verursachen keine atmosphärische Deposition gasförmiger N-Verbindungen und müssen daher nicht berücksichtigt werden (IPCC 2006:11.19).

Indirekte N₂O-N Emissionen durch Auswaschung und Oberflächenabfluss

Die Verlagerung von N-Verbindungen durch Auswaschung und Oberflächenabfluss erhöht die natürliche Lachgasproduktion von Grund und Oberflächengewässern. Sie werden wie folgt berechnet (IPCC 2006:11).

$$N_2O-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CF}) * FRAC_{LEACH} * EF_5$$

N₂O-N = Jährliche N₂O-N Emissionen durch atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen [kg N₂O-N/ha und Jahr]

F_{SN} = Einsatz an mineralischen N-Düngemitteln [kg N/ha und Jahr]

F_{ON} = Einsatz an Wirtschaftsdünger [kg N/ha und Jahr]

F_{CF} = N Eintrag durch Ernterückstände und Leguminosen [kg N/ha und Jahr]

FRAC_{LEACH} = Anteil des verlagerten N [kg N₂O-N/kg N]

EF₅ = Emissionsfaktor [kg N₂O-N/kg N]

Es wird davon ausgegangen, dass 30% (FRAC_{LEACH}) des gedüngten N durch Auswaschung oder Oberflächenabfluss in andere Ökosysteme gelangt. Der mittlere Emissionsfaktor für N₂O-N Emissionen durch Stickstoffverlagerung liegt bei 0,0075 (EF₅) (IPCC 2006:11.23).

2.4 Zwischenfazit

Flächenbezogen sind Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft stark von der Intensität der Bewirtschaftung abhängig. Eine entscheidende Rolle spielt die Höhe der Inputs insbesondere von synthetischen Düngemitteln. So könnten durch eine drastische Senkung des Stickstoffdüngereinsatzes im konventionellen Landbau die CO₂ Emissionen deutlich verringert werden (Köpke 1994:IV).

Bei der Erzeugung tierischer Lebensmittel im konventionellen Landbau liegt der Viehbesatz verhältnismäßig hoch, Futtermittel kommen meist nicht vom eigenen Hof sondern werden aus entfernten Regionen importiert. Eine Reduzierung des Viehbesatzes und die Umstellung auf lokal produzierte Futtermittel würde den Energieverbrauch und die CO₂ Emissionen in der konventionellen Landwirtschaft erheblich vermindern (Haas 1994:IV).

Die Unterschiede in der Rückbindung von CO₂ sind gering. Im konventionellen Landbau wird ein größerer Teil kurzfristig in der oberirdischen Spross- und Erntemasse gebunden. Im ökologischen Landbau hingegen eher langfristig im Wurzelsystem der Kulturpflanzen, der Begleitflora, der Fauna im und über dem Boden und in der mikrobiellen Biomasse im Boden (Haas 1994:45).

Indirekte durch die Bereitstellung von Betriebsmitteln verursachte Treibhausgasemissionen spielen je nach Intensität der Bewirtschaftung eine mehr oder weniger große Rolle. Daten für das Klimapotential der Bereitstellung von Betriebsmitteln wurden größtenteils 1997 von PATYK (1997) veröffentlicht. Aktuelle Daten fehlen.

Zur Bilanzierung der durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Böden verursachten Lachgasemissionen werden aktuell Methoden des IPCC (IPCC 2006:11) verwendet. Standortfaktoren und Wirtschaftsweise fließen hier nur sehr begrenzt in Berechnungsverfahren ein. Ergebnisse sind daher eher als Durchschnittswerte zusehen.

3 CO₂-Bilanzierung von Produkten

Im folgendem Kapitel wird die erste Fragestellung dieser Arbeit erörtert: Welche Ansätze zur produktbezogenen CO₂-Bilanzierung bestehen bereits und wie lassen sich diese auf die Untersuchung übertragen?

Der Klimawandel ist ein aktuelles Thema in der Gesellschaft aufgrund dessen es eine wachsende Nachfrage von Organisationen nach Informationen zu Möglichkeiten der Treibhausgasbilanzierung gibt. Aus diesem Grunde hat die *European Plattform on Life Cycle Assessment* (EPLCA) eine Broschüre herausgegeben, die sich mit dem Thema Treibhausgas Bilanzierung beschäftigt (EPLCA 2007:1) und Empfehlungen zur Methodik gibt.

Da das Treibhauspotenzial auch ein wichtiger Unterpunkt in der produktbezogenen Ökobilanz ist, existieren bereits Datenbanken und Erfahrung in der Anwendung. Die produktbezogene Ökobilanz standardisiert nach ISO14040 wird bereits seit über zehn Jahren erfolgreich von Organisationen angewendet. Daher empfiehlt die EPLCA CO₂-Bilanzen nach dieser Methodik durchzuführen (EPLCA 2007:2).

3.1 Ökobilanzierung nach ISO 14040 und 14044

Die Ökobilanz ist ein Instrument zur Erfassung und Bewertung ökologisch relevanter Stoff- und Energieströme ausgelöst durch z.B. die Herstellung eines Produktes, den Ablauf eines Prozesses oder der Aktivitäten einer Organisation.

Zur Standardisierung von Ökobilanz wurde die ISO Norm 14040 und 14044 erstellt. Wobei in der ISO 14040 die Grundsätze und Rahmenbedingungen und in der ISO 14044 die Anforderungen und die Vorgehensweise standardisiert sind.

Die Vorgehensweise gliedert sich in vier Schritte.

1.Phase: Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

Durch eine Skizzierung des Lebensweges und erläutert der umweltrelevanten Aspekte, Kenngrößen und Rahmenbedingungen, soll gewährleistet werden, dass alle bedeutenden Fragestellungen und Kenngrößen mit in die Bilanz einfließen. In diesem Schritt werden die Wirkungskategorien festgelegt. Welche Kategorien berücksichtigt werden, ist von dem zu bilanzierenden Objekt und vom Ziel der Bilanz abhängig. Wirkungskategorien die üblicherweise in einer Ökobilanz berücksichtigt werden sind Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt, Ozonabbau,

Versauerung, Eutrophierung, Ökotoxizität und Humantoxizität (standardliste Wirkungskategorien nach DIN/NAGUS 1996).

2.Phase: Sachbilanz

In diesem Schritt werden nach der Modellierung des Produkt-Lebens-Zyklus die Daten entsprechend der Zieldefinition und Rahmenbedingungen gesammelt und aufbereitet.

3.Phase: Wirkungsabschätzung

Die Parameter der Sachbilanz werden in Umweltwirkungen übertragen. Diese sind in Wirkungskategorien unterteilt, welche bereits im ersten Schritt definiert wurden. Z.B. wird hier, in der Wirkungskategorie Treibhauseffekt, festgelegt welche klimarelevanten Stoffe als Sachbilanzparameter infrage kommen und wie sich diese charakterisieren lassen (z.B. als CO₂-Äquivalente).

4.Phase: Auswertung

In der Auswertung werden Ergebnisse der Sachbilanz bzw. der Wirkungsabschätzung mit den im ersten Schritt definierten Zielen und Rahmenbedingungen zusammengeführt. Ziel der Auswertung ist es zu Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen zu gelangen (Seuring et al. 2008:124).

In der Landwirtschaft werden Ökobilanzen mit verschiedenen Zielen und in verschiedenen Bereichen durchgeführt.

Die ersten Ökobilanzen wurden im Bereich der nachwachsenden Energieträger durchgeführt. Ein wichtiges Argument für den Anbau von Bioenergieträgern ist die Umweltentlastung durch die Reduzierung von CO₂-Emissionen und dem damit verbundenen Treibhauseffekt. Um diese Umweltentlastung nachzuweisen und zu quantifizieren, wurden der Anbau und die Nutzung von Bioenergieträgern mit dem Einsatz fossiler Energieträger verglichen (Kaltschmitt 1997:1). Ergebnisse dieser Ökobilanzen können z.B. Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungen sein.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit von Ökobilanzen in der Landwirtschaft ist der Vergleich von Anbausystemen. Ziel ist es hier Argumentationshilfen für bestimmte Anbausysteme zu geben. Ein Beispiel ist die von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) durchgeführte Studie „Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmter Schadgasemissionen“ (FAL

2000). Ziel dieser Studie ist es, politische und ökonomische Entscheidungen für Anbausysteme durch eine objektive Evaluierung zu stützen (FAL 2000:1). Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebsmittel wie z.B. Düngemittel und Maschinen. Diese sind wiederum Voraussetzung für die Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Produkte (Arman 2003:8).

Darüber hinaus werden Ökobilanzen in der Lebensmittelverarbeitung erstellt. Die landwirtschaftliche Erzeugung wird hier als Vorkette bilanziert. Ziele sind: ein verbessertes Marketing durch Umweltkennzeichnung, oder umweltbezogene Produktdeklarationen und die Optimierung von Produktionsprozessen (ISO 14040:1997:3; Arman 2003:7).

3.2 Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050)

Als Reaktion auf den IPCC Bericht und die Klimadebatte wird derzeit in Großbritannien, initiiert durch den Carbon Trust und DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) von *BSI Standard Solutions* eine standardisierte Methodik zur Abschätzung produktbezogener Treibhausgasemissionen entwickelt. Der erste Entwurf wurde 2007 als „*PAS² 2050 Specification for the measurement of the embodied greenhouse gas emissions in products and services*“ herausgegeben (PAS 2007). Dieser wurde Anfang 2008 überarbeitet, eine endgültige Version wird voraussichtlich Ende September 2008 veröffentlicht.

Der Carbon Trust ist ein von der Britischen Regierung 2001 gegründete Organisation, die das Ziel verfolgt in Zusammenarbeit mit Unternehmen Treibhausgasemissionen zu verringern und kommerzielle Technologien zur Einsparung von Treibhausgasen zu entwickeln (Carbon Trust 2007:4).

Ziel des PAS ist es für Unternehmen Anreize zu schaffen, Produkte zu bilanzieren und folgend Treibhausgasemissionen zu verringern. Unternehmen könne ihr Engagement für den Klimaschutz mit einem sogenannten „Carbon-Label“ auf ihren Produkten kommunizieren. Gekennzeichneten Produkte sollen einerseits dem Konsumenten als Entscheidungskriterium zur Verfügung stehen, andererseits soll beim Konsumenten das Bewusstsein geweckt werden welche Art von

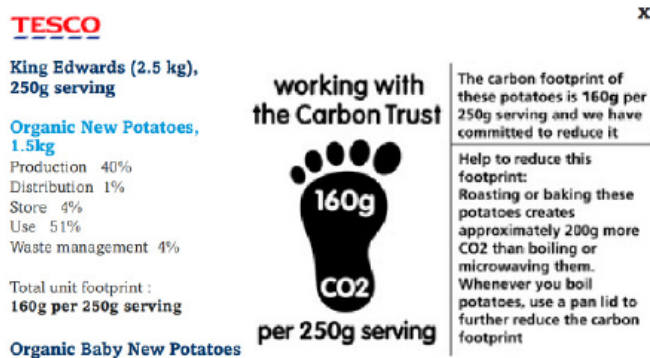
2 **Publicly Available Specification**. PAS ist ein Dokument basierend auf dem Modell des Britischen Standards. Jede Organisation, Verband oder Gruppe die zu einem Thema eine standardisierte best practice Dokumentation machen möchte um damit der Branche zu helfen und ihre Expertise voranzubringen, kann eine PAS in Abhängigkeit des Abnahmeverfahrens des BSI, beauftragen. <http://www.bsi-global.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/What-is-a-PAS-Publicly-Available-Specification/>

Produkten CO₂ „intensiv“ sind, so dass er in die Lage versetzt wird, sein Konsumverhalten ändern zu können (Carbon Trust 2007:4).

Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit einer solchen Kennzeichnung ist, dass ein einheitlicher Bilanzierungsrahmen und Methodik verwendet wird.

In der Praxis wird die PAS 2050 Methodik in Pilotprojekten z.B. von Tesco, der größten Supermarktkette Großbritanniens eingesetzt. Treibhausgase von 20 Produkten ihrer Hausmarke wurden mit der Methode PAS ermittelt und mit einem sog. „Carbon Label“ (siehe Abb.: 3) gekennzeichnet. Angezeigt werden auf dem Carbon Label seit April'07 die Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalent die während der Produktion, Distribution, Lagerung, dem Gebrauch und der Entsorgung emittiert werden (Tesco 2007:1).

Abbildung 3. Carbon Label ökologisch erzeugter Kartoffeln (Carbon Label 2008:1).



In Deutschland wurde unter der Trägerschaft von WWF, dem Öko-Institut, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und THEMA1 am 15. April 2008 in Kooperation mit sechs Unternehmen ein gemeinsames Product Carbon Footprint (PCF) Pilotprojekt Deutschland initiiert. Für ausgewählte Produkte werden Treibhausgasemissionen ermittelt, und in einem so genannten Product Carbon Footprint zusammengefasst.

In Zusammenarbeit mit Initiativen in Großbritannien, Frankreich, Österreich und der Schweiz wird an der internationalen Harmonisierung einer einheitlichen Erfassungsmethodik gearbeitet. Im Pilotprojekt wird darüber hinaus diskutiert, ob und gegebenenfalls wie eine Kommunikation und Kennzeichnung für Waren und Dienstleistungen gegenüber Kunden und Endverbrauchern vor dem Hintergrund der internationalen Entwicklungen erfolgen kann (Pohlmann 2008:1).

3.3 Stop-Climate-Change

Stop Climate Change ist ein von der Göttinger Consulting Firma Agrar-Teg entworfenes Zertifizierungssystem mit einer eigens entwickelte Methodik. Ziel ist es, die durch den Produktlebenszyklus bedingten Emissionen zu erfassen, zu dokumentieren, zu reduzieren und durch den Erwerb von CO₂-Emissionsminderungsverpflichtungen auszugleichen. Zertifizierte Produkte können dann mit einem eigens entwickelten Label als „emissionsfrei“ gekennzeichnet werden (Agrar Teg 2008:1). Das Stop-Climate Change Siegel wurde bisher erst für zwei Produkte (Bratwurst von Ökoland und Bananen) vergeben. Die Kennzeichnung „Emission free“, wie sie auf dem Siegel von Stop-Climate-Change steht, ist jedoch irreführend. Es handelt sich hier lediglich um eine Kompensation der bei der Produktion angefallenen Treibhausgase durch die Unterstützung von Klimaschutzprojekten (Manhart 2008:35)

3.4 Zwischenfazit

Aufgrund der Klimadebatte ist das Klima-Bewusstsein der Konsumenten gestiegen. Das Interesse nach klimafreundlicheren Produkten nimmt zu.

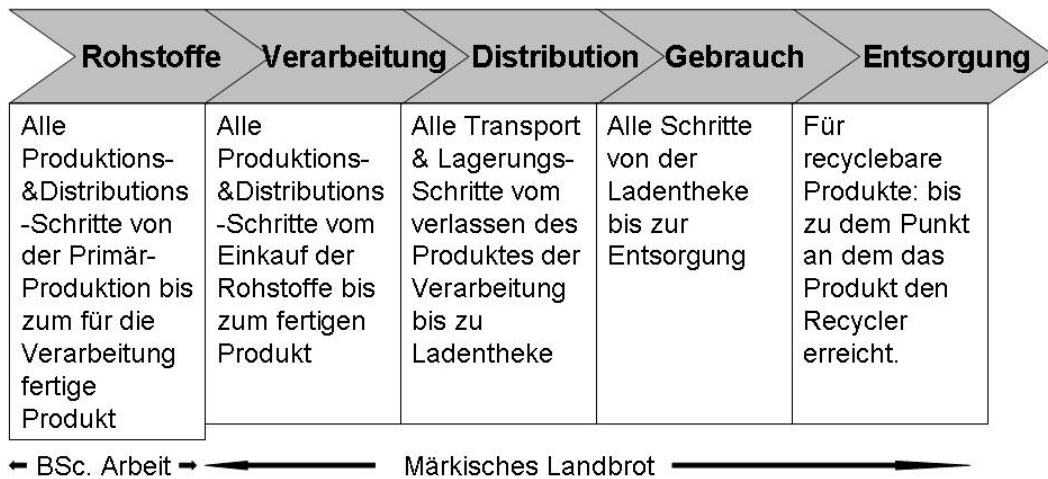
Unternehmen sehen die Möglichkeit sich durch Engagement im Klimaschutz zu differenzieren. Aus diesem Grund entwickelt sich ihrerseits die Nachfrage nach Möglichkeiten klimafreundliches Handeln zu kommunizieren. Da etwa 40% der klimarelevanten Emissionen durch Konsum und Ernährung verursacht werden ist hier ein großes Emissionsreduktionspotential zu sehen (UBA 2007:1). Aus diesen Gründen wird auf europäischer Ebene im Rahmen des PCF Projekt an einer einheitlichen Methodik zur Erfassung produktbezogener Treibhausgasemissionen geforscht. Vorreiter im PCF Projekt ist Großbritannien und der Carbon Trust. Auf Basis einer vorläufigen Methodik (PAS 2050) und einer vom Carbon Trust entwickelten Kennzeichnung können Unternehmen ihre Engagement im Klimaschutz bereits kommunizieren. PAS 2050 wird allerdings noch als unausgereift und zu kompliziert angesehen (Schellnhuber 2008:38). Auch fehlt bisher ein international harmonisierter Standard.

Eine andere Möglichkeit des Engagements im Klimaschutz ist es, verursachte Treibhausgasemissionen durch die finanzielle Unterstützung von Klimaschutzprojekten auszugleichen (carbon offset) und dies zu kommunizieren. So entwickelte die Göttinger Consulting Firma Agrar-Tec eine Methode und Kennzeichnung zur Kommunikation klimaneutraler Produkte (siehe Kapitel 3.3).

4 Methodik

In dieser Arbeit wird der erste Schritt des Gesamtlebenszyklus eines Sonnenblumenbrotes (Kastenbrot 1000g), die landwirtschaftliche Erzeugung der **Rohstoffe** Roggen, Weizen und Sonnenblumenkerne, im Produktlebenszyklus eines Brotes bilanziert (siehe Abb. 4). Die Bilanzierung der nachfolgenden Schritte wird durch die verarbeitende Bäckerei durchgeführt. Die in dieser Arbeit verwendete Methodik sowie der Bilanzierungsrahmen orientiert sich an in Kapitel 3.2 vorgestellten PAS 2050 (vgl. Abb. 4).

Abbildung 4. Lebenszyklus eines Produktes, Schritte nach PAS2050.



Quelle: In Anlehnung an PAS 2050 (PAS 2050, 2008:22).

4.1 Wahl des Bilanzierungsrahmen

Als Bilanzierungsrahmen wird in dieser Arbeit PAS 2050 verwendet. PAS 2050 stellt insbesondere für SME's im Vergleich zu Lebenszyklusanalysen (LCA's) nach ISO 14040-44 eine vereinfachte herangehensweise der CO₂-Bilanzierung dar (DEFRA 2007:1).

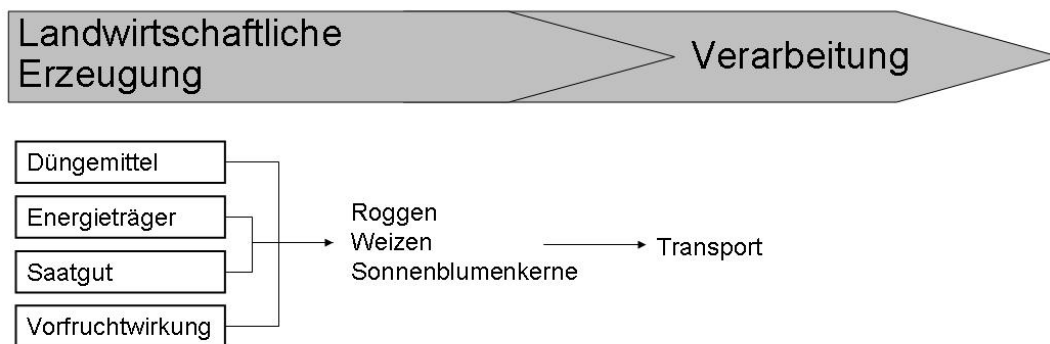
Ein weiterer Vorteil von PAS 2050 im Gegensatz zur ISO 14040-44 ist, dass PAS speziell zur Berechnung von in Konsumgütern verkörperten Treibhausgasemissionen entwickelt wird. Die Anwendung von PAS hat unter anderem den Anspruch die Erstellung vergleichbarer Treibhausgasbilanzen zu ermöglichen, Bilanzierungsrahmen werden daher spezifischer definiert als in ISO 14040 ff. (Minx, 2007:26).

Nach PAS 2050 fließen die Bereitstellung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, Energieträgern und Saatgut sowie direkte Emissionen von Maschinen und Anlagen, in die Bilanzierung mit ein.

Nicht mit in die Bilanzierung fließen THG-Emissionen assoziiert mit der Bereitstellung und Wartung von Maschinen, Anlagen und Gebäuden sowie Emissionen assoziiert mit Arbeitswegen der Angestellten.

PAS 2050 trifft allerdings keine Aussage zur Bewertung von bodenbürtigen direkten und indirekten Lachgasemissionen (N_2O). Die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft tragen mit etwa 50% zu den Gesamtemissionen von Lachgas in Deutschland bei (UBA 2006:1). Als Treibhausgas mit einem CO_2 Äquivalent von 298 sind sie daher nicht zu vernachlässigen. Lachgasemissionen werden in dieser Arbeit anhand der IPCC-Methodik „2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC 2006:11) berechnet.

Abbildung 5. Prozess Modell der Rohstoff Erzeugung.



Quelle: In Anlehnung an PAS 2050 (PAS 2050, 2008:25).

Abbildung 5 zeigt den Bilanzierungsrahmen der Rohstoffherzeugung von Roggen, Weizen und Sonnenblumenkernen nach PAS 2050. Branchenspezifische Sachverhalte wie z.B. die Zuordnung der Vorfruchtwirkung von Leguminosen im Ökolandbau werden durch den Bilanzierungsrahmen in PAS 2050 nicht geregelt.

Aus diesem Grund orientiert sich diese Arbeit bei, durch PAS 2050 ungeklärten Sachverhalten auf die im Jahr 2000 durch FAL durchgeführte Studien: „Bewertung von Verfahren der Ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmter Schadgasemissionen“ (FAL 2000). Einzelheiten werden in Kapitel 4.3 geklärt.

4.2 Beteiligte Betriebe

Im Folgenden werden die im Rahmen der Untersuchung beteiligten Betriebe kurz vorgestellt.

4.2.1 Märkisches Landbrot

Märkisches Landbrot ist eine Demeter Bäckerei in Neukölln, Berlin. Verarbeitet werden jährlich 1200 Tonnen Getreide. 90% des Getreides wird selbst vermahlen. Es werden täglich etwa 6000 Brote gebacken, Beschäftigt sind 35 Mitarbeiter. Der Jahresumsatz liegt bei 5 Mio. Euro.

4.2.2 Herkunft der landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffe

Märkisches Landbrot bezieht 80% seines Demeter-Getreides aus Brandenburg und 20% aus Sachsen und dem Lipperland. Teils erfolgt der Bezug direkt von Betrieben und teils von Erzeugergemeinschaften. Die Herkunft ist von Jahr zu Jahr unterschiedlich da Märkisches Landbrot (MLB) auf konstante Qualitäten angewiesen ist und diese regional von Jahr zu Jahr stark variieren. Auf Grund der Vielfalt der Lieferanten und dem Unterschieden zwischen den Jahren stellt es sich als schwierig dar eine jahresübergreifende durchschnittliche Bilanz zu erstellen.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Erhebung beschränkt sich daher auf zwei repräsentative Betriebe. Ausgewählt wurde der Hof Brodowin, dieser ist der größte Zulieferer für Weizen und Roggen und der Hof Ogrosen als Zulieferer für Sonnenblumenkerne.

4.2.2.1 Der Betrieb Brodowin

Brodowin bewirtschaftet ca. 1250 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (250 ha Grünland und 1000 ha Acker) nach Demeter Richtlinien. Der Hof liegt ca. 60 km nord-östlich von Berlin in der Uckermark. Die durchschnittliche Schlaggröße beträgt 35 ha. Die Bodenart ist mittel bis leicht (sandige bis lehmige Sandböden Ø Ackerzahl 33). Durchschnittlich werden pro Jahr etwa 500 t Brotgetreide erzeugt.

4.2.2.2 Der Betrieb Gut Ogrosen

Das Angebot an regional produzierten Sonnenblumenkernen ist laut Märkisches Landbrot nicht ausreichend um deren Nachfrage zu decken. Die Herkunft der von Märkisches Landbrot verarbeiteten Sonnenblumenkerne variiert daher von Jahr zu Jahr. Gut Ogrosen lieferte 2007 ca. 5 t Sonnenblumenkerne an Märkisches Landbrot. Diese Lieferung wird als Grundlage der Bilanz herangezogen.

In Gut Ogrosen konnten lediglich Daten zum Produktionsverfahren und relevante Standortfaktoren erhoben werden. Die Bodenart ist mittel bis leicht (sandige bis lehmige Sandböden Ø AKZ 38). Die durchschnittliche Schlaggröße beträgt 15 ha.

In 2007 lag der Ertrag bei 6dt/ha. Ein Durchschnittsertrag ist allerdings nicht bekannt. In dieser Bilanz wird daher von einem Ertrag von 9dt/ha ausgegangen (dies entspricht 50% des durchschnittlichen konventionellen Ertrags in Brandenburg).

4.3 Durchführung der CO₂-Bilanzierung im Rahmen des Projektes

Als Teil einer produktbezogenen CO₂-Bilanz wird die landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrotes untersucht. Landwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe dieses Brotes sind: ca. 60% Roggen, ca. 40% Weizen und ein geringer Anteil an Sonnenblumenkerne.

In Kapitel 5.1 und 5.2 werden mit dem Produktionsverfahren assoziierte Treibhausgase pro Hektar und Dezitonne ermittelt. In Kapitel 5.3 werden Ergebnisse produktbezogen (je Brot) dargestellt.

In Kapitel 6 wird die ökologische Erzeugung in Brodowin mit 2 konventionellen Produktionsverfahren verglichen.

4.3.1 Bilanzierung der ökologischen Produktionsverfahren in Brodowin

Anhand einer Literaturrecherche wurden klimarelevante Faktoren im Pflanzenbau ermittelt (siehe Kapitel 2.2). Zur Erhebung dieser Faktoren auf dem Betrieb Brodowin wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt (siehe Anhang 7). Da nicht alle Faktoren bekannt sind, müssen diese teilweise über Sekundärdaten ermittelt werden.

4.3.1.1 Fruchtfolgespezifische Faktoren

Der Leguminosenanbau ist im ökologischen Landbau die tragende Säule der Fruchtfolge und steht bei Fruchtfolgeplanungen immer am Anfang. Leguminosen-Gras-Gemenge dienen einerseits als Grundfutter für die Viehhaltung, andererseits der Bodenverbesserung und Stickstofffixierung. Leguminosen fixieren mit Hilfe von Knöllchenbakterien Stickstoff und stellen diesen den Folgekulturen zur Verfügung. Da der Öko-Landbau auf mineralische Stickstoffdüngung verzichtet, ist

das Gelingen der gesamten Fruchtfolge von einem erfolgreichen Leguminosenanbau abhängig (LWK-NRW 2004:1).

Aufgrund dieser Funktionen werden die mit dem Leguminosenanbau verbundenen Treibhausgasemissionen erhoben und bei der Bilanzierung der nachfolgenden Fruchtfolgeglieder berücksichtigt.

Brodowin arbeitet mit einer 6 gliedrigen Fruchtfolge. Diese variiert aufgrund der Heterogenität der Schläge und der nachgefragten Kulturen. Für die Bilanzierung der Rohstoffe Roggen und Weizen wird eine Fruchtfolge mit einem Leguminosenanteil von 30% vorausgesetzt. Daraus ergibt sich folgende Fruchtfolge:

Klee gras → Klee gras → Weizen → Gerste → Blattfrucht → Roggen.

Da Daten zur Fruchtfolge und Vorfruchtwirkung in Gut Ogrosen nicht bekannt sind, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass die Sonnenblume in der Brodowiner Fruchtfolge anstelle der Blattfrucht angebaut wird:

Klee gras → Klee gras → Weizen → Gerste → Körnersonnenblumen → Roggen.

Allokation der Vorfruchtwirkung

Im Ökolandbau verursacht der Leguminosenanbau neben der Düngung die größten Stickstoffeinträge in den Boden. Lachgasemissionen verursacht durch diese N-Einträge haben in Brodowin ein Treibhauspotential von 1730,75 kg CO₂-e. Das entspricht 60,32% der durch das Produktionsverfahren Klee gras verursachten Emissionen (siehe Tabelle 7). Die nachfolgenden Kulturen profitieren von diesen N-Einträgen. Die von im Boden fixiertem Stickstoff ausgehende Lachgasemissionen werden daher den Folgekulturen zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt analog dem N-Entzug der Folgekulturen. Bei einer 6-gliedrigen Fruchtfolge mit einem Leguminosenanteil von 33% werden 4/6 der N₂O-Emissionen den Folgekulturen anteilig nach N-Entzug zugeordnet.

Beispiel: 27dt Weizen Ertrag je Hektar entspricht einem N-Entzug von 59,4 kg N / ha (im Korn) (Die Landwirtschaft 2006:272). Dies entspricht in der bilanzierten Fruchtfolge 38,55%.

Düngung

In Brodowin verwendete Düngemittel sind Stallmist und Kalk. Die Stallmistgabe erfolgt alle 3 Jahre. Verursachte Emissionen werden anteilig auf alle Fruchtfolgeglieder verteilt.

Die Kalkausbringung erfolgt alle 6 Jahre. Emissionen verursacht durch die Bereitstellung und Ausbringung werden anteilig auf alle Fruchtfolgeglieder verteilt.

Dies entspricht dem von der FAL verwendeten Zuordnungsverfahren (FAL 2000:36).

Berücksichtigung Biologisch-Dynamischer Präparate

Das Ausbringen biologisch-dynamischer Präparate verursacht pro Jahr und Hektar ein Treibhauspotential von lediglich 5g CO₂-e. Produktbezogen entspricht dies z.B. für 1kg Weizen 0,002g CO₂-e. Biologisch-dynamische Präparate können daher in der Berechnung vernachlässigt werden.

4.3.1.2 Verfahrensspezifische Faktoren

Ermittlung des Dieserverbrauchs

Da der Verbrauch an Diesel pro ha und Arbeitsgang unbekannt ist werden Faktoren die diesen ausmachen erhoben. Relevant sind: Schlaggröße, Bodenart, Leistung in kW der Maschinen, Arbeitsbreiten und Art der Geräte, Transportleistungen und Erträge. Der Verbrauch wird anhand der KTBL Datensammlung 2006 ermittelt. Die Umrechnung in kg CO₂-e wird in Kapitel 2.3.1 erläutert.

Ermittlung Lachgasemissionen

Lachgasemissionen werden anhand der Menge und Art der N-Einträge quantifiziert (siehe Kapitel 2.3.5). Die N-Einträge von Wirtschaftsdüngern werden in dieser Arbeit anhand der ausgebrachten Menge und dem N-Gehalt der Düngemittel ermittelt (Tischner 2006:242). N-Einträge durch Ernterückstände und Leguminosen werden anhand von Tabelle 11.2 IPCC 2006 bestimmt. Zur Umrechnung von Stickstoffeinträgen zu Lachgasemissionen siehe Kapitel 2.3.5.

Durch Ernterückstände verursachte N₂O Emissionen

In Brodowin wird das Stroh abgefahren und in der Tierhaltung verwendet. In die Berechnung fließen also nur die Wurzelrückstände ein. Bei der Sonnenblume hingegen werden lediglich die Körner geerntet. Blatt und Wurzelrückstände verbleiben auf dem Acker.

Im konventionellen Vergleichsverfahren verbleibt bei den Produktionsverfahren Weizen und Roggen zusätzlich das Stroh auf dem Acker. Es findet keine Verwendung in der Tierhaltung statt, da von strohlosen Haltungssystemen ausgegangen wird.

Der N-Gehalt der Ernterückstände von Weizen und Roggen wird mit Hilfe von IPCC 2006 (Tabelle 11.2) berechnet. Der N-Gehalt der Ernterückstände der Sonnenblume ist in dieser Tabelle nicht enthalten. Aufgrund dessen wird hier auf den Faktor von DOLESCHEL zurückgegriffen (Doleschel, 2006:272). Auch der in den Wurzelrückständen der Sonnenblume verbleibende N-Gehalt ist unbekannt. Er wird anhand des Umrechnungsfaktors nach IPCC (Tabelle 11.2) errechnet.

4.3.2 Produktionsverfahren „konventionell“ und „konventionell ressourcenschonend“

Als konventionelle Vergleichsverfahren werden in dieser Arbeit zwei Produktionsweisen untersucht. Die zum Vergleich herangezogenen konventionellen Produktionsverfahren für Weizen und Roggen stammen aus der FAL Studie (FAL 2000). Unterschieden wird in ein „konventionelles“ und in ein „konventionell ressourcenschonendes“ Produktionsverfahren (PV). Beide Produktionsverfahren arbeiten mit wendender Bodenbearbeitung. Im PV „konventionell“ werden ausschließlich mineralische N-Dünger verwendet während im PV „konventionell ressourcenschonend“ organischer- (Gülle) und mineralischer N-Dünger eingesetzt werden. Um die im Rahmen der FAL-Studie (FAL 2000) verwendeten konventionellen Verfahren mit den ökologischen in Brodowin verwendeten Verfahren vergleichen zu können werden verschiedene Veränderungen vorgenommen:

PV konventionell /konventionell ressourcenschonend

Die durch den Verbrauch von Energieträgern entstehenden Emissionen entsprechen denen in PV Brodowin bzw. werden unter gleichen Standortfaktoren mit gleichen Quellen (KTBL 2006) ermittelt. Erträge und Düngeraufwendung stammen aus der Datensammlung für die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg (LVL 2005). Um die Vergleichbarkeit zu Brodowin zu gewährleisten werden Produktionsverfahren mit gleichen Standortbedingungen (Ackerzahl 29-35) verwendet. Die Aufwandsmenge an Pflanzenschutzmitteln entspricht den in der FAL-Studie angegebenen Werten (FAL 2000). Die Aufwendung an Kalk wird mit den in Brodowin erhobenen Werten gleichgesetzt.

Die Studie der FAL (FAL 2000) betrachtet ausschließlich Schadgasemissionen verursacht durch Energieeinsatz. Bodenbürtige Lachgasemissionen werden nicht berücksichtigt. Da alle N-Einträge bekannt sind werden indirekte und direkte N₂O Emissionen dem Verfahren hinzugefügt.

Für die Bereitstellung des Saatgutes wird lediglich der Nachbau berücksichtigt, da Werte für zertifiziertes Saatgut fehlen.

Tabelle 6: Datenquellen der konventionellen und des ökologischen Verfahrens

Faktoren	Produktionsverfahren konventionell / konventionell ressourcenschonend	Produktionsverfahren ökologisch Brodowin
<i>Datenquellen</i>		
Arbeitsgänge	KTBL Datensammlung 2006	erhoben in Brodowin Mai 2008
Verbrauch Diesel	KTBL Datensammlung 2006	KTBL Datensammlung 2006
NPK-Mengen/ Wirtschaftsdünger Menge	LVLf Datensammlung BB. erfahren LBG III Anteil mineralischer / organischer Dünger FAL 2000	erhoben in Brodowin Mai 2008
PSM-Mengen	FAL 2000	
Kalk Menge	wie in Brodowin	erhoben in Brodowin Mai 2008
Erträge	LVLf Datensammlung BB. Verfahren LBG III	erhoben in Brodowin Mai 2008
N-Einträge durch Ernterückstände	IPCC 2006 (Roggen&Weizen) Doleschel 2006 (Sonnenbl.)	IPCC 2006 (Roggen,Weizen&Klee gras) Doleschel 2006 (Sonnenblumen)
N-Einträge durch Wirtschaftsdünger	Tischner 2006	Tischner 2006
N₂O Emissionen	IPCC 2006	IPCC 2006
Verbrauch Heizöl (Trocknung)	wie in Brodowin	erhoben in Brodowin Mai 2008
Saatgutmenge	FAL 2000	erhoben in Brodowin Mai 2008
Bereitstellung Saatgut	Berechnung des Nachbaus	Berechnung des Nachbaus

LBG III = Landbaugebiete in Brandenburg mit einer Ackerzahl von 29-35

5 Ergebnisse: CO₂-Bilanzierung landwirtschaftlicher Rohstoffe am Beispiel Märkisches Landbrot

5.1 Übergeordnete, Fruchtfolge spezifische Faktoren

5.1.1 Vorfrucht

Der 2 Jährige Klee gras-Anbau verursacht Treibhausgasemissionen von 2869,24 kg CO₂-e je Hektar (Tabelle 7). Der durchschnittliche Ertrag liegt bei 325dt Frischmasse je Hektar und Jahr. Daraus berechnen sich N-Einträge von 323,56 kg/ha (für 2-jähriges Klee gras) durch Ernterückstände. Dies verursacht 60% der Emissionen in Form von Lachgas. Die durch die Düngung verursachten Emissionen tragen einen Anteil von 32,63%. Durch den Verbrauch von Diesel werden lediglich ca. 7% der Treibhausgasemissionen verursacht (Tabelle 7).

Tabelle 7: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Klee gras (2-jährig).

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e	CO ₂ -e Emissionen in %
Pflügen	Diesel	1	21,39 l	87,77	3,06%
Saatbettkombi.	Diesel	1	7,47 l	10,6	0,37%
1./2./3. Schnitt	Diesel	6	28,02	10,62	0,37%
Schwaden	Diesel	6	16,2	2,94	0,10%
Bergung	Diesel	6	30,24	89,76	3,13%
Saatgut	Saatgut	1	18 kg/ha	0,45	0,02%
Düngung				936,35	32,63%
N₂O Emissionen Ernterückstände					0,00%
Ertrag/ha (FM)	kg N/ha/FF	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e	
325dt	323,56	1513,84 kg CO ₂ -e	217,54 kg CO ₂ -e	1730,75	60,32%
kg CO₂-e Emissionen 2Jähriges Klee gras pro Hektar				2869,24	100,00%

Allokation der Vorfruchtwirkung auf die Folgefrüchte

Durch den N-Eintrag der Ernterückstände verursachte N₂O-Emissionen werden den Folgekulturen nach deren N-Entzug zugeordnet. Weizen als erste Kultur nach Klee gras profitiert am meisten. Deshalb wird ihm der größte Anteil der Lachgasemissionen, nämlich. 444,57 kgCO₂-e zugeordnet. Dem Roggen werden 202,08 kgCO₂-e und der Sonnenblume 188,60 kgCO₂-e zugeordnet (Tabelle 8).

Tabelle 8: Allokation des durch das Produktionsverfahrens Klee gras verursachten Treibhauspotentials.

Fruchtfolgeglied	Ertrag dt/ha	N-Entzug Korn	N-Entzug in %	Allokation N ₂ O Emissionen
Weizen	27,00	59,40	38,55	444,57
Gerste	25,00	42,50	27,58	318,08
Sonnenblume	9,00	25,20	16,35	188,60
Roggen	18,00	27,00	17,52	202,08

5.1.2 Düngung

Wirtschaftsdünger

Gedüngt werden alle drei Jahre 30t/ha Stallmist. Für die Berechnung der direkten und indirekten N₂O Emissionen wird von einem N-Gehalt von 6,5 kg N/t Stallmist ausgegangen (Tischner 2006:242). Berechnet werden der Transport zum Feld, die Ausbringung und das Einarbeiten (mit einer Scheibenegge). Jedem Jahr der Fruchtfolge wird, entsprechend des FAL Zuordnungsverfahren 1/6tel der durch die Düngung entstehenden Treibhausgasemissionen zugeordnet (FAL 2000:36). 92% der durch die Düngung verursachten Treibhausgasemissionen werden durch Lachgasemissionen verursacht (Tabelle 9).

Tabelle 9: CO₂-e Emissionen verursacht durch Düngung in Brodowin.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e	CO ₂ -e Emissionen in %
Stallmist ausfahren	Diesel	2	13,44	37,55	1,34%
Stallmist ausbringen	Diesel	2	16,82	21,54	0,77%
Scheiben	Diesel	2	11,96	23,49	0,84%
Gülle ^{*1} ausbringen (ab Hof)	Diesel	1	7,30 l	9,56	0,34%
Kalken	Kalk	2	1 t	116,33	4,14%
Kalk Streuen	Diesel	1	2,19 l	0,45	0,02%
N₂O Emissionen					0,00%
t Stallmist/ha/FF	kg N/ha/FF	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e	
60t	390	6,12 kg	2,60 kg	2600,13	92,56%
kg CO₂-e Emissionen Düngung der gesamten Fruchtfolge und Hektar				2809,05	100,00%
kg CO₂-e Emissionen Düngung pro Jahr und Hektar				468,18	

*¹Hier handelt es sich hauptsächlich um Molkereiabwässer. Der Nährstoff Gehalt ist nicht bekannt und wird nicht Berücksichtigt.

Kalk

In einem Zyklus von sechs Jahren wird 1t/ha Kalk zum Klee gras gestreut. Dies entspricht einer jährlichen Menge von 150-175t/ha/a. Jedem Jahr der Fruchtfolge wird 1/6tel der durch die Düngung entstehenden Treibhausgasemissionen zugeordnet.

5.2 Verfahrensspezifische Faktoren

5.2.1 Roggen

Roggen steht als letztes Glied in der Fruchtfolge. Der durchschnittliche Ertrag in Brodowin liegt bei 18dt/ha.

In Tabelle 10 sind die CO₂-e Emissionen und deren Herkunft für das Produktionsverfahren Roggen aufgeführt. Das Treibhauspotential für 1ha beträgt 894,38 kg CO₂e. Der größte Anteil fällt auf die Düngung (468,18kg CO₂-e) und die Vorfrucht. Durch Diesel hervorgerufene Emissionen haben einen Anteil von 14%. Bereitstellung von Saatgut durch Nachbau verursacht 8% (72,0 kg CO₂e), die Trocknung 0,35% (3,1 kg CO₂e). Lachgasemissionen durch N-Einträge der Ernterückstände verursachen 5,81 kg CO₂e. Diese Angaben beziehen sich auf einen Hektar.

Tabelle 10: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Roggenanbau in Brodowin.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e	in %
Pflügen	Diesel	1	21,39 l	87,77	9,81%
Saatbettkombi.	Diesel	1,	7,6 l	10,78	1,21%
Striegeln	Diesel	1	2,39 l	10,60	1,19%
Mähdrusch	Diesel	1	12,79 l	10,60	1,19%
Abfahren	Diesel	1	0,61 l	0,65	0,07%
Stoppelgrubber	Diesel	1	5,71	4,78	0,53%
Saatgut	Saatgut	1	145 kg	72,00	8,05%
Düngung				468,18	52,35%
Vorfrucht				202,08	22,59%
Trocknung	Heizöl	1	1,08l	3,10	0,35%
N₂O Emissionen					
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e	
18,00	4,16	19,46	4,38	23,84	2,67%
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro Hektar				894,38	100,00%
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro dt				49,69	

Bei einem Ertrag von 18 dt weist eine dt Roggen ein Treibhauspotential von 49,69 kg CO₂e auf.

5.2.2 Weizen

Weizen steht als erstes Glied in der Fruchtfolge. Der durchschnittliche Ertrag in Brodowin liegt bei 27dt/ha.

In Tabelle 11 sind CO₂-e Emissionen und deren Herkunft im Produktionsverfahren Weizen aufgeführt. Das Treibhauspotential für 1ha beträgt 1188,34 kg CO₂e. Der größte Anteil fällt auf die Düngung (40,91%) und die Vorfrucht (37,41%). Durch Diesel hervorgerufene Emissionen haben einen Anteil von 12,6% (149,94 kg CO₂e). Bereitstellung von Saatgut durch Nachbau verursacht 79 kg CO₂e, die Trocknung 4,73 kg CO₂e. Lachgasemissionen durch N-Einträge der Ernterückstände verursachen 23,95 kg CO₂e. Diese Angaben beziehen sich auf einen Hektar.

Tabelle 11: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Weizenanbau in Brodowin.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e	in%
Pflügen	Diesel	1	21,39 l	87,77	7,39%
Saatbettkombi.	Diesel	1	7,60 l	10,78	0,91%
Striegeln	Diesel	1	2,39 l	0,88	0,07%
Mähdrusch	Diesel	1	12,79 l	44,66	3,76%
Abfahren	Diesel	1	0,61 l	1,07	0,09%
Stoppelgrubber	Diesel	1	5,71 l	4,78	0,40%
Saatgut	Saatgut	1	180 kg	79,00	6,65%
Düngung				486,16	40,91%
Vorfrucht				444,57	37,41%
Trocknung	Heizöl	1	1,62 l	4,73	0,40%
N₂O Emissionen durch Ernterückstände					
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e	
27,00	4,18	19,55	4,40	23,95	2,02%
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro Hektar				1188,34	100,00%
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro dt				44,01	

Bei einem Ertrag von 27 dt weist eine dt Weizen ein Treibhauspotential von 44,01 kg CO₂e auf.

5.2.3 Sonnenblume

Die Sonnenblume steht als vorletztes Glied in der Fruchtfolge als Durchschnittsertrag wird von 9dt/ha ausgegangen (siehe Kapitel 5.1.2).

In Tabelle 12 sind CO₂-e Emissionen und deren Herkunft aufgeführt. Das Treibhauspotential für 1ha beträgt 996,37kg CO₂e. Der größte Anteil fällt auf die Düngung (486,16kg CO₂e) und die Vorfrucht (188,60 kg CO₂-e). Durch Diesel hervorgerufene Emissionen haben einen Anteil von 166,93 kg CO₂e. Bereitstellung von Saatgut durch Nachbau verursacht 6,6 kg CO₂e, die Trocknung 1,55 kg CO₂-e³ Lachgasemissionen durch N-Einträge der Ernterückstände verursachen 144,53 kg CO₂e. Diese Angaben beziehen sich auf einen Hektar.

Tabelle 12: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Anbau von Sonnenblumen in Brodowin / Gut Grosen.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e	in%
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77	8,81%
Eggen	Diesel	1,00	5,6 l	11,00	1,10%
Einzelkornsaat	Diesel	1,00	4,56 l	12,21	1,23%
Striegeln	Diesel	1,00	2,72 l	1,61	0,16%
Hacken	Diesel	1,00	3,47 l	3,53	0,35%
Mähdrusch	Diesel	1,00	14,84 l	34,12	3,42%
Abfahren	Diesel	1,00	0,16 l	0,28	0,03%
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	7,78 l	16,41	1,65%
Saatgut	Saatgut	1,00	6,00	6,60	0,66%
Schälen	Strom	1,00	3,24 kWh	2,00	0,20%
Trocknung	Heizöl	1,00	0,54 l	1,55	0,16%
Düngung				486,16	48,79%
Vorfrucht				188,60	18,93%
N₂O Emissionen durch Ernterückstände					
Ertrag/ha	kg N/ha in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e	
9,00	25,22	117,98	26,55	144,53	14,51%
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblumenkerne pro Hektar				996,37	100,00%
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblumenkerne pro dt				110,71	

Bei einem Ertrag von 9dt weist eine dt Sonnenblumenkerne ein Treibhauspotential von 110,71 kg CO₂e auf.

³ Energieverbrauch für die Trocknung ist nicht bekannt, aus diesem Grunde wurde hier der gleiche Faktor wie für Getreide verwendet.

6 Vergleichende Berechnung für konventionell bzw. konventionell ressourcenschonend Wirtschaftswesen

In Folgendem Kapitel werden die konventionellen Produktionsverfahren im Vergleich zum ökologischen Verfahren dargestellt. Treibhausgasemissionen werden ertrags- und hektarbezogen sowie nach den verursachenden Schlüsselfaktoren dargestellt. Eine detaillierte Darstellung der konventionellen Produktionsverfahren nach Arbeitsschritten findet sich im Anhang.

6.1 Vergleich Produktionsverfahren Roggen

Das ökologische Produktionsverfahren (**Roggen**) verursacht aufgrund des geringen Einsatzes an Betriebsmitteln je Hektar die geringeren Emissionen. Durch den im Vergleich zu den konventionellen PV geringen Ertrag von 18 dt/ha (konventionell 46 dt/ha) sind Emissionen bezogen auf den Ertrag allerdings höher (vgl. Tab. 13). Die durch die Düngung generierten Lachgasemissionen verursachen im PV ökologisch über 50 % der Emissionen. Das PV konventionell verursacht auf den Hektar bezogen mit 2.059,98 kg CO₂-e/ha die höchsten Emissionen. 56 % der Emissionen werden hier durch die Bereitstellung von mineralischen Düngemitteln verursacht (insbesondere Stickstoff mit 33 %). Ertragsbezogene Emissionen liegen bei 44,71 kg CO₂-e/dt.

Tabelle 13: Vergleich: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Anbau von **Roggen**.

Roggen	PV ökologisch ØErtrag 18dt/ha			PV konventionell ØErtrag 46dt/ha			PV konventionell ressourcenschonend ØErtrag 46dt/ha		
	in %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt	in %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt	in %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt
Diesel	15,72	140,61	7,81	8,04	165,39	3,60	11,92	165,39	3,60
Bereitstellung PSM	-	-	-	0,63	13,00	0,28	0,94	13,00	0,28
Bereitstellung Düngemittel	2,17	19,39	1,08	55,72	1146,03	24,91	17,66	244,99	5,33
Vorfrucht	22,59	202,08	11,23	-	-	-	-	-	-
N ₂ O-Emissionen	51,12	457,20	25,40	31,45	646,83	14,06	65,13	903,68	19,65
Sonstiges	8,40	75,11	4,17	4,15	85,43	1,86	4,36	60,43	1,31
Gesamt	100,00	894,38	49,69	100,00	2056,68	44,71	100,00	1387,49	30,16

Das PV konventionell ressourcenschonend hat ertragsbezogen die geringsten Emissionen (30,16 kg CO₂-e/dt). Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern ermöglicht einen eingeschränkten Einsatz von mineralischen Düngemitteln. Die Bereitstellung von Düngemitteln hat daher nur einen Anteil von 17,66% an den gesamten Emissionen. Lachgasemissionen verursachen im PV konventionell ressourcenschonend mit 65,13% den Großteil der Treibhausgasemissionen.

6.2 Vergleich Produktionsverfahren Weizen

Die Ertragsdifferenz zwischen dem PV ökologisch und den konventionellen PV ist beim **Weizen** geringer als bei Roggen (27 dt/ha ökologisch, 50 dt/ha konventionell). Ertragsbezogen verursacht das PV ökologisch (44 kg CO₂-e/dt) geringfügig mehr Emissionen als das PV konventionell ressourcenschonend (43,19 kg CO₂-e/dt) und weniger als das PV konventionell (51,90 kg CO₂-e/dt).

Flächenbezogen verursacht das PV ökologisch die geringsten Emissionen (1.188,34 kg CO₂-e/ha) das PV konventionell mit 2.594,76 kg CO₂-e/ha verursacht die meisten. Die Verteilung der Emissionen auf die Faktoren ist ähnlich wie bei Roggen (vgl. Tab. 14).

Tabelle 14: Vergleich: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Anbau von **Weizen**.

Weizen	PV ökologisch ØErtrag 27dt/ha			PV konventionell ØErtrag 50dt/ha			PV konventionell ressourcenschonend ØErtrag 50dt/ha		
	In %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt	In %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt	In %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt
Diesel	13,92	165,37	6,12	6,37	165,39	3,31	7,66	165,39	3,31
Bereitstellung PSM	-	-	-	0,50	13,00	0,26	0,60	13,00	0,26
Bereitstellung Düngemittel	1,63	19,39	0,72	53,84	1396,97	27,94	15,87	342,75	6,85
Vorfrucht	37,41	444,57	16,47	-	-	-	-	-	-
N ₂ O-Emissionen	38,48	457,30	16,94	35,39	918,29	18,37	71,83	1551,07	31,02
Sonstiges	8,56	101,72	3,77	3,90	101,11	2,02	4,04	87,13	1,74
Gesamt	100,00	1188,34	44,01	100,00	2594,76	51,90	100,00	2159,34	43,19

6.3 Vergleich Produktionsverfahren Sonnenblumen

Ertragsbezogen verursacht das PV **Sonnenblumen** konventionell ressourcenschonend mit 97,98 kg CO₂-e/dt die geringsten Emissionen. 61% wird durch indirekte und direkte Lachgasemissionen verursacht (vgl. Tab. 15). Das PV konventionell verursacht flächen- und ertragsbezogen die höchsten Emissionen. Die Bereitstellung von Düngemitteln ist mit 64,23% an den Emissionen am stärksten beteiligt. Das PV ökologisch verursacht ertragsbezogen 110,71 kg CO₂-e/dt. 58 % werden durch Lachgasemissionen der Stallmistdüngung verursacht. Flächenbezogen verursacht das PV ökologisch mit 996,37 kg CO₂-e/ha die geringsten Emissionen.

Tabelle 15: Vergleich: CO₂-e Emissionen verursacht durch den Anbau von **Sonnenblumen**.

Sonnenblume	PV ökologisch ØErtrag 9dt/ha			PV konventionell ØErtrag 18dt/ha			PV konventionell res- sourcenschonend ØErtrag 18dt/ha		
	In %	kg CO ₂ - e /ha	kg CO ₂ - e /dt	In %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ - e /dt	In %	kg CO ₂ -e /ha	kg CO ₂ -e /dt
Diesel	18,30	182,36	20,26	5,88	157,33	8,74	8,89	156,86	8,71
Bereitstellung PSM	-	-	-	0,49	13,00	0,72	0,74	13,00	0,72
Bereitstellung Düngemittel	1,95	19,39	2,15	64,23	1717,71	95,43	11,39	200,89	11,16
Vorfrucht	18,93	188,60	20,96	-	-	-	-	-	-
N ₂ O- Emissionen	58,00	577,89	64,21	28,68	766,97	42,61	61,03	1076,34	59,80
Sonstiges	2,82	28,14	3,13	0,71	19,11	1,06	17,95	316,62	17,59
Gesamt	100,00	996,37	110,71	100,00	2674,12	148,56	100,00	1763,71	97,98

6.4 Vergleich Produktionsverfahren ökologisch, konventionell, konventionell ressourcenschonend bezogen auf ein Sonnenblumenbrot

Bezogen auf ein Sonnenblumenbrot verursacht das PV konventionell ressourcenschonend mit 307 g CO₂-e die geringsten Emissionen. Das PV ökologisch verursacht 421,44 g CO₂-e und das PV konventionell ressourcenschonend 427,81 g CO₂-e.

Tabelle 16: Vergleich: CO₂-e Emissionen verursacht durch die landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrot.

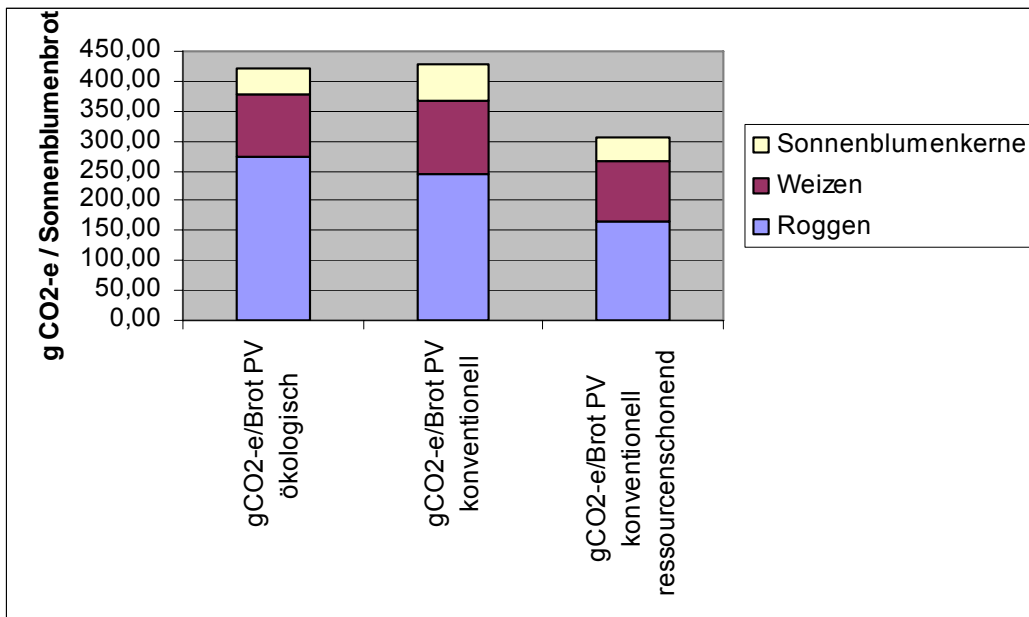
g CO ₂ -e / Brot	PV öko	in %	PV konv.	in %	PV konv. res.	in %
Diesel	65,50	15,54	31,11	7,27	31,10	10,13
Bereitstellung PSM	0,00	0,00	2,44	0,57	2,44	0,79
Bereitstellung Düngemittel	8,50	2,02	241,12	56,36	49,95	16,27
Vorrucht	109,02	25,87	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O-Emissionen	205,36	48,73	137,73	32,19	205,20	66,84
Sonstiges	33,08	7,85	15,42	3,60	18,35	5,98
Gesamt	421,44	100,00	427,81	100,00	307,00	100,00

Wie auch bei den einzelnen Rohstoffen sind die Schlüsselfaktoren der Treibhausgasemission beim PV ökologisch die Lachgasemissionen, mit einem Anteil von 49 %, beim PV konventionell die Bereitstellung von Düngemitteln, mit einem Anteil von 56 % und beim PV konventionell ressourcenschonend die Lachgasemissionen, mit einem Anteil von 67 %, an der Gesamtemission.

In Abbildung 6 sind die Treibhausgasemissionen des Anbaus von Roggen, Weizen und Sonnenblumenkerne bezogen auf ein Sonnenblumenbrot dargestellt.

Roggen verursacht, da er quantitativ die bedeutendste Zutat ist, die meisten Emissionen. Das Treibhauspotential der Roggenproduktion unterscheidet sich im Vergleich zur Weizen- und Sonnenblumenkernproduktion am stärksten nach dem jeweiligen Produktionsverfahren. Der ökologische Anbau von Roggen verursacht nach dieser Berechnung bedeutend mehr Treibhausgasemissionen als die konventionellen Anbauvarianten.

Abbildung 6. Systemvergleich: Erzeugung landwirtschaftlicher Rohstoffe eines Brotes.



7 Diskussion

In folgendem Kapitel werden sowohl die Ergebnisse als auch die Methodik diskutiert und mit der Studie FAL (2000) verglichen.

Bei der Diskussion des Systemvergleichs wird den konventionell erzeugten Rohstoffen eine gleiche Qualität, wie den ökologisch erzeugten Rohstoffen unterstellt. Da die Qualität nicht gleich ist und Rohstoffe nicht beliebig austauschbar sind, steht hier die Frage im Vordergrund, wie ökologische Rohstoffe klimafreundlicher produziert werden können. In diesem Zusammenhang wird auf die Kohlenstoff senkende Funktion landwirtschaftlicher Systeme und biogene Lachgasemissionen eingegangen.

Ergebnisse

Die Erzeugung der Rohstoffe zur Herstellung eines Brotes verursacht zwischen 307 und 428 g CO₂-e. Dies entspricht in etwa den direkten Emissionen verursacht durch eine 1,5 km Fahrt mit einem BMW 745d bzw. einer 3,8 km Fahrt mit einem VW Polo.

Emissionen verursacht im weiteren Produktlebenszyklus (Verarbeitung, Distribution siehe Abb. 4) sind der Bäckerei MLB im Detail nicht bekannt. Laut GEMIS werden durch die Verarbeitung und Distribution eines Brotes etwa 350 g CO₂-e verursacht (Braschkat et al. 2003:13). Ein ökologisch erzeugtes Sonnenblumenbrot würde also etwa 770 g CO₂e verursachen. Der pro Kopf Verbrauch von Brot und Backwaren liegt bei 54,6 kg (Fritsche 2007:4). Bei einem Brotgewicht von 1 kg entspricht dies Treibhausemissionen von 42 kg CO₂e je Bundesbürger und Jahr.

Der durchschnittliche Fleischkonsum von 87 kg pro Kopf und Jahr (Fleischerhandwerk 2005:39) verursacht, zum Vergleich, mit 426 kg CO₂-e (Frische 2007:5) pro Kopf und Jahr etwa das Zehnfache.

Das ökologische Produktionsverfahren verursacht hektarbezogen in allen drei Verfahren bedeutend geringere Treibhausgasemissionen als die konventionellen Varianten. Zu diesem Ergebnis kommen auch andere Studien (z.B. FAL 2000, Haas und Köpke 1994, Haas 2003).

Die im Öko-Landbau bedeutend geringeren Erträge führen produktbezogen allerdings zu gleichwertigen bzw., wie in der vorliegenden Arbeit ermittelt höheren

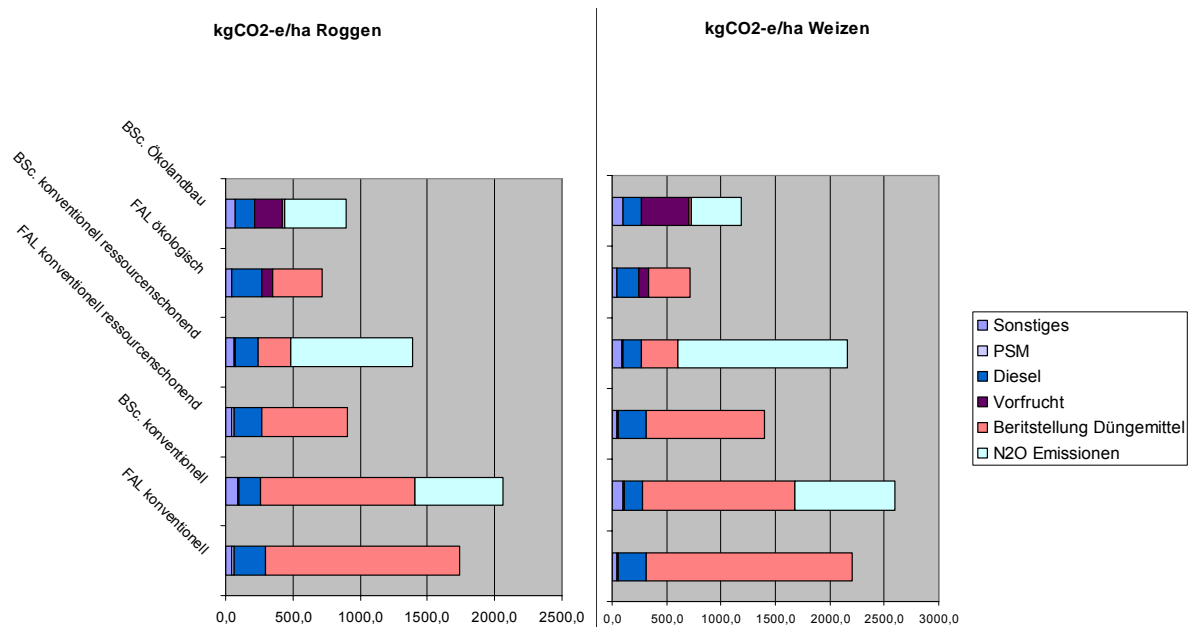
Emissionen. Ein bedeutendes Ergebnis der Untersuchung ist der Unterschied zwischen den Produktionsverfahren. Die großen Unterschiede zwischen den Roggenerträgen (konventionell 46dt/ha, ökologisch 18dt/ha) lassen das PV ökologisch am schlechtesten abschneiden. Beim Anbau von Weizen sind die Ertragsdifferenzen geringer, wodurch auch die ertragsbezogenen Treibhausgasemissionsunterschiede zwischen den PV's geringer ausfallen. Das ökologische PV verursacht hier zusammen mit dem konventionell ressourcenschonenden Verfahren die geringsten Emissionen.

Vergleich mit Studie FAL (2000)

In der Studie der FAL (2000) wurden energiebedingte Treibhausgasemissionen des Anbaus von u.a. Weizen und Roggen unter ökologischer, konventioneller (ausschließlich mineralische Düngung) und konventionell ressourcenschonender (mineralischer und organischer Düngung) Wirtschaftsweise untersucht.

Da bei dieser Studie (FAL 2000) ausschließlich energiebedingte Treibhausgasemissionen erfasst wurden muss dies beim Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit beachtet werden.

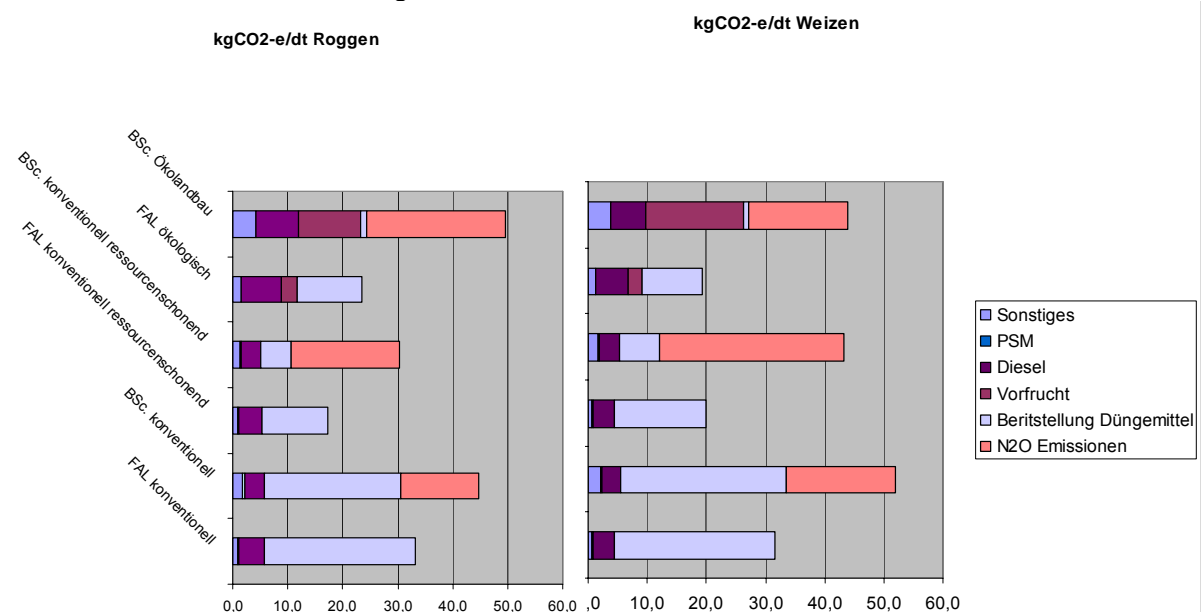
Abbildung 7. Vergleich mit Studie FAL 2000 hektarbezogene Emissionen des Anbaus von Roggen und Weizen unter verschiedener Bewirtschaftung.



In Abbildung 7 sind hektarbezogene Treibhausgasemissionen des Weizen- und Roggenanbaus dargestellt. Im Folgenden sollen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit der Studie der FAL (2000) verglichen werden. Ein erster Unterschied

liegt in der Frage inwieweit biogene Lachgasemissionen berücksichtigt werden. Diese werden in FAL nicht berücksichtigt. Emissionen des Leguminosenanbaus werden zu ca. 60% durch biogene Lachgasemissionen verursacht. Daher ist im Ergebnis die Vorfruchtwirkung in der FAL-Studie für das ökologische Verfahren um ca. 60 % emissionsärmer. Eine zweite Unterscheidung liegt in der Bereitstellung von Düngemitteln. Diese verursacht in der Studie FAL vor allem beim Verfahren des konventionell ressourcenschonenden PV mehr Emissionen. Grund hierfür ist eine differente Annahme zur Höhe der Kalkgabe. In der Studie FAL liegt diese bei 350 kg/ha/a, während in dieser Arbeit von einer Kalkgabe von 165 kg/ha/a ausgegangen wird. Die Höhe der empfohlenen Kalkgabe hängt stark von der Bodenart ab, auf schweren Böden liegt diese doppelt so hoch wie auf leichten (Kreitmayer 2004:232). Da in der Studie FAL von schweren Böden ausgegangen wird, im Gegensatz zu leichten Böden in dieser Arbeit, lässt sich dieser Unterschied hieraus erklären. Für die Faktoren Diesel, Pflanzenschutzmittel und Sonstiges stimmt die Studie FAL in etwa mit dieser Arbeit überein.

Abbildung 8. Vergleich mit Studie FAL 2000 Ertragsbezogene Emissionen des Anbaus von Roggen und Weizen unter verschiedener Bewirtschaftung.



In Abbildung 8 sind die ertragsbezogenen Emissionen des Anbaus von Roggen und Weizen, der FAL Studie und der in dieser Arbeit ermittelten Emissionswerte dargestellt. Zu den Unterschieden die bereits in Bezug auf Abb. 7 erläutert wurden spielt bei den ertragsbezogenen Ergebnissen die Höhe der Erträge eine entscheidende Rolle.

Beim ökologischen Verfahren rechnet FAL für den Roggen mit einem Ertrag von 31 dt/ha. In der vorliegenden Arbeit wird mit einem Durchschnittsertrag des Partnerbetriebes von 18 dt/ha gerechnet. Die Emissionswerte der vorliegenden Untersuchung sind daher bedeutend höher.

Beim ökologisch erzeugten Winterweizen sind die Ertragsdifferenzen geringer (FAL 37 dt/ha; vorliegende Arbeit 27 dt/ha). Die berechneten Emissionen unterscheiden sich allerdings aufgrund der Berücksichtigung von biogenen Lachgasemissionen in der vorliegenden Arbeit stark.

Bei den konventionellen Anbauverfahren Roggen rechnet FAL mit einem Ertrag von 52 dt/ha. In dieser Arbeit liegt der durchschnittliche Ertrag bei 46 dt/ha. Ein großer Unterschied zwischen den Untersuchungen zeigt sich hier beim Verfahren konventionell ressourcenschonend. Der determinierende Faktor ist die Bereitstellung von Düngemitteln. Die Differenzen können hier durch die Unterschiede in der Annahme zur Kalkgabe, die in den PV's der FAL etwa drei mal höher angesetzt ist erklärt werden.

Bei den konventionellen Anbauverfahren Weizen rechnet die FAL mit einem Ertrag von 70 dt/ha. In dieser Arbeit liegt der Durchschnittsertrag bei 50 dt/ha. Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse sind identisch wie beim PV von Roggen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die Unterschiede der Ergebnisse zwischen der vorliegenden Untersuchung und der FAL Studie auf die unterschiedlich hohe Kalkgabe und die Berücksichtigung bzw. nicht Berücksichtigung von biogenen Lachgasemissionen zurückführen lassen.

Der Boden als CO₂ Senke

Ökosysteme, insbesondere land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen, spielen im globalen Kohlenstoffkreislauf eine bedeutende Rolle. Vor dem Hintergrund der Klimadiskussion werden Potentiale verschiedener Landbewirtschaftungsformen wie des Öko-Landbaus oder auch bodenkonservierende Bewirtschaftungsverfahren im Hinblick auf die Bindung von Kohlenstoff untersucht und diskutiert (FAL 2005:172).

Der Öko-Landbau versucht durch eine vielfältige Fruchtfolgen, Bodenruhe unter Klee gras und organische Düngung, das Bodenleben und den Humusaufbau zu fördern. HAAS UND KÖPKE (1994: 45) vertreten daher die These, dass Böden, Flora und Fauna eines ökologischen Systems eine dauerhaft größere CO₂ Senke darstellen als die der konventionellen Systeme. FAL (2000:172) dagegen geht davon aus, dass dauerhafte CO₂ Senken erst mit einem über die Jahre nach-

weisbaren Anstieg der Humusgehalte im Boden gegeben seien. Ein Systematischer Anstieg der Humusgehalte per se ist im Öko-Landbau aus der Literatur nicht ersichtlich (FAL 2000:172). Demgegenüber kommen DABBERT UND HÄRING (2005:22) bei der Auswertung von über 400 Primärstudien zu dem Ergebnis, dass ökologisch bewirtschaftete Flächen eine entscheidend höhere biologische Aktivität und einen höheren Kohlenstoffgehalt aufweisen als konventionell bewirtschaftete Flächen. Eine Studie erstellt von PIORR UND WERNER (1998) verweist wiederum auf die Wichtigkeit der Bodenbearbeitungsmethode: Schwankungen im Humusgehalt (und somit eine Veränderung des Bodens als CO₂ Senke) würden hauptsächlich durch verschiedene Bodenbearbeitungsmethoden ausgelöst. Eine reduzierte Bodenbearbeitung führt auch nach FAL nachweislich zu höheren Humusgehalten (FAL 2000:172). Im Öko-Landbau findet reduzierte Bodenbearbeitung nur geringe Anwendung da mechanische Verfahren bspw. zur Beikrautregulierung nicht durch Herbiziteinsatz ersetzt werden können. In modernen konventionellen Produktionsverfahren hat die konservierende Bodenbearbeitung demgegenüber einen bedeutenden Stellenwert eingenommen (FAL 2000: 172). Pauschale werte für die Veränderung des Bodens als Kohlenstoffsенke durch eine spezifische Wirtschaftsweise können daher nicht gegeben werden. Die Berücksichtigung von CO₂ -Senken in landwirtschaftlichen Systemen für die Erstellung von CO₂ – Bilanzen bedarf einer langfristigen Beobachtung des Humusgehalts. Eine Berücksichtigung für die Erstellung von CO₂-Bilanzen erweist sich daher als sehr aufwendig.

Biogene Lachgasemissionen

Biogene Lachgasemissionen haben einen bedeutenden Stellenwert an den von der Landwirtschaft verursachen Treibhausgasemissionen. Messung von biogenen Lachgasemissionen vor Ort sind technisch sehr aufwendig und werden daher in der Praxis kaum durchgeführt. Der Einfluss von Standort- und Bewirtschaftungsspezifischen Faktoren ist bisher betriebsspezifisch nicht quantifizierbar (FAL 2000:58).

Biogene Lachgasemissionen werden in dieser Arbeit anhand der IPCC (2006:11) Methode quantifiziert. Berücksichtigt werden bei dieser Methode ausschließlich die Menge und Art der N-Einträge. Unberücksichtigt bleiben Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren, wie die Bodengüte, angebaute Feldfrüchte, die Bewirtschaftungsweise und das Anbauverfahren. Unterschieden wird lediglich zwischen der Art der N-Einträge, bei der Ermittlung der indirekten Lachgasemissionen durch die atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen zwi-

schen mineralischen und organischen N-Einträgen. Unterschiede zwischen bspw. einer Stallmistgabe und einer Güllegabe werden nicht vorgenommen. Ergebnisse sind daher als Durchschnittswerte zu sehen.

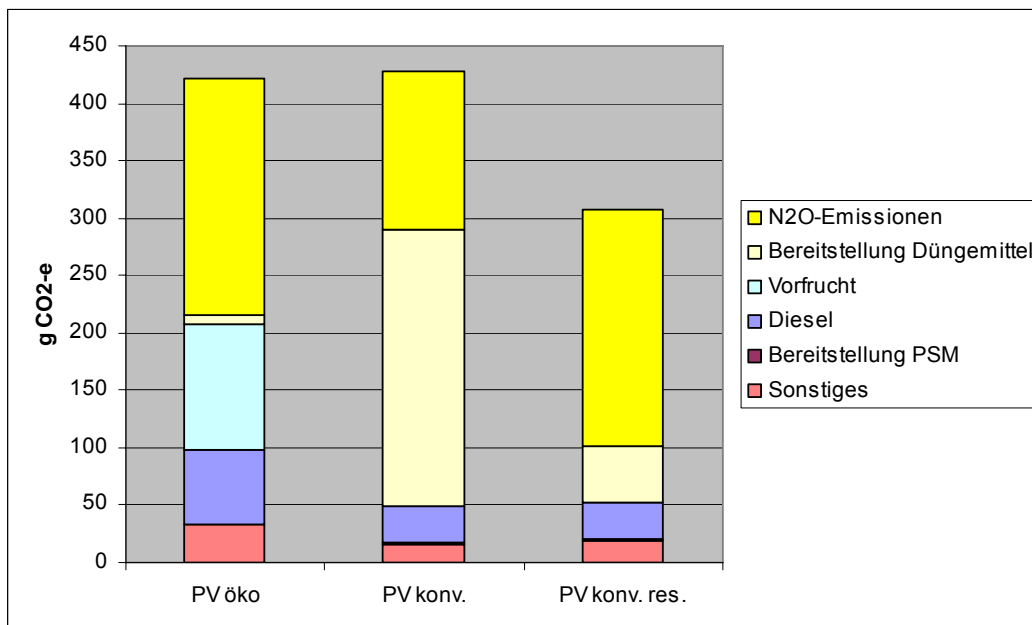
PAS 2050

PAS 2050 ist bisher die einzige standardisierte Methode zur produktbezogenen Erfassung von Treibhausgasemissionen. In Großbritannien werden bereits Produkte, bilanziert nach PAS, mit einem sog. Carbon Label gekennzeichnet. Eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen ist bisher hauptsächlich aus folgenden Gründen nicht gegeben (Minx 2007): Der Bilanzierungsrahmen ist nicht vollständig vorgegeben und Treibhausgasemissionen assoziiert mit der Bereitstellung von Betriebsmitteln werden bisher keiner einheitlichen Datenbasis entnommen. Für die landwirtschaftliche Produktion bspw. werden keine Methodiken empfohlen oder vorgegeben, die zur Berechnung von Treibhausgasemissionen verursacht durch biogene Lachgasemissionen oder durch den Treibstoffverbrauch eines Schleppers angewendet werden könnten.

8 Schlussfolgerungen und Handlungsmöglichkeiten

Treibhausgasemissionen der ökologischen Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrotes werden zum größten Teil durch biogene Lachgasemissionen verursacht. Im produktbezogenen Vergleich (siehe Abb. 9) verursacht die ökologische Erzeugung mehr bzw. ähnlich viel Treibhausgasemissionen wie die konventionellen Vergleichsvarianten.

Abbildung 9. Vergleich: CO₂-e Emissionen verursacht durch die Landwirtschaftliche Erzeugung der Rohstoffe eines Sonnenblumenbrotes.



Hektarbezogen sind Treibhausgasemissionen im ökologischen Landbau deutlich geringer. Da die durchschnittlichen Erträge allerdings auf einem niedrigerem Niveau liegen als unter konventioneller Bewirtschaftung ist ertragsbezogen das Treibhauspotential ähnlich. In der Landwirtschaft sind Erträge stark von Standortbedingungen abhängig. Daher würde der Anbau der Rohstoffe unter besseren Standortbedingungen höhere Erträge hervorbringen. Eine relativ kurzfristige Möglichkeit Treibhausgasemissionen in der Rohstoffherzeugung zu verringern wäre also, das Getreide von Betrieben mit höheren Erträgen zu beziehen. Der Einfluss durch zusätzliche Transportwege müsste untersucht werden.

Die Umweltleitlinien der Bäckerei MLB sehen vor, Rohstoffe - soweit Verfügbarkeit, Qualität und Preise es zulassen - regional einzukaufen. Die langfristigen, fairen Beziehungen zu den Zulieferern, insbesondere den Landwirten sind für die Bäckerei von besonderer Bedeutung (Umwelterklärung MLB 2005:10). So wer-

den auch Projekte wie „Fair & Regional“ und der Anbau alter Sorten in Brandenburg unterstützt. Der überregionale Zukauf würde das Engagement in diesen Bereichen einschränken. Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen sollte daher regional erfolgen. Reduktionspotentiale sollten vor allem in der Verarbeitung und Distribution verwirklicht werden.

Die Verringerung des Treibhauspotentials über die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Pflanzenproduktion wäre theoretisch über eine Erhöhung des Ertrages oder einer Verringerung der biogenen Lachgasemissionen möglich. In der landwirtschaftlichen Erzeugung ist, schon aus wirtschaftlichen Gründen, davon auszugehen, dass versucht wird möglichst hohe Erträge zu erreichen. Aus diesem Grund ist diese Option von geringer Bedeutung.

Methodiken um die Reduzierung biogener Lachgasemissionen durch Bewirtschaftungsspezifische Veränderungen darstellen zu können fehlen bislang noch. So werden biogene Lachgasemissionen in der IPCC-Methode (2006:11) ausschließlich über die Art und Menge des eingebrachten Stickstoffs quantifiziert. Eine Methodik zur Quantifizierung bewirtschaftungsspezifischer Veränderungen der Lachgasemissionen müsste also noch entwickelt werden.

9 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, die mit der landwirtschaftlichen Erzeugung der Rohstoffe die zur Herstellung eines Sonnenblumenbrottes benötigt werden, assoziierten Treibhausgasemissionen zu ermitteln und zu bewerten.

Produktbezogene CO₂-Bilanzen gewinnen, vor dem Hintergrund der Klimadebatte, des anthropogen verursachten Klimawandels und dem großen Reduktionspotential im Bereich Konsum und Ernährung, zunehmend an Bedeutung.

Im Rahmen des Pilotprojekts „Product Carbon Footprint“ initiiert durch den Carbon Trust in Großbritannien wurde von *British Standard Solutions* eine standardisierte Methodik zur Erfassung produktbezogener Treibhausgasemissionen veröffentlicht (PAS 2050).

Auf Basis von PAS 2050 wird im Rahmen dieser Arbeit der erste Schritt im Produktlebenszyklus eines Sonnenblumenbrottes der ökologischen Bäckerei Märkisches Landbrot ermittelt. Die Arbeit ist daher ein Teil einer produktbezogenen CO₂-Bilanz.

Treibhausgasemissionen der ökologischen Erzeugung werden zum Großteil durch biogene Lachgasemissionen verursacht. Flächenbezogen verursacht der Öko-Landbau deutlich geringere Treibhausgasemissionen. Die geringeren Erträge führen produktbezogen allerdings zu ähnlichen bzw. schlechteren Ergebnissen.

Die ökologische Erzeugung der Rohstoffe eines Brottes verursacht Treibhausgasemissionen in Höhe von 421 g CO₂-e. Die konventionelle Bewirtschaftung verursacht bei einem Einsatz von organischer und mineralischer Düngung bzw. ausschließlich mineralischer Düngung Emissionen in Höhe von 307 bzw. 428 g CO₂-e. Die landwirtschaftliche Erzeugung verursacht zwischen 40 und 50% der gesamt CO₂-Bilanz eines Brottes.

10 Literaturverzeichnis

- AGRAR TEG (2008): Stop Climate Change. URL: <http://stop-climate-change.de/Standards.htm> (Stand 22.05.2008).
- ANGENENDT, E. A. (2003): Entwicklung eines ökologisch – ökonomischen Modells für extensive Futterbaubetriebe zur Abbildung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft und zur Bewertung von Verminderungsstrategien in: Agrarwirtschaft Sonderheft 176.
- ARMAN, B. (2003): Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt anhand von Praxisversuchen zur konservierenden Bodenbearbeitung und von unterschiedlich intensiv wirtschaftenden konventionellen Betrieben. Dissertation Universität Hohenheim.
- BIOLAND (2008): Beim Klima geht's um die Wurst! Ausgabe 99 Mai 2004.
- BRASCHKAT, J., PATYK, A., QUIRIN, M. AND REINHARDT, G.A. (2003): Life cycle assessment of bread production – a comparison of eight different scenarios. In Life Cycle Assessment in the Agri-food sector Proceedings from the 4th International Conference October 6-8, Bygholm, Denmark.
- BSI (2008): PAS 2050 – Specification for the measurement of the embodied greenhouse gas emissions in products and services. BSI British Standards London.
- DABBERT, S. UND HÄRING, A. M. (2005): „Hat der Ökologische Landbau Umweltvorteile?“ URL: http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1170267/landinfo_Hat%20der%20%20D6kologische%20Landbau%20Umweltvorteile%20H%E4ring.pdf (Stand 05.05.2008).
- DEFRA (2007): Science and Research Projects. URL: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=15520#RelatedDocuments> (Stand: 4.7.2008).
- DOLESCHEL, P. (2006): N-Gehalte wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. In: Die Landwirtschaft, Pflanzliche Erzeugung. 12. Auflage BLV Buchverlag.
- EUROPEAN COMMISSION (2007): Carbon Footprint – what it is and how to measure it URL: http://lca.jrc.ec.europa.eu/Carbon_footprint.pdf (Stand 13.05.2008).
- FAL – BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT / LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmt Schadgasemissionen. Wissenschaftliche Mitteilungen der FAL. Sonderheft 211.
- FAL – BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT / LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE (2005): Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland – Tagungsband. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 280.

- FAO (2002): Organic agriculture and climate change URL: http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4137E/y4137e02b.htm#P819_106360 (Stand: 05.05.2008).
- FLIESSBACHER, A. SCHMID UND H. NIGGLI (2008): Die Vorteile des Öko-Landbaus für das Klima. In: *Ökologie und Landbau* 1/2008, S.17-19.
- FREYE, B. (2008): Klimawandel und Bioenergie – Perspektiven des Öko-Landbaus. In: *Ökologie und Landbau* 1/2008, S.14-16.
- FRITSCH, R. U. UND EBERLE, U. (2007) Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln –Arbeitspapier-. Öko-Institut e. V. Darmstadt.
- HAAS, G. UND KÖPKE, U. (1994): „Vergleich der Klimarelevanz Ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung“. In: Enquete –Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des deutschen Bundestages (Hrsg.) Band 1 „Landwirtschaft“ . Studienprogramm Teilband II. Economica Verlag, Bonn.
- HAAS, G (2003): Ökobilanz: Wie ökologisch ist der ökologische Landbau. In: der Kritische Agrarbericht 2003.
- IPCC (1996): Climate Change 1995. The science of Climate Change. Houghton, J. T. Meira Filho, L. G. Callander, B. A. Harris, N. Kattenber, A. Maskell, K. (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- ITC INTERNATIONAL TRADE CENTER, FiBL RESEARCH INSTITUTE OF ORGANIC FARMING (2007): Organic Farming and Climate Change. Geneva Switzerland.
- KREITMAYER, J., BAUER, R. (2006): Kalkdünger. In: Die Landwirtschaft, Pflanzliche Erzeugung. 12. Auflage BLV Buchverlag.
- LVLf (2005): Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg. 4. überarbeitete Auflage LVLf.
- LVLf (2007): Agrarbericht 2007 zur Land- und Ernährungswirtschaft des Landes Brandenburg. LVLf.
- LWK-NRW LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW (2004): Leguminosen-Gras-Gemenge. URL <http://www.oekolandbau.nrw.de/umstellung/pflanzenbau/futterbau/leguminosen/index.html> (Stand 15.07.2008).
- MANHART, A., TEUFEL, J. UND STRATMANN, B. (2008): Bewertung ausgesuchter Warengruppen nach ökologischen und sozialen Kriterien. Öko-Institut e.V. Freiburg.

- MINX, J., WIEDMANN, T., BARRETT, J. AND SUH, S. (2007): Methods review to support the PAS process for the calculation of the greenhouse gas emissions embodied in goods and services, Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs by Stockholm Environment Institute at the University of York and Department for Biobased Products at the University of Minnesota, DEFRA, London, UK. URL: http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=EV02074_7070_EXE.pdf (Stand 4.7.2008).
- ODEFEY, L. T. (2007): Eruiung der Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen determinierenden Parameter in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. BSc. Arbeit FH-Eberswalde.
- PAPE, J. (2003): Die Revision der EG Umwelt Audit Verordnung (EMAS). In: Betrieb und Wirtschaft – Zeitschrift für Rechnungswesen, Steuern, Wirtschafts-, Arbeits- und Sozialrecht im Betrieb; 57. Jg., Heft 9, S. 353-356.
- PIORR, A. UND WERNER, W. (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme im Vergleich: Bewertung anhand von Umweltindikatoren. Agrarspektrum, 28, Schriftreihe des Dachverbandes wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-, Forst-, Ernährung-, Veterinär- und Umweltforschung e.V.
- POHLMANN, U. (17.04.2008): Sechs Unternehmen starten Product Carbon Footprint Pilotprojekt in Deutschland URL: <http://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/sechs-unternehmen-starten-product-carbon-footprint-pilotprojekt-in-deutschland-1/> (Stand 21.04.2008).
- SAUER, N (2006): Betriebsplanung Landwirtschaft. Datensammlung mit Kalkulationsprogramm. KTBL Darmstadt
- SEURING, S., PICK, E. UND FAßBENDER-WYNANDS, E. (2008): Ökobilanzierung und Stoffstrommanagement. In: Baumast, A. und Pape, J. (Hrsg.): Betriebliches Umweltmanagement – Nachhaltiges Wirtschaften im Unternehmen. 3. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 117-131.
- SCHNELHUBER (2008): Komplizierte Berechnung. Interview. In: Lebensmittel Zeitung 22-08.
- SCHULZ, D. (2007): Die Rolle der Landwirtschaft beim Klimawandel – Risiken und Chancen aus der Sicht des Umweltschutzes Rede auf der Herbsttagung des Bundes für Ökologische Lebensmittelwirtschaft.
- STEIN-BACHINGER, K. BACHINGER UND J SCHMITT (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL Darmstadt.
- TAUSCHER, B., BRACK, G., FLACHOWSKY, G., HENNING, M., KÖPKE, U., MEIER-PLOEGER, A., MÜNZING, K., NIGGLI, U., PABST, K., RAHMANN, G., WILLHÖFT, C. UND MAYER-MIESBACHER, E. (2003): Bewertung von Lebensmitteln verschiedener Produktionsverfahren. Statusbericht 2003. vorgelegt von der Senatsgruppe „Qualitative Bewertung von Lebensmitteln aus alternativer und konventioneller Produktion“.
- TESCO (2007): What does a label show? URL: http://www.tesco.com/greenerliving/cutting_carbon_footprints/carbon_labelling.page?#2 (Stand 21.05.2008).

- TISCHNER, H. (2006): Faustzahlen für Anfall und Nährstoffgehalt von Rottemis. In: Die Landwirtschaft, Pflanzliche Erzeugung. 12. Auflage BLV Buchverlag.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (2006): Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie Beitrag einer nachhaltigen Landwirtschaft zum Klimaschutz URL: <http://www.umweltbundesamt.de/landwirtschaft/nahrungsmittelproduktion/klimaschutz.htm> (Stand 25.06.2008).
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (2006): Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie Beitrag einer nachhaltigen Landwirtschaft zum Klimaschutz URL: <http://www.umweltbundesamt.de/landwirtschaft/nahrungsmittelproduktion/klimaschutz.htm> (Stand 25.06.2008).
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (2007): Wie ist meine Persönliche Kohlendioxid Bilanz. URL: [HTTP://WWW.UMWELTBUNDESAMT.DE/UBA-INFO-PRESSE/2007/PD07-056.HTM](http://www.umweltbundesamt.de/UBA-INFO-PRESSE/2007/PD07-056.htm) (Stand 16.07.2008).
- VZBV (16.01.2008): Pressemitteilung: Internationale Grüne Woche: Mehr Klimaschutz auf Acker, Ladentheke und Küchentisch. URL: http://www.vzbv.de/start/index.php?page=themen&bereichs_id=9&themen_id=51&mit_id=965&task=mit&search_1=klima&search_2=&highlighting=yes (Stand 20.05.2008).

Alle aus dem Internet zitierten Quellen dieser Arbeit können auf Anfrage beim Autor eingesehen werden.

11 Anhang

Anhang 1: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Roggen konventionell.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e
			(pro ha)	
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Saatbettkombi.	Diesel	1,00	7,6 l	10,78
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	13,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	20,00	23,60
	K ₂ O	1,00	64,00	426,24
	N	4,00	90,00	676,80
Düngung	Diesel	4,00	3,88 l	1,90
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	17,63 l	54,09
Abfahren	Diesel	1,00	2,19 l	3,82
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	175,00	78,00
Trocknung	Heizöl	1,00		7,43
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
46,00	30,39	142,18	31,99	174,17
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha	90,00	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
		421,07	51,58	472,66
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro Hektar				2056,68
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro dt				44,71

Anhang 2: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Weizen konventionell.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz	Daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e
			(pro ha)	
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Saatbettkombi.	Diesel	1,00	7,6 l	10,78
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	13,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	24,00	28,32
	K ₂ O	1,00	75,00	499,50
	N	4,00	113,00	849,76
Düngung	Diesel	4,00	3,88 l	1,90
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	17,63 l	54,09
Abfahren	Diesel	1,00	2,19 l	3,82
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	175,00	91,00
Trocknung	Heizöl	1,00		10,11
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
50,00	38,00	177,79	40,00	217,79
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha	113,00	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
		528,68	171,82	
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro Hektar				2594,76
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro dt				51,90

Anhang 3: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren
Sonnenblumen konventionell.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz	Daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e
			(pro ha)	
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Eggen	Diesel	1,00	5,6 l	11,00
Saatbettkombi	Diesel	1,00	4,56 l	12,21
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	13,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	24,00	28,32
	K ₂ O	1,00	148,00	985,68
	N	1,00	91,00	684,32
Düngung	Diesel	2,00	1,94 l	0,95
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	16,09 l	36,99
Abfahren	Diesel	1,00	0,78 l	1,38
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	6,00	9,00
Trocknung	Heizöl	1,00		10,11
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
18,00	50,44	235,97	53,09	289,06
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha	91,00	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
		425,75	52,15	477,91
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblume pro Hektar				2674,12
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblume pro dt				148,56

Anhang 4: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Roggen konventionell ressourcenschonend.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz	daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e
			(pro ha)	
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Saatbettkombi.	Diesel	1,00	7,6 l	10,78
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	13,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	0,00	0,00
	K ₂ O	1,00	0,00	0,00
	N	2,00	30,00	225,60
	Gülle	1,00	40 m ³	
Düngung	Diesel	3,00	2,91 l	1,90
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	17,63 l	54,09
Abfahren	Diesel	1,00	2,19 l	3,82
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	175,00	53,00
Trocknung	Heizöl	1,00		7,43
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
46,00	30,39	142,18	31,99	174,17
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha org		direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
100,00		467,86	104,10	571,96
n/HA MIN:	30,00	140,36	17,19	157,55
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro Hektar				1387,49
kg CO₂-e Emissionen Roggen pro dt				30,16

Anhang 5: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren Weizen konventionell ressourcenschonend.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz (pro ha)	Daraus resultierende Emissionen in kg CO ₂ -e
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Saatbettkombi.	Diesel	1,00	7,6 l	10,78
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	14,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	0,00	0,00
	N	2,00	43,00	323,36
	Gülle		40 m ³	
	Diesel	3,00	2,91 l	1,90
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	17,63 l	54,09
Abfahren	Diesel	1,00	2,19 l	3,82
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	175,00	76,00
Trocknung	Heizöl	1,00	3,52 l	10,13
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
50,00	38,00	177,79	40,00	217,79
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha	160,00	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
n/HA MIN:	43,00	748,58	318,14	1066,72
		201,18	65,38	266,56
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro Hektar				2159,34
kg CO₂-e Emissionen Weizen pro dt				43,19

Anhang 6: CO₂-e Emissionen verursacht durch das Produktionsverfahren
Sonnenblumen konventionell ressourcenschonend.

Tätigkeit	Faktoren	Arbeitsgänge	Faktoreneinsatz	daraus resul- tierende Emissionen in kg CO ₂ -e
			(pro ha)	
Pflügen	Diesel	1,00	21,39 l	87,77
Eggen	Diesel	1,00	5,6 l	11,00
Saatbettkombi	Diesel	1,00	4,56 l	12,21
PSM spritzen	Diesel	4,00	3,68 l	1,80
PSM spritzen	Wirkstoff		5,6 kg	13,00
Düngung	P ₂ O ₅	1,00	24,00	28,32
	K ₂ O	1,00	23,00	153,18
	N	1,00	41,00	308,32
Düngung	Diesel	1,00	0,97 l	0,48
Kalken	Kalk	1,00	175 kg	19,39
Kalk Streuen	Diesel	1,00	2,19 l	0,45
Mähdrusch	Diesel	1,00	16,09 l	36,99
Abfahren	Diesel	1,00	0,78 l	1,38
Stoppelgrubber	Diesel	1,00	5,71	4,78
Saatgut	Saatgut	1,00	6,00	5,00
Trocknung	Heizöl	1,00	1,15 l	3,30
N₂O Emissionen Ernterückstände				
Ertrag/ha	kg N/ha/ in Ernterückständen	direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
18,00	50,44	235,97	53,09	289,06
N₂O Emissionen Düngung				
kg N/ha org		direkte N ₂ O Emissionen	indirekte N ₂ O Emissionen	N ₂ O Emissionen in kg CO ₂ -e
100,00		467,86	104,10	571,96
n/HA MIN:	41,00	191,82	23,50	215,32
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblume pro Hektar				1763,71
kg CO₂-e Emissionen Sonnenblume pro dt				97,98

Anhang 7: Verwendeter Fragebogen zur Datenerhebung für die Erstellung der CO₂-Bilanz eines Brotes



Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz
Fachgebiet Unternehmensführung in der Agrarwirtschaft

Fragebogen zur Datenerhebung für die Erstellung einer CO₂-Bilanz eines Sonnenblumenbrotes

1. Angaben zum Betrieb (allgemein):

Ø Schlaggröße:ha
 Ø Entfernung Hof – Feld:km
 Bodenart: leicht
 mittel
 schwer

2. Verwendete Schlepper (vgl. Punkt 3):

Nr.*	Gewicht (kg)	Leistung (kW)	Vorgesehene Nutzungsdauer total (Jahre/Betriebsstunden)	Kraftstoffart (Diesel/Biodiesel)
1				
2				
3				
4				

* in Tabelle unter „S“ (Schlepper) einzutragen.

3. Angaben zum Fruchtfolge (vgl. folgende Tabellen):

[S: Schlepper und AB: Arbeitsbreite]

Fortsetzung:

	Fruchtfolge							
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
	z.B. Klee gras	z.B. Klee gras	z.B. SWeizen	z.B. Zw.Frucht	z.B. Sonnenbl.	z.B. Zw.Frucht	z.B. Lupine	z.B. WRoggen
Transport [Beschreibung]								
Trocknung								
Satz / Flachtrockner								
Zentralrohr/Trommel								
Dächerschachtelrochner								
Energieverbrauch								
Strom [kWh]								
Gas [m³]								
Heizöl [l]								
Verwendung [dt]								
innerbetrieblich (Futter)								
und/oder Verkauf								
Lagerung								
Hof								
direkter Abtransport								

© Sebastian Gollnow / Dr. Jens Pape; FH Eberswalde, FB 2, ÖLV, Fachgebiet Unternehmensführung in der Agrarwirtschaft

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende, am Fachbereich „Landschaftsnutzung und Naturschutz“ der Fachhochschule Eberswalde eingereichte Bachelorarbeit zum Thema

„Einfluss der landwirtschaftlichen Erzeugung auf die CO₂-Bilanz eines Brotes – dargestellt am Beispiel Märkisches Landbrot“

selbständig angefertigt habe, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Ferner versichere ich, dass ich die hier eingereichte Bachelorarbeit an keiner anderen Stelle als Prüfungsleistung vorgelegt habe.

Eberswalde, den 18. Juli 2008
(Prüfungsort, Abgabetermin)

Sebastian Gollnow