

**Carbon Footprint ausgesuchter gartenbaulicher Kulturen im
Rahmen eines Pilotprojektes zur neuen PAS 2050-1 - Bewertung
der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von

Florian Schäfer

aus

Rheinbach-Wormersdorf

Referent: Prof. Dr. Georg Noga
Korreferent: Prof. Dr. Heinrich W. Scherer
Tag der mündlichen Prüfung: 04.12.2013
Erscheinungsjahr: 2014

Kurzfassung

Carbon Footprint ausgesuchter gartenbaulicher Kulturen im Rahmen eines Pilotprojektes zur neuen PAS 2050-1 - Bewertung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette

Dissertation: Florian Schäfer, Institut für Gartenbauwissenschaft, Universität Bonn

Gegenstand der vorliegenden Dissertation ist die Untersuchung der Treibhausgasemissionen von Spargel, Rhabarber und Erdbeeren, die mit Hilfe verschiedener Anbaumethoden zur Verfrühung des Erntezeitpunktes in Deutschland kultiviert wurden. Bei Spargel und Rhabarber wurde der Einsatz eines Heizsystems im Vergleich zu unbeheiztem Spargelanbau analysiert und bei Erdbeeren der geschützte Anbau unter Folientunneln mit dem Freilandanbau verglichen. Zusätzlich wurde beim Spargel der Import per Schiff und Frachtflugzeug aus Peru und dem für Peru spezifischen Land Use Change (LUC) bewertet. Der im Ernteprodukt gebundene Kohlestoff ('Biogenic Carbon') wurde in der Analyse berücksichtigt und die Resultate wurden mit und ohne 'Offset' angegeben.

Die Ergebnisse der Berechnung waren ein maßgeblicher Bestandteil des Pilotprojektes zur Erprobung des neuen Standards PAS 2050-1, der eine Anleitung speziell für das Erstellen von Carbon Footprints bei gartenbaulichen Produkten ist. Der Berechnung lagen hauptsächlich Primärdaten aus drei Anbaujahren zugrunde, die bei Interviews der Betriebsleiter erfragt wurden. Diese wurden durch speziell recherchierte Sekundärdaten ergänzt und der Carbon Footprint bis zum 'Farm gate' mit der Systematik der PAS 2050-1 (2012) für den Gartenbau und bis zur 'Use phase' mit der PAS 2050:2011 errechnet.

Beim Spargel zeigte sich, dass das Verfahren mit dem Heizsystem auf Grund der höheren Kunststoffmenge und dem Energieaufwand für das Betreiben der Warmwasserpumpen schlechter abschneidet als die unbeheizten Verfahren. Ähnlich war es beim Heizrhabarber, wo auch die erhöhte Kunststoffmenge der Heizschläuche ausschlaggebend war. Die verwendete Heizenergie war bei beiden Heizsystemen Abwärme, die nicht in die Analyse mit einbezogen wurde. Die Erdbeeren, die unter Haygrove-Tunneln kultiviert wurden, wiesen ebenfalls einen höheren Carbon Footprint auf als die Freilanderdbeeren. Der mit dem Schiff importierte Spargel aus Peru schnitt wesentlich besser ab als der per Luftfracht importierte Spargel. Bei der Betrachtung der gartenbaulichen Kulturen über den ganzen Lebenszyklus bis zum Konsumenten stellte sich heraus, dass der Product Carbon Footprint (PCF) häufig bis zu 50% vom Konsumenten beeinflusst wird. Die Verbrauchsphase mit Einkaufsfahrt, Lagerung im häuslichen Kühlschrank und Zubereitung der Produkte machte außer beim Heizspargel insgesamt mehr als die Hälfte des PCFs aus.

Für alle Kulturen wurden anhand der Ergebnisse Einsparpotenziale für den Produzenten ermittelt, wie eine bedarfsgerechte Stickstoffdüngung oder die Verwendung von langlebigeren Materialien innerhalb der Anbausysteme. In der Phase, in der der Konsument mit dem Produkt umgeht waren die Einsparpotenziale jedoch wesentlich höher. Durch Maßnahmen wie die Substitution des klimaschädlichen Privat PKWs beim Einkauf durch ein klimaneutrales Fahrrad und den sofortigen Verzehr ohne Kühlperiode zu Hause könnte der PCF um bis zu 50% reduziert werden. Abschließend wurden noch Empfehlungen für die Reduktion des Carbon Footprint auf Seiten des Produzenten und Konsumenten ausgesprochen.

Abstract

Carbon Footprint of selected horticultural crops in the context of a pilot project for the new PAS 2050-1 - Assessment of greenhouse gas emissions along the value chain

Dissertation: Florian Schäfer, Institute of horticultural science, University of Bonn

The objective of this study is an assessment of greenhouse gas emissions of asparagus, rhubarb and strawberries grown in Germany under different cultivation methods with the aim of earlier harvesting of the crops. For asparagus and rhubarb the use of a soil heating system was assessed in order to compare it with an unheated cultivation. Field grown strawberries were compared with those cultivated under plastic tunnels. In addition an assessment of imported asparagus from Peru by ship and cargo aircraft with the specific Land Use Change (LUC) for Peru was carried out. Biogenic Carbon was included and excluded in the results to show both approaches and the impact on the carbon emissions of horticultural products.

The results of the study were a significant part of the pilot project for testing the new PAS 2050-1 Standard, which gives specific guidelines for estimating the carbon emissions of horticultural products. For the calculation, mainly primary data obtained from interviews with the farm managers over three cultivation periods were used. These were supplemented by specific secondary data identified within a desk review. The carbon footprint up to the farm gate was calculated using the PAS 2050-1 (2012) for horticultural products and up to the consumer use phase the PAS 2050:2011 was applied.

For asparagus, it emerged that the soil heating system led to a worse carbon footprint within the assessed asparagus cultivation systems due to the amount of plastic and energy required to operate the hot water pumping system. Similarly for rhubarb, where it was the high plastic content of the heating tubes which led to the worse carbon footprint in comparison to the unheated rhubarb cultivation system. The energy required for heating the water for both heating systems was not taken into account because this energy has already been included. The strawberries grown under Haygrove tunnels also had a higher carbon footprint than the field grown strawberries. Asparagus imported from Peru by ship had a much better carbon footprint than that imported by air.

When considering the carbon emissions of the horticultural crops throughout the whole life cycle up to the consumer use phase, it turned out that the Product Carbon Footprint (PCF) was influenced up to 50% by the consumer. The use phase with shopping tour, storage in the domestic refrigerator and preparation of products except the asparagus grown with a heating system was in total more than 50% of the PCF.

Possible carbon dioxide savings were determined for all crops using the results of the study. For growers there is the possibility of reducing nitrogen fertilization to the optimum, or the use of more durable materials instead of thin plastic foils or tubes for the heating system or irrigation. The consumer could reduce the PCF substantially by handling the product in the life cycle stage he controls in a more climate friendly way. Substituting an environmentally harmful private car by a carbon neutral bicycle, and consuming immediately without a refrigeration period at home could reduce the PCF by up to 50%. Finally recommendations for the reduction of the carbon footprint were given for both growers and consumers.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	X
Abbildungsverzeichnis	XII
Tabellenverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Pilotprojekt zur Erprobung des neuen Carbon Footprint Standards	3
3 Literaturübersicht	6
3.1 Methoden	9
3.1.1 Life Cycle Assessment (LCA)	9
3.1.2 Carbon Footprint	10
3.1.2.1 Product Carbon Footprint	11
3.1.3 Standards und Normen	11
3.1.3.1 ISO 14040 ff.	12
3.1.3.2 PAS 2050:2008	14
3.1.3.3 PAS 2050:2011	15
4 Fragestellung	18
5 Material und Methoden	20
5.1 Primärdatenerhebung und Datenqualität	20
5.2 Analysierte Betriebe: Spargel	20
5.3 Analysierte Betriebe: Rhabarber	21
5.4 Analysierte Betriebe: Erdbeeren	22
5.5 Emissionsfaktoren und Sekundärdaten	23
5.5.1 Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Energie	23
5.5.2 Emissionsfaktoren und Berechnungsgrundlage für den Transport	23
5.5.3 Emissionsfaktoren für Mineraldünger	24
5.5.4 Emissionsfaktoren für N ₂ O-Emissionen aus der Stickstoffdüngung	25

5.5.5	Emissionsfaktoren für Pflanzenschutzmittel	25
5.5.6	Emissionsfaktoren für Folien, Heizschläuche und Verpackungsmaterialien	26
5.5.7	Biogenic Carbon (Kohlenstoffgehalt im Endprodukt)	27
5.5.8	Berechnungsgrundlage für den Land Use Change (LUC)	28
5.5.9	Capital Goods (Gebäude, Traktoren und andere feste Strukturen)	29
5.6	Systemgrenzen und funktionelle Einheiten	30
5.6.1	Festlegung der Systemgrenzen	30
5.6.1.1	Systemgrenzen bei Spargel	30
5.6.1.2	Systemgrenzen bei Rhabarber	30
5.6.1.3	Systemgrenzen bei Erdbeeren	30
5.6.1.4	Übersicht der Systemgrenzen	30
5.6.2	Funktionelle Einheiten	31
6	Ergebnisse	34
6.1	Primärdaten zum Carbon Footprint von Heizspargel	34
6.1.1	Anlegen der Heizspargel-Dauerkultur	34
6.1.2	Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Heizspargel	35
6.1.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel	38
6.1.4	Heizspargelernte und Nachernteprozesse	39
6.1.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizspargel	39
6.1.6	Vermarktung von Heizspargel	40
6.1.7	Verbrauchsphase des Heizspargels beim Konsumenten	41
6.1.8	Carbon Footprint von Heizspargel	42
6.2	Primärdaten zum Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)	43
6.2.1	Anlegen der Spargeldauerkultur (Großbetrieb)	43
6.2.2	Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Spargel (Großbetrieb)	44
6.2.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Großbetrieb)	44
6.2.4	Spargelernte und Nachernteprozesse (Großbetrieb)	45
6.2.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)	45
6.2.6	Vermarktung von Spargel (Großbetrieb)	46
6.2.7	Verbrauchsphase des Spargels (Großbetrieb) beim Konsumenten	46

6.2.8	Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)	47
6.3	Primärdaten zum Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)	47
6.3.1	Anlegen der Spargeldauerkultur (Nebenerwerb)	47
6.3.2	Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)	48
6.3.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Nebenerwerb)	51
6.3.4	Spargelernte und Nachernteprozesse (Nebenerwerb)	52
6.3.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)	53
6.3.6	Vermarktung von Spargel (Nebenerwerb)	53
6.3.7	Verbrauchsphase des Spargels (Nebenerwerb) beim Konsumenten	54
6.3.8	Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)	55
6.4	Vergleich des Carbon Footprints bei Spargel	56
6.5	Primärdaten zum Carbon Footprint von Heizrhabarber	57
6.5.1	Anlegen der Heizrhabarberdauerkultur	57
6.5.2	Jährliche Kulturmaßnahmen bei Heizrhabarber	58
6.5.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Rhabarber	60
6.5.4	Heizrhabarberernte und Nachernteprozesse	61
6.5.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizrhabarber	61
6.5.6	Vermarktung von Heizrhabarber	62
6.5.7	Verbrauchsphase des Heizrhabarbers beim Konsumenten	63
6.5.8	Carbon Footprint von Heizrhabarber	64
6.6	Primärdaten zum Carbon Footprint von Rhabarber	64
6.6.1	Anlegen der Rhabarberdauerkultur	64
6.6.2	Jährliche Kulturmaßnahmen bei Rhabarber	65
6.6.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Rhabarber	67
6.6.4	Rhabarberernte und Nachernteprozesse	67
6.6.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Rhabarber	68
6.6.6	Vermarktung von Rhabarber	69
6.6.7	Verbrauchsphase des Rhabarbers beim Konsumenten	69
6.6.8	Carbon Footprint von Rhabarber	70
6.7	Vergleich des Carbon Footprints bei Rhabarber	70

6.8	Primärdaten zum Carbon Footprint von Erdbeeren	71
6.8.1	Anlieferung der Pflanzen und Anlegen der Erdbeerkultur	71
6.8.2	Fertigation und Pflanzenschutz bei Erdbeeren	74
6.8.3	Land Use Change und Biogenic Carbon bei Erdbeeren	76
6.8.4	Ernte und Nachernteprozesse bei Erdbeeren	76
6.8.5	Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Erdbeeren	78
6.8.6	Vermarktung der Erdbeeren	80
6.8.7	Verbrauchsphase der Erdbeeren beim Konsumenten	81
6.8.8	Carbon Footprint von Erdbeeren	82
6.9	Vergleich des Carbon Footprints bei Erdbeeren	82
7	Diskussion	83
7.1	Vergleich der Anbauverfahren bei Spargel	83
7.1.1	THG Einsparpotenziale beim Spargel	85
7.1.2	Scenario: Spargelheizung mit Energie aus dem deutschen Stromnetz	88
7.1.3	Scenario: Importspargel aus Peru	88
7.1.4	Internationaler Vergleich mit Spargel aus England und der Schweiz	91
7.2	Vergleich der Anbauverfahren bei Rhabarber	93
7.2.1	THG Einsparpotenziale bei Rhabarber	94
7.3	Vergleich der Anbauverfahren bei Erdbeeren	97
7.3.1	THG Einsparpotenziale bei Erdbeeren	98
7.3.2	Internationaler Vergleich des PCF von Erdbeeren	100
7.4	Fazit zur Erprobung der PAS 2050-1 im Rahmen des Pilotprojektes	103
7.5	Ungenauigkeitsanalyse ('Uncertainty analysis')	104
7.6	Empfehlungen für den Produzenten und Konsumenten von Obst und Gemüse	106
8	Zusammenfassung	107
9	Literaturverzeichnis	109
	Danksagung	1

Abkürzungsverzeichnis

a.i.	'Active ingredient' Aktiver Wirkstoff
BIS	Department of Business, Innovation and Skills, UK
BSI	British Standards Institution
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
DECC	Department of Energy and Climate Change, UK
Defra	Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK
FCF	Farm Carbon Footprint
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GHG	Greenhouse Gases
GPS	Global Positioning System
GWP	'Global Warming Potential' Treibhauspotential
INRES	Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz
ISO	International Organization for Standardization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KAS	Kalkammonsalpeter
LCA	'Life Cycle Assessment', Lebenszyklusanalyse, Ökobilanz
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LKW	Lastkraftwagen
LUC	'Land Use Change' (Landnutzungsänderung)
MAP	Monoammoniumphosphat
N ₂ O	Lachgas, Distickstoffmonoxid
PAS	Publicly Available Specification
PCF	'Product Carbon Footprint' Produkt CO ₂ -Fußabdruck

PE	Polyethylen
PKW	Personenkraftwagen
POS	Point Of Sale
ppm	parts per million
RDC	Regional Distribution Center
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SETAC	Society for Environmental Toxicology and Chemistry
THG	Treibhausgasemissionen
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WMO	World Meteorological Organization
WRI	World Resources Institute
WWF	World Wildlife Fund

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten einer Ökobilanz (ISO 14040, 2006)	13
Abbildung 2: Teilschritte des Carbon Footprints nach PAS 2050:2008	15
Abbildung 3: Excel-Tool - LUC-Emissionen im Spargelanbau in Deutschland	29
Abbildung 4: Schematische Übersicht der Systemgrenzen und funktionellen Einheiten	33
Abbildung 5: Vergleich des PCF bei deutschem Spargel	85
Abbildung 6: Prozentuale Anteile am PCF von Spargel (Nebenerwerb)	86
Abbildung 7: Prozentuale Anteile am PCF von Spargel (Großbetrieb)	86
Abbildung 8: Prozentuale Anteile am PCF von Heizspargel	87
Abbildung 9: Vergleich von Importspargel aus Peru mit deutschem Spargel	91
Abbildung 10: Vergleich des PCF bei Rhabarber	94
Abbildung 11: Prozentuale Anteile am PCF von Heizrhabarber	95
Abbildung 12: Prozentuale Anteile am PCF von Rhabarber	95
Abbildung 13: Vergleich des PCF bei Erdbeeren	98
Abbildung 14: Prozentuale Anteile am PCF von Erdbeeren (Haygrove)	99
Abbildung 15: Prozentuale Anteile am PCF von Freilanderdbeeren	99
Abbildung 16: Vergleich internationaler Studien zum PCF von Erdbeeren	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmer des Pilotprojektes zur Erprobung der PAS 2050-1	3
Tabelle 2: Zeitplan der Entwicklungsaktivitäten - 'Road map' des BSI zur PAS 2050	4
Tabelle 3: Schädigungswirkung versch. Treibhausgase in Relation zu CO ₂ (IPCC, 2007)	10
Tabelle 4: Bedeutende Änderungen und Neuerungen der PAS 2050:2011	17
Tabelle 5: Übersicht - Spargelanbau und -vermarktung	21
Tabelle 6: Übersicht - Rhabarberanbau und -vermarktung	22
Tabelle 7: Übersicht - Erdbeeranbau und -vermarktung	22
Tabelle 8: GHG Emissionsfaktoren - deutscher Strommix, Diesel und Benzin inkl. Vorkette	23
Tabelle 9: Carbon Footprint - Transportmittel/Transportgüter (Schmied u. Knörr, 2011)	24
Tabelle 10: Carbon Footprint der verwendeten Düngemittel (Blonk Milieu Advies, 2012)	25
Tabelle 11: Umrechnungsfaktoren für die N ₂ O-Emissionen der applizierten Stickstoffmenge	25
Tabelle 12: Carbon Footprint für verschiedene Gruppen von Pflanzenschutzmitteln	26
Tabelle 13: Kultur- und flächenspezifischer Carbon Footprint der Pflanzenschutzmittel	26
Tabelle 14: Emissionsfaktoren für die Herstellung der Kunststoffe	27
Tabelle 15: Biogenic Carbon - Kohlenstoffgehalt für eine mögliche CO ₂ -Gutschrift	28
Tabelle 16: Festgelegte Systemgrenzen der vorliegenden Studie	31
Tabelle 17: Funktionelle Einheiten der ausgewählten gartenbaulichen Kulturen	32
Tabelle 18: Carbon Footprint für das Anlegen der Heizspargelkultur	35
Tabelle 19: Carbon Footprint der Dünger- und Lachgasemissionen bei Heizspargel	36
Tabelle 20: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Heizspargel	37
Tabelle 21: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Heizspargel	37
Tabelle 22: Carbon Footprint für die Bodenheizung bei Heizspargel	38
Tabelle 23: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Heizspargel	38
Tabelle 24: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Heizspargel	39
Tabelle 25: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizspargel	40
Tabelle 26: Carbon Footprint für die Vermarktung von Heizspargel	41
Tabelle 27: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Heizspargel	42
Tabelle 28: Carbon Footprint von Heizspargel	43
Tabelle 29: Carbon Footprint für das Anlegen der Spargelkultur (Großbetrieb)	44
Tabelle 30: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)	46
Tabelle 31: Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)	47
Tabelle 32: Carbon Footprint für das Anlegen der Spargelkultur (Nebenerwerb)	48

Tabelle 33: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Spargel (Nebenerwerb)	49
Tabelle 34: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)	50
Tabelle 35: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)	51
Tabelle 36: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Nebenerwerb)	51
Tabelle 37: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Spargel (Nebenerwerb)	52
Tabelle 38: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)	53
Tabelle 39: Carbon Footprint für die Vermarktung von Spargel (Nebenerwerb)	54
Tabelle 40: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Spargel	55
Tabelle 41: Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)	55
Tabelle 42: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse aller Spargelanbauverfahren	56
Tabelle 43: Carbon Footprint für das Anlegen der Heizrhabarberkultur	58
Tabelle 44: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Heizrhabarber	59
Tabelle 45: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Heizrhabarber	59
Tabelle 46: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Heizrhabarber	60
Tabelle 47: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Heizrhabarber	61
Tabelle 48: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Heizrhabarber	61
Tabelle 49: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizrhabarber	62
Tabelle 50: Carbon Footprint für die Vermarktung von Heizrhabarber	63
Tabelle 51: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Heizrhabarber	63
Tabelle 52: Carbon Footprint von Heizrhabarber	64
Tabelle 53: Carbon Footprint für das Anlegen der Rhabarberkultur	65
Tabelle 54: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Rhabarber	66
Tabelle 55: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Rhabarber	66
Tabelle 56: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Rhabarber	67
Tabelle 57: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Rhabarber	68
Tabelle 58: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Rhabarber	68
Tabelle 59: Carbon Footprint für die Vermarktung von Rhabarber	69
Tabelle 60: Carbon Footprint von Rhabarber	70
Tabelle 61: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse beider Rhabarberanbauverfahren	70
Tabelle 62: Carbon Footprint für das Anlegen der Erdbeerkultur	73
Tabelle 63: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Erdbeeren	74
Tabelle 64: Carbon Footprint der PSM- und jährlichen Kulturmaßnahmen bei Erdbeeren	75
Tabelle 65: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Erdbeeren	76
Tabelle 66: Carbon Footprint der Ernte und Nachernteprozesse bei Erdbeeren	78

Tabelle 67: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Erdbeeren	79
Tabelle 68: Carbon Footprint für die Vermarktung der Erdbeeren	80
Tabelle 69: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase von Erdbeeren	81
Tabelle 70: Carbon Footprint von Erdbeeren	82
Tabelle 71: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse beider Erdbeeranbauverfahren	82
Tabelle 72: Breakdown des PCF bei deutschem Spargel in g CO ₂ e/kg Spargel	84
Tabelle 73: PCF von importiertem Spargel aus Peru in g CO ₂ e/kg Spargel	90
Tabelle 74: Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer int. Studien in kg CO ₂ e/kg Spargel	92
Tabelle 75: Breakdown des PCF bei Rhabarber in g CO ₂ e/kg Rhabarber	93
Tabelle 76: Breakdown des PCF bei Erdbeeren in g CO ₂ e/kg Erdbeeren	97
Tabelle 77: Empfehlungen für den Produzenten im Gartenbau	106
Tabelle 78: Empfehlungen für den Konsumenten	106

1 Einleitung

Die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre stieg in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich an. Lag sie vor der Industriellen Revolution über ca. 10.000 Jahre konstant bei ≈ 280 ppm, begann mit der Nutzung von fossilen Brennstoffen ein massiver Anstieg. Von 1750 bis heute ist ein Zuwachs von 39% zu verzeichnen und die Konzentration in der Atmosphäre ist auf 389 ppm im Jahre 2010 angestiegen (Tarasova et al., 2011). Jährlich werden weltweit ca. 38 Gigatonnen (Gt) CO₂ emittiert (2004). Dies ist ein Anstieg von 80% im Vergleich zum Jahr 1970, als es ca. 21 Gt waren (IPCC, 2007 Synthesis Report). Ein Ergebnis dieser Entwicklung ist die weltweit steigende Jahresdurchschnittstemperatur, die ein Abschmelzen der Pole und den daraus resultierenden Anstieg des Meeresspiegels zur Folge hat. Betrachtet man die letzten 50 Jahre (1956-2006), stieg die Temperatur in jedem Jahrzehnt um 0,10°C bis 0,16°C an. Im Vergleich zum Hundertjahresverlauf (1906-2005) waren diese Werte ungefähr doppelt so hoch (IPCC, 2007).

Ein nachweislicher Temperaturanstieg und zunehmend auftretende Extremwetterlagen lassen erkennen, dass das Klima sich zunehmend ändert. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) macht hierzu in seinem aktuellen Bericht Aussagen über das Auftreten von signifikant häufigeren Wetterextremen in bestimmten Regionen und stuft verschiedene Extreme wie Hitzewellen, Starkregen und Dürren mit Wahrscheinlichkeiten von bis zu 90% ein (IPCC, 2011).

Der Grund für den Klimawandel ist allerdings nach IPCC, 2007 unumstritten der fortschreitende Ausstoß von klimaschädlichen Gasen (THG). Insgesamt sind auch im landwirtschaftlichen Bereich die Gase CO₂, CH₄ und N₂O die wichtigsten Treibhausgase, wobei CO₂ unter diesen die bedeutendste Rolle einnimmt. Die Hauptursachen für die Emissionen sind bei CO₂ die Energiegewinnung durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe, bei CH₄ die Landwirtschaft mit der intensiven Tierhaltung, Energiegewinnung und der verrottende Abfall und bei N₂O die Emissionen, die aus der Stickstoffdüngung des landwirtschaftlichen Ackerbaus resultieren (IPCC, 2007).

Die Landwirtschaft hat mit mehr als 20% einen verhältnismäßig großen Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen. Wie groß der Einfluss des einzelnen Betriebes oder Produktes ist, ließ sich jedoch bis vor kurzem nur durch aufwändige Ökobilanzen ermitteln. Diese Ökobilanzen oder auch Life Cycle Assessments (LCA) bildeten in der Folge die methodische Grundlage der Entwicklung spezieller Standards für die Erfassung von produkt-, betriebs- oder dienstleistungsspezifischen Emissions-Analyseverfahren. Die international wichtigsten Treiber in diesem Bereich sind die BSI (British Standard Institution, London), das WBCSD/WRI (World Business Council for Sustainable Development/World Resources Institute, beide USA) und die ISO (International Organization for Standardization). Die beiden

erstgenannten haben bereits einen Standard für die Erfassung von THG-Emissionen für Produkte, Dienstleistungen oder Unternehmen veröffentlicht (BSI, WBCSD/WRI). Die ISO entwickelt bereits seit einigen Jahren einen Carbon Footprint-Standard. Im Jahre 2008 veröffentlichte als erste die BSI den Standard PAS 2050:2008 und damit den ersten offiziellen Standard seiner Art. Ende September 2011 erschien die überarbeitete 2. Auflage dieses Standards, die PAS 2050:2011. Im Rahmen des Überarbeitungsprozesses wurde die Entwicklung einer speziellen Erweiterung für den Gartenbau - als erster Bereich der Landwirtschaft - forciert. Zur Erprobung dieser Erweiterung mit Hilfe eines Pilotprojektes trägt diese Arbeit maßgeblich bei.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Spargel, Rhabarber und Erdbeeren als ausgewählte gartenbauliche Kulturen hinsichtlich ihrer spezifischen Emissionen klimarelevanter Gase entlang der Wertschöpfungskette exemplarisch zu analysieren und die unterschiedlichen Anbauverfahren miteinander zu vergleichen. Es werden Hotspots identifiziert und mögliche Einsparpotenziale für die verschiedenen Abschnitte der Wertschöpfungskette aufgezeigt. Hierzu wurden Primärdaten aus mindestens drei Jahren (2009-2012) bei ausgesuchten Betrieben aus der Region Köln/Bonn persönlich eingeholt und ausgewertet. Die neue Methodik, nach der die Treibhausgasemissionen erfasst wurden, ist die von 2010 bis 2012 speziell für gartenbauliche Produkte entwickelte PAS 2050-1 "Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products - Supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS 2050". Als einer von vier internationalen Teilnehmern an dem gemeinsam mit der BSI durchgeführten Pilotprojekt zur praktischen Erprobung des neuen Standards wurde das INRES der Universität Bonn frühzeitig in die Entwicklung eingebunden und hat diese mitgestaltet.

2 Pilotprojekt zur Erprobung des neuen Carbon Footprint Standards

Diese Arbeit wurde im Rahmen des deutschen Beitrags zu einem Pilotprojekt in Zusammenarbeit mit der BSI (British Standard Institution) in 2011/2012 verfasst. In diesem Pilotprojekt ging es um die Weiterentwicklung der PAS 2050:2008 bzw. der PAS 2050:2011 und im Speziellen um die Einführung von spezifischen Anforderungen im Bereich Carbon Footprint für gartenbauliche Produkte. Zusammen mit Dr. Michael Blanke vom Institut für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn wurden Vorschläge zu diesen speziellen Anforderungen unterbreitet. Komplexe Fragestellungen der BSI im Bezug auf den Gartenbau konnten gezielt beantwortet werden. "Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products - Supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS 2050" ist das erste Dokument seiner Art im Bereich Landwirtschaft und Ernährung. Es legt die Richtlinien und Rahmenbedingungen für die Erfassung der Treibhausgase speziell bei gartenbaulichen Produkten fest. Damit nimmt der Gartenbau eine Leuchtturmsposition im Bereich Landwirtschaft und Ernährung ein. Bisher gibt es für die anderen Bereiche des primären Sektors wie Ackerbau oder die Erzeugung tierischer Produkte keine speziellen Anforderungen. Die Entwicklung solcher Spezifikationen für andere Disziplinen wie Acker- und Pflanzenbau, Milch- und Fleischproduktion oder den Bereich der Fischerei kann in Zukunft noch folgen. Durch die Zusammenarbeit mit der BSI bot sich auch die Gelegenheit an einem Pilotprojekt ('application trial') zur direkten Erprobung der Anwendbarkeit dieser Anforderungen in Deutschland zu arbeiten. An diesem Pilotprojekt nahmen vier internationale Institutionen teil, die den Standard an unterschiedlichen gartenbaulichen Kulturen testeten (Tab. 1).

Tabelle 1: Teilnehmer des Pilotprojektes zur Erprobung der PAS 2050-1

Land	Institution	Kultur
Deutschland	Institut für Gartenbauwissenschaft, Universität Bonn	Spargel, Rhabarber, Erdbeeren
Neuseeland	Food and Plant Research	Kiwifrüchte, Freilandanbau
Niederlande	Productschap Tuinbouw, Niederlande	Gewächshauskulturen Gemüse, Zierpflanzen, Containerkulturen
Spanien	IRTA - Institut für landwirtschaftliche Forschung und technologische Entwicklung, (Institució per a la recerca i el desenvolupament tecnològic agro alimentari (Katalonien, Spanien)	Apfel, Hagelnetze

Tabelle 2: Zeitplan der Entwicklungsaktivitäten - 'Road map' des BSI zur PAS 2050

Dokument	Allgemeines	Zeitpunkt	
PAS 2050: Draft 1. Version	Noch ohne Use Phase	Juni 2008	
PAS 2050: 2008	Verabschiedung des Standards mit Use Phase	Oktober 2008	
PAS 2050:2011	Überarbeitungen, Verbesserungen, Änderungen, Harmonisierung mit den beiden anderen Standards der ISO und des WBCSD/WRI	2008-2011	
PAS 2050:2011	Verabschiedung der neuen Version des Standards	Oktober 2011	
PAS 2050-1	Entwicklung der speziellen Anforderungen für den Gartenbau	2010-2012	
PAS 2050-1	Teilnahme an verschiedenen Steering Group Meetings in Amsterdam und London sowie einigen Telefonkonferenzen und Webinars (von Bonn aus)	Investigative Workshop and Steering Group Meetings:	19.11.2010, Amsterdam
			15.4.2011, London
			25.11.2011, London
		Webinar	30.6.2011, Bonn
		Telefonkonferenzen	02.12.2011, Bonn 06.02.2012, Bonn
		Besprechung der Ergebnisse des Pilotprojektes	01.02.2012 Amsterdam
PAS 2050-1	Nicht-öffentliches Pilotprojekt zur PAS 2050-1	Nov. 2011-Jan. 2012	
PAS 2050-1	Feischaltung des Entwurfes für die Öffentlichkeit zur Kommentierung	01.03.2012-15.04.2012	
PAS 2050-1	Freigabe der PAS 2050 für den Gartenbau	März. 2012	

Durch die Teilnahme an der Entwicklung und Erprobung dieses neuen Carbon Footprint-Standards nimmt die Universität Bonn im Bereich der Ermittlung der Treibhausgas-Emissionen bei gartenbaulichen Kulturen eine Führungsrolle ein. Ein Teil der in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse resultiert aus der Teilnahme, den Dokumenten und Tagungsunterlagen der Veranstaltungen im dreijährigen Zeitraum von 2010 bis 2012. Diese bestanden aus Live Meetings, Telefonkonferenzen und Webinars der BSI Steering Group (Lenkungsausschuss) zur Entwicklung der neuen Carbon Footprint-Spezifikationen für den internationalen Gartenbau. Die einzelnen Veranstaltungen und Stichdaten der Entwicklung bzw. der Zeitplan der Projektaktivitäten ist in Tabelle 2 abgebildet.

Bei den Steering Group Meetings wurde jeweils der Entwicklungsstand zur Vorgehensweise bei den Methoden vorgestellt sowie aktuelle, offene Fragen und Einsprüche bzw. Vorschläge der Öffentlichkeit diskutiert ('consensus finding') und ein Ausblick für die kommenden Treffen präsentiert. Nach den Meetings wurden die neuen Ergebnisse der Diskussionen von den verantwortlichen Mitarbeitern der Steering Group in den Standard eingearbeitet, um sie bei den folgenden Treffen erneut zu bewerten und zu verabschieden. Insgesamt wurden ca. 240 eingegangene internationale (ca. 20 Länder) Kommentare, Einwände und Vorschläge sowie Korrekturen bearbeitet und die Verwendung oder Ablehnung beschlossen ('consensus building'). Die Themen, die es dabei zu klären galt, reichten von der Anwendung des Land Use Change (LUC) in verschiedenen Ländern, die in der ursprünglichen PAS 2050:2008 noch nicht enthalten war, über die Ansätze für die Berechnung der Emissionen, die aus synthetischem und organischem Dünger auch über mehrere Jahre resultieren, bis hin zum Umgang mit sog. 'Capital goods', wie zum Beispiel Hagelnetze, Folien, Gewächshaussysteme oder andere Produktionsfaktoren, die langfristig beim Anbau nutzbar sind. Als Experten für den Gartenbau war es für die Teilnehmer des INRES der Universität Bonn wichtig, die spätere Anwendbarkeit in der Praxis zu beurteilen und mögliche Vereinfachungen bei der Analysemethodik und den Formulierungen aufzuzeigen sowie nützliche Datensätze auszuwählen, die in den Standard aufzunehmen sind. Der gesamte Entwicklungsprozess des Dokumentes "Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products - Supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS 2050" dauerte insgesamt mehr als zwei Jahre und verlief überwiegend parallel zur Überarbeitung der 2. Auflage der PAS 2050. Die Ergebnisse des Pilotprojektes wurden vor der Veröffentlichung des Standards von der BSI zur Beseitigung letzter Unwägbarkeiten verwendet. Diese Arbeit, bei der es darum ging, den Carbon Footprint bei ausgesuchten gartenbaulichen Kulturen zu ermitteln und die neuen Berechnungsansätze und Bewertungskriterien zu erproben bzw. zu vervollständigen sowie zu optimieren, ist Teil dieses Pilotprojektes.

3 Literaturübersicht

Die Berechnung von produktspezifischen Emissionen im Gartenbau nahm ihren Anfang um 1990 und wurde damals im Rahmen von Ökobilanzen oder Primärenergiebilanzen durchgeführt. Seit 1990/91 gibt es die offizielle Methodik zur Ökobilanz, die von der SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) entwickelt und veröffentlicht wurde (Klöpffer und Grahl, 2009). Im Jahre 1997 wurde durch die ISO ein offiziell anerkannter Standard am Vorbild der SETAC-Norm für LCAs entwickelt. Hierbei wurden jedoch nur kleinere Anpassungen und keine größeren Veränderungen durchgeführt. Im Jahr 2006 kam die Neuauflage dieser ISO Norm heraus, die bis heute aktuell ist. Die Ökobilanz nach ISO 14040 ff. ist bis heute die einzige international genormte Methode zur Analyse der Umweltaspekte und zur Erfassung potentieller Wirkungen von Produktsystemen auf die Umwelt (Klöpffer und Grahl, 2009). Bis dato wurden Analysen der Treibhausgase vornehmlich mit der ISO 14040 ff. oder einfachen Energiebilanzen durchgeführt. Im Jahre 2008 kam für die alleinige Erfassung und Berechnung klimarelevanter Emissionen die PAS 2050:2008 mit dem Titel "Specification for the assessment of greenhouse gases for products and services" heraus. Dies stellt den Beginn des Carbon Footprint dar. In den folgenden Jahren wurden immer wieder neue Standards für den Carbon Footprint verfasst und veröffentlicht. Bis heute haben sich weltweit aber nur die PAS 2050 aus England und das GHG Protocol aus den USA durchgesetzt. Zum Teil arbeiten manche Länder wie Frankreich oder Südkorea mit eigenen Standards, die sich jedoch meist nur in wenigen Punkten von den anderen unterscheiden.

Im Gartenbau selbst waren die Carbon Footprint-Aktivitäten in den letzten Jahren nicht sehr ausgeprägt. Im Speziellen ist für Rhabarber keine Studie bekannt. Bei Erdbeeren gibt es international einige Studien wie die der REWE-Group (REWE, 2008). Diese befasst sich allerdings nur mit einem konkreten Spezialfall, in dem die Erdbeeren in Spanien produziert und in Deutschland verkauft werden und umfasst keine weitreichendere Betrachtung oder den Vergleich verschiedener Anbau- oder Vermarktungssysteme. Außerdem wurden vornehmlich Analysen bis zum Verlassen des Hofes oder bis zum Verkaufsort (POS) durchgeführt, ohne die Konsumentenphase zu berücksichtigen. Bei einer Schweizer Studie zum Carbon Footprint von Spargel wurde das Hauptaugenmerk auf die Herkunft und somit den Transport aus verschiedenen Regionen in die Schweiz gelegt (Stoessel et al., 2012). In einer weiteren Studie zu Spargel in England wurde dieser in einer Carbon Footprint-Betrachtung aller Gemüsearten berücksichtigt. Im Vergleich zu den bereits durchgeführten internationalen Studien wurden in der vorliegenden Arbeit Kombinationen aus Anbausystemen, Kulturen und Vermarktungswegen gewählt, die bisher nicht oder nur teilweise hinsichtlich des Carbon Footprints untersucht wurden; es gibt keine Daten zu unterirdisch beheizten Anbausystemen. Außerdem wurde im Gegensatz zu vielen bereits erstellten Studien in der vorliegenden Arbeit die Use-phase mit in die Analyse eingeschlossen. Spargel und Rhabarber wurden als 'model crop' für die im Gartenbau immer

mehr an Bedeutung gewinnenden Bodenheizsysteme ausgewählt. Spargel ist unter den Freiland-Gemüsekulturen in Deutschland mit 23.019 ha (2011) die bedeutendste (AMI, 2012). Deutschland ist vor Spanien der größte Spargelproduzent in Europa und liegt weltweit gesehen nur hinter China und Peru.

Ein sehr bedeutender Faktor bei der Ermittlung der Klimarelevanz von landwirtschaftlichen Anbausystemen sind die Lachgasemissionen. Nach der Applikation von Stickstoffdünger werden diese bei Denitrifizierungsprozessen freigesetzt. Da das Schädigungspotenzial dieser Emissionen im Verhältnis zu CO₂ 298 mal höher ist, sind möglichst regionale Emissionsraten bei der Umrechnung zu verwenden. Von der IPCC wird ein weltweiter Durchschnittswert von 1,25% N₂O der applizierten Menge des Stickstoffs angegeben (IPCC, 1997). Dieser Wert wurde in der Folge jedoch häufig kritisiert und für viele Länder als zu hoch erachtet (Bouwman et al., 2002; Staaf, 2004). Von Bouwman et al. (2002) wurde nach der Auswertung von 846 Studien zu Lachgasemissionsmessungen bei landwirtschaftlich genutzten Flächen ein Wert von 1,0% der applizierten Stickstoffmenge als Durchschnitt angegeben. In einer Studie der Universität Wageningen wurde für die Niederlande ein Wert von 0,77-0,88 % ermittelt (Kuikman et al., 2006).

Land Use Change (LUC) oder übersetzt Landnutzungsänderung ist die Wandlung von dauerhaften, ungenutzten bzw. unbearbeiteten Wald- oder Wiesenflächen in gartenbaulich genutzte Flächen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass beim Bearbeiten der bis dato ungenutzten humusreichen Bodenschichten langfristig ein Teil des im Humus bzw. in der organischen Substanz vorhandenen Kohlenstoffs abgebaut und in CO₂ umgewandelt wird und an der Boden-Luft-Grenzschicht in die Atmosphäre gelangt. Land Use Change spielt in Ländern, in denen täglich große Flächen Wald zur Gewinnung von Ackerflächen abgeholzt werden, eine wesentlich größere Rolle als in den westlichen EU-Ländern, in denen nur noch selten bedeutende Landnutzungsänderungen stattfinden. Der Betrachtungszeitraum für diese Landnutzungsänderungen betrug bisher nach der alten PAS 2050:2008 100 Jahre und beträgt nach der neuen PAS 2050 und PAS 2050-1 nur noch 20 Jahre. Je nach Datengrundlage und -verfügbarkeit können verschiedene Methoden zur Berechnung der THG-Emissionen resultierend aus dem LUC angewendet werden:

Mit dem Excel-Tool der Firma Hans Blonk Milieu Advies aus Gouda in den Niederlanden unterscheidet man zwischen den beiden Situationen

- a) es ist bekannt, wie die Fläche vor 20 Jahren genutzt wurde oder
- b) die vorherige Landnutzung ist nicht bekannt.

Zu a): Ist die vorherige Nutzung der Flächen bekannt, wird bei der Berechnung immer dahingehend unterschieden, welche Landnutzung vor dem Umwandeln in die genutzte Acker- oder Weidenfläche vorlag. Zur Auswahl stehen hier die Anteile der Waldflächen, der Wiesenflächen, der mehrjährigen Kulturen wie Obstplantagen und die des Ackerlands.

Außerdem spielen in diesem Fall die kultur spezifischen Faktoren wie das Klima, der Bodentyp, die vorherige Nutzung, die Intensität der Bodenbearbeitung und die Intensität des Anbauverfahrens eine Rolle (Abb.3).

Zu b): Ist die vorherige Nutzung der betrachteten Fläche nicht bekannt, kann mit Hilfe der entsprechenden statistischen Daten, die von der FAO stammen, für die einzelnen Länder, Kulturen und Landnutzungen der durchschnittliche LUC berechnet werden und die resultierenden Emissionen spezifisch für ein Land und eine gartenbauliche Kultur angegeben werden.

Für beide Berechnungsansätze a) vorherige Kultur ist bekannt und b) vorherige Kultur ist unbekannt wird bei der PAS 2050-1 das oben genannte Berechnungs-Tool vorgeschlagen, das von der Firma Blonk Mileu Advise im Rahmen des Entwicklungsprozesses der PAS 2050-1 erarbeitet wurde. In diesem Tool sind für alle gängigen gartenbaulichen Kulturen die zur Berechnung des LUC nötigen Daten länderspezifisch hinterlegt. Die Berechnung erfolgt automatisch immer auf der Datengrundlage der letzten 20 Jahre, und es genügt für den Fall b) die Auswahl des Landes und der gartenbaulichen Kultur, um einen Wert für die durchschnittlichen Emissionen, die aus dem LUC resultieren zu erhalten.

Wenn die vorherige Nutzung der Fläche bekannt ist wie in Fall a), kann durch die Angabe weiterer Faktoren ein genauerer Wert für die Emissionen durch das Tool errechnet werden (Abb.3).

3.1 Methoden

3.1.1 Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA), übersetzt 'Lebenszyklusbewertung', oder Ökobilanz, wurde als Bewertungsverfahren entwickelt, um den Umwelteinfluss von verschiedenen Produkten, Verfahren oder Tätigkeiten während ihres gesamten „Lebenszyklus“ (Life Cycle) zu bemessen (Klöpffer und Grahl, 2009).

Bei der Durchführung einer Ökobilanz kann man bis heute auf die ISO Normen ISO 14040 ff. aus dem Jahr 2006 zurückgreifen. In der ISO 14040, die als Rahmennorm für dieses Bewertungsverfahren gilt, wird am Anfang folgende Definition für den Begriff Ökobilanz gegeben: "Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen. [...] Die Ökobilanz-Studie untersucht die Umweltaspekte und potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebensweges eines Produktes (d.h. von der Wiege bis zur Bahre) von der Rohstoffgewinnung, über Produktion, Anwendung bis zur Beseitigung." (ISO, 2006). Hierbei werden im einfachsten Fall alle Input- und Output-Faktoren erfasst, die mit dem betrachteten System in Verbindung stehen. Die Input-Faktoren wie zum Beispiel Energie, Wasser und Rohstoffe, die aus der Umwelt entnommen werden, und die Output-Faktoren (z.B. Abfälle, Emissionen oder auch das Produkt selbst), die an die Umwelt (Luft, Wasser oder Boden) abgegeben werden, sind quantitativ und qualitativ nach ihrem Schädigungspotential zu bewerten (Klöpffer und Grahl, 2009).

Bei einer Ökobilanz wird zum Beispiel für ein festgelegtes Produkt errechnet, welche und wie viele Rohstoffe für seine und die Herstellung von Zwischenprodukten, einschließlich Verpackung und Transport von Rohstoffen und Zwischenprodukten erforderlich sind. Hinzu kommen Rohstoffe für die Gebrauchsphase des Produktes und seine Beseitigung nach der Verwendung. Emissionen werden zwar quantitativ dargestellt, jedoch ist ihr Einfluss auf die Umwelt auch davon abhängig, wann und wo diese Emissionen während der Entstehungskette abgegeben werden (Owens, 1997). So sind CO₂-Emissionen, die in die Stratosphäre, z. B. beim Transport mit dem Flugzeug abgegeben werden, bis zu acht mal schädlicher als solche, die auf der Erde abgegeben werden (IPCC, 2007). Außerdem hat der Produzent häufig keinen direkten Einfluss auf den CO₂-Ausstoß während der Nutzungsphase (Use-phase) des von ihm hergestellten Produktes.

Mit einer Ökobilanz-Analyse wird meist das Ziel verfolgt, ein bestimmtes Produkt hinsichtlich seiner negativen Umwelteinflüsse zu optimieren. Durch das Ermitteln von umweltrelevanten Emissionen können Schwachstellen oder auch Hotspots innerhalb der Produktionskette identifiziert und somit Empfehlungen zu möglichen Verbesserungen ausgesprochen werden. Sollten zum Beispiel Rohstoffe verschwendet werden, denen ein hoher Rohölverbrauch

vorausgeht oder unnötige Verluste an bestimmten Produktionseinheiten mit Schwachstellen (Leckagen) entstehen, könnten diese durch eine detaillierte Analyse aufgedeckt und in Zukunft vermieden werden. Dies würde zum einen ein gewisses ökonomisches Einsparpotential für den Produzenten und zum anderen eine Schonung der Umwelt, der Ressourcen sowie ihrer nachhaltigen Nutzung bedeuten. Der Produzent ist an einer Verlustminimierung interessiert, um seinen Gewinn zu maximieren. Der Konsument bzw. die Gesellschaft sprechen sich für ein möglichst umweltfreundliches Produkt aus.

3.1.2 Carbon Footprint

Beim Carbon Footprint wird eine Berechnung des Treibhauspotentials (Global Warming Potential, GWP) vorgenommen. Hierzu wird ein Land, ein Unternehmen, ein landwirtschaftlicher Betrieb oder ein einzelnes Produkt in einer festgelegten Zeitspanne betrachtet. Der Carbon Footprint wird für die gesamte Lebensdauer und den Lebensvorgang eines Produktes einschließlich der Verwertung oder Entsorgung berechnet und ist eine Bilanzierung

(PAS 2050: Okt. 2008). Sämtliche während der Lebensdauer des betrachteten Produktes abgegebenen klimarelevanten Gase werden aufsummiert und einer Verkaufs- oder Produktionseinheit zugeteilt. Um eine Vergleichbarkeit der verschiedenen schädigenden Gase zu erreichen, werden die spezifischen Treibhausgaspotentiale in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Diese Umrechnungswerte für die treibhausrelevanten Gase (Tab. 3) werden vom Weltklimarat (IPCC) festgelegt und laufend aktualisiert. Der IPCC gibt die klimaschädliche Wirkung immer für einen Zeitraum von 100 Jahren an.

Tabelle 3: Schädigungswirkung versch. Treibhausgase in Relation zu CO₂ (IPCC, 2007)

Gasemission	Formel	Schädigungswirkung auf die Atmosphäre auf 100 Jahre bezogen
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1 kg CO ₂ entspricht einer Schädigung von 1 kg CO ₂
Methan	CH ₄	1 kg CH ₄ entspricht einer Schädigung von 25 kg CO ₂
Lachgas	N ₂ O	1 kg N ₂ O entspricht einer Schädigung von 298 kg CO ₂
FCKW	diverse	1 kg FCKW entspricht einer Schädigung von 124-14.800 kg CO ₂
Methylbromid	CH ₃ Br	1 kg CH ₃ Br entspricht einer Schädigung von 5 kg CO ₂

Bei der Ermittlung des Carbon Footprints geht es sowohl um die direkten CO₂-Emissionen, die zum Beispiel beim Transport des betrachteten Produktes mit dem LKW frei werden, als auch um die indirekten, die zum Beispiel in vorgelagerten Produktionseinheiten wie bei der Energieerzeugung entstehen. Es gibt verschiedene Herangehensweisen bei der Ermittlung eines Carbon Footprints. Zum einen die „bottom-up“, also aufsteigende Methode, die auf einer detaillierten Prozessanalyse beruht, und zum anderen die „top-down“, also absteigende Methode, die eine Analyse der Input- und Output-Faktoren darstellt (Wiedmann und Minx, 2008). Die „bottom-up“ bzw. Prozessanalyse dient der Darstellung des Umwelteinflusses eines Produktes während seines Lebenszyklus. Hierzu müssen klare Systemgrenzen wie z.B. vom Samen bis zum Kompost definiert werden, da es sich um die Betrachtung eines Produktes und den Rahmen handelt, in dem sich dieses Produkt bewegt (PAS 2050, 2011). Diese Systemgrenzen sorgen für eine klare Abgrenzung der Analyse und verhindern Ungenauigkeiten in Bezug auf das spätere Ergebnis. Möchte man zum Beispiel einen ganzen Haushalt, eine Stadt oder einen Wirtschaftszweig hinsichtlich seiner CO₂-Abgabe analysieren, stellt es eine Schwierigkeit dar, Systemgrenzen festzulegen. In diesem Fall kommt die „top-down“ Methode zum Einsatz. Hierbei werden verschiedene Datenbanken herangezogen, die weniger spezifische Informationen über größere Einheiten wie Haushalte, Wirtschaftszweige etc. enthalten. Auf Basis dieser Daten wird der Carbon Footprint errechnet. Das Ergebnis der „top-down“ Methode spiegelt nicht die Situation des Einzelnen wieder, kann aber für die Gesamtheit eines durchschnittlichen deutschen Haushaltes oder Wirtschaftszweiges ein repräsentatives Ergebnis abbilden (Wiedmann und Minx, 2008). Dieses Ergebnis kann beispielsweise die Grundlage für Entscheidungen von Regierungen und Unternehmensleitungen bilden.

3.1.2.1 Product Carbon Footprint

Beim Product Carbon Footprint (PCF) geht es um die Erfassung der CO₂-Äquivalente, die bei einem genau definierten Produkt an die Umwelt abgegeben werden (Nill, 2009). Da die Konsumenten gegebenenfalls ein klimafreundliches Produkt vorziehen, könnte sich hier ein neuer Markt mit eigenen Marken entwickeln, die für einen geringeren CO₂-Ausstoß stehen. In Frankreich ist die Etablierung des Product Carbon Footprints gesetzlich durch die Umweltgesetze "Grenelle I" und "Grenelle II" geregelt; es sollen in naher Zukunft alle Produkte oder Produktgruppen der Supermärkte in Frankreich einen ausgewiesenen PCF besitzen.

3.1.3 Standards und Normen

Für die beschriebenen Verfahren LCA und Carbon Footprint gibt es festgelegte Standards und Richtlinien, die die genaue Vorgehensweise beschreiben und festlegen. Beim LCA oder der Ökobilanz gibt es hauptsächlich die ISO 14040 ff.. Für den Carbon Footprint und Product Carbon Footprint existieren weltweit mehrere Standards, die bei der Analyse verwendet werden

können. Die bedeutendsten sind die ISO 14067, die Carbon Accounting Standards des WBCSD/WRI (World Business Council for Sustainable Development/World Resources Institute), die französischen Standards Bilan CO₂ und Indice Carbon sowie die aus England stammende PAS 2050. In dieser Arbeit wird die Analyse ausschließlich mit der neuen Version der PAS 2050:2011 von der BSI (British Standards Institution) und den erweiternden speziellen Anforderungen für den Gartenbau PAS 2050-1 (2012) durchgeführt. Im Folgenden werden die für diese Studie wichtigsten Standards beschrieben und erläutert.

3.1.3.1 ISO 14040 ff.

Die ISO 14040 (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework) legt zusammen mit der ISO 14044 (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines) die Gesetzmäßigkeiten und Rahmenbedingungen für LCA-Analysen oder Ökobilanzen fest. Im Jahre 2006 wurde diese 2. Auflage veröffentlicht und ersetzte die verschiedenen zwischen 1997 und 2000 von der ISO herausgebrachten LCA Standards. Hierbei wurde das Augenmerk auf eine Vereinfachung und die Beseitigung von Fehlern gelegt. Die Kernaussage hat sich jedoch nicht geändert (Klöpffer und Grahl, 2009). Die ISO 14040 gibt einen allgemeinen Überblick über die Anwendung, Abgrenzung und das Einsatzgebiet bei Ökobilanzen. Weil der Standard jedoch für sehr viele verschiedene Sektoren gilt, werden keine Angaben zu der genauen Methodik wie Zieldefinition, Datenerfassung oder Interpretation der Ergebnisse gemacht. Die ISO 14044 enthält hingegen einige spezifischere Informationen zu Ökobilanzen. Hier werden die Voraussetzungen und ein Leitfaden für LCAs bereitgestellt. Es wird sowohl über eine kritische Herangehensweise an LCAs als auch über Interpretationsmöglichkeiten und Datenqualität informiert (Elcock, September 2007).

Die grundlegende Methodik bzw. Struktur, auf der eine Ökobilanz aufbaut, ist eine systematische Vorgehensweise in vier einzelnen Schritten (Abb. 1):

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Bei diesem ersten Schritt werden der Anwendungsbereich und Untersuchungsrahmen der Analyse definiert sowie die Zielgruppe(n) und die mit der Analyse verbundene Absicht festgelegt (Klöpffer und Grahl, 2009).

2. Sachbilanz

Eine Sachbilanz dient dazu die Inputs und Outputs über den gesamten Lebensweg eines Produktes genau zu erfassen und zu quantifizieren (ISO 14040, 2006). Es wird eine Massenbilanz aufgestellt, um die genauen Stoff- und Energieflüsse aufzuschlüsseln und so ein detailliertes Flussdiagramm zum spezifischen Produkt zu erhalten (Klöpffer und Grahl, 2009).

3. Wirkungsabschätzung

Zusammen mit der Sachbilanz bildet die Wirkungsabschätzung den vorwiegend naturwissenschaftlichen Teil der Analyse. Die innerhalb der Sachbilanz erhobenen Daten werden geordnet und anschließend die Umwelteinflüsse sowie die potentiellen Wirkungen auf die Umwelt ermittelt und quantifiziert (Klöpffer und Grahl 2009).

4. Auswertung

Dieser abschließende Schritt der Ökobilanz betrachtet die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung gemeinsam. Es werden signifikante Parameter im Zusammenhang mit dem Produkt identifiziert, eine Beurteilung vorgenommen sowie Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen aufgestellt (ISO 14040, 2006). Bei der Beurteilung der Analyse wird die gesamte Ökobilanz noch einmal hinsichtlich der Vollständigkeit, Konsistenz, Sensitivität etc. überprüft (ISO 14044, 2006). So wird der Rahmen geschlossen, der aus den beiden eher wissenschaftstheoretischen Schritten (1. und 4.) besteht, und die Analyse kann in verschiedenen Bereichen angewendet werden (Klöpffer und Grahl, 2009).

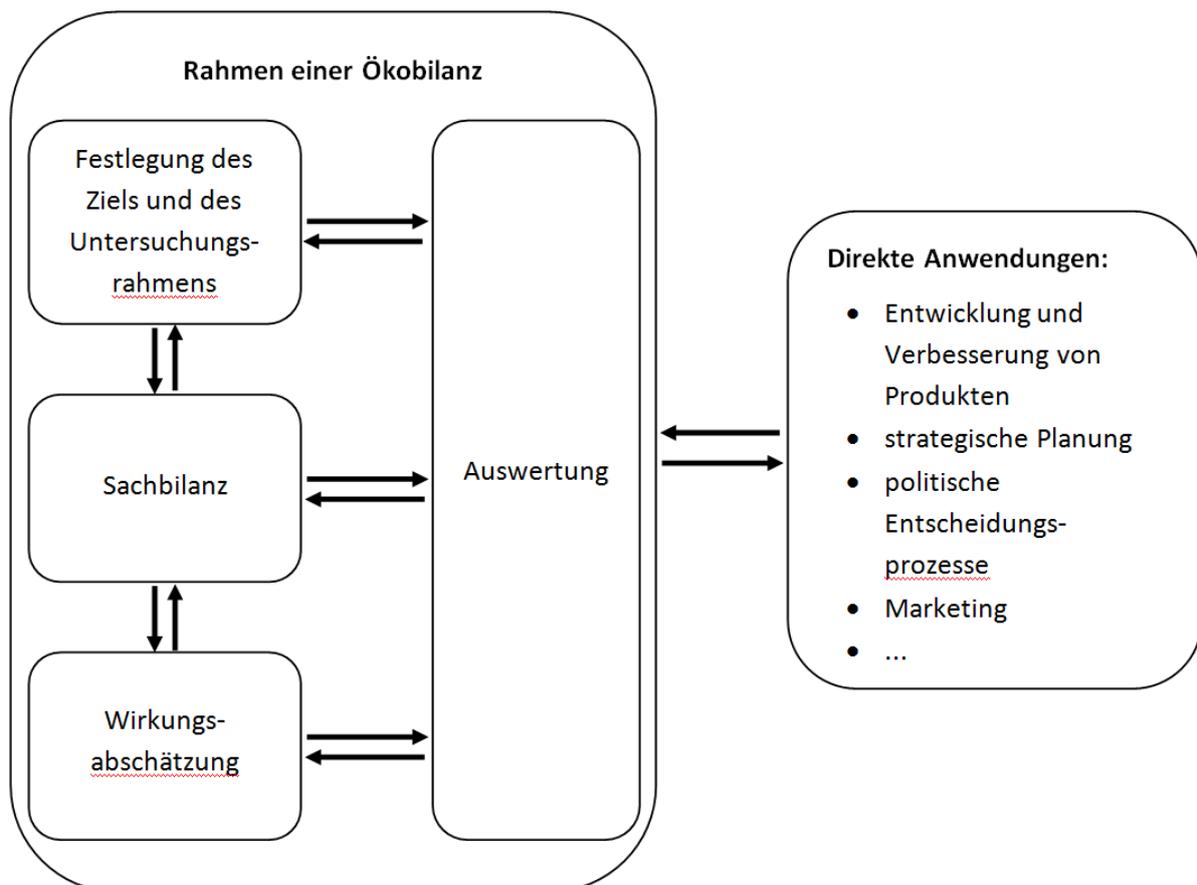


Abbildung 1: Komponenten einer Ökobilanz (ISO 14040, 2006)

Für die direkte Anwendung einer abgeschlossenen Ökobilanz kommen die Bereiche Entwicklung und Verbesserung von Produkten, strategische Planung, politische Entscheidungsprozesse, Marketing etc. in Frage (Abb. 2).

Eine weitere Norm der 14000 Reihe befindet sich zurzeit in der Entwicklung. Es ist die ISO 14067, die in naher Zukunft veröffentlicht werden soll. Sie ist eine speziell auf den Carbon Footprint abgestimmte ISO Norm und wird aus zwei Teilen bestehen. Der erste Teil, Quantification, befasst sich mit der eigentlichen Ermittlung des Carbon Footprints. Durch festgelegte Vorgehensweisen soll eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Produkten, gleichen Produkten von verschiedenen Herstellern und gleichen Produkten von gleichen Herstellern an verschiedenen Standorten ermöglicht werden. Der zweite Teil, Communication, legt die möglichen Wege der Kommunikation der Ergebnisse mit den Konsumenten oder anderen Unternehmen fest. Nach der Einschätzung der Experten beim 4th PCF Summit in Berlin wird diese ISO 14067 den Rahmen für künftige Carbon Footprint-Studien festlegen und durch spezifischere Normen wie die neue PAS 2050:2011 oder die Carbon Accounting Standards des WBCSD/WRI im Detail ergänzt.

3.1.3.2 PAS 2050:2008

Die PAS (Publicly Available Specification) 2050 ist ein spezieller öffentlich zugänglicher Standard für die Erfassung von Treibhausgasemissionen bei Produkten und Dienstleistungen. Der genaue Titel des Standards lautet "Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services". Die erste Version des Standards erschien im Oktober 2008 und war zu dieser Zeit eine der ersten Spezifikationen zur Erstellung eines Product Carbon Footprint. Herausgegeben wurde sie von der BSI British Standards Institution. Ihre Entwicklung wurde mitfinanziert durch den Carbon Trust und das Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) in England (PAS 2050: Okt. 2008). Sie wurde bereits im März 2008 in Großbritannien in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen erprobt. Als Beispiel lässt sich die Zusammenarbeit von Carbon Trust mit der großen englischen Supermarktkette TESCO während der Pilotphase des Projektes nennen (Buser, J. et al., 2008). In der Spezifizierung werden die genauen Regeln für einen PCF festgelegt. Hierzu werden die Begriffe definiert, die anzuwendende Allokation beschrieben, Informationen zu Datenquellen und Datenqualität gegeben und die Fehleranalyse erklärt. Neben der eigentlichen Spezifizierung gibt es noch einen Guide für die Anwendung der PAS 2050 bei der Ermittlung eines Carbon Footprints. Dieser enthält konkrete Beispiele zur Erklärung der einzelnen Schritte innerhalb der Vorgehensweise. Zu Beginn wird die eigentliche Planung des PCF vorgenommen. Das Ziel der Analyse wird angesetzt, und das Produkt sowie der Hersteller bzw. in diesem Fall der Anbauer werden ausgewählt. Darauf folgt die aus fünf Schritten bestehende Analyse des Product Carbon Footprints (Abb. 2). Der erste dieser Schritte ist das Entwickeln einer "Process map". Dabei wird in mehreren Flussdiagrammen der komplette Lebenszyklus

des Produktes aufgeführt. Für jeden der betrachteten Betriebe wird dies einzeln vorgenommen, um schon hier Unterschiede zwischen den Betrieben festmachen und veranschaulichen zu können. Im zweiten Schritt "Boundaries and prioritisation" werden die Systemgrenzen und die Priorisierung festgelegt und geprüft. In diesen beiden Schritten stellt sich bereits heraus, welche Daten zur Berechnung benötigt werden. Der dritte Schritt "Data" besteht aus der Datenbeschaffung. Schritt vier "Calculation" ist die Berechnung des Footprints. Der letzte Schritt "Uncertainty" ist laut PAS 2050 optional und beinhaltet die Fehler- und Ungenauigkeitsanalyse, wobei der gesamte Prozess auf Genauigkeit, Verlässlichkeit und Fehler untersucht wird (PAS 2050: Oktober 2008). Im Anschluss an die CO₂-Äquivalent-Analyse steht die Frage nach Verbesserungen bei den Produzenten oder Anbauern. Hierzu wird erneut die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet und nach Abschnitten gesucht, in denen CO₂-Äquivalent-Einsparungspotential vorhanden ist.

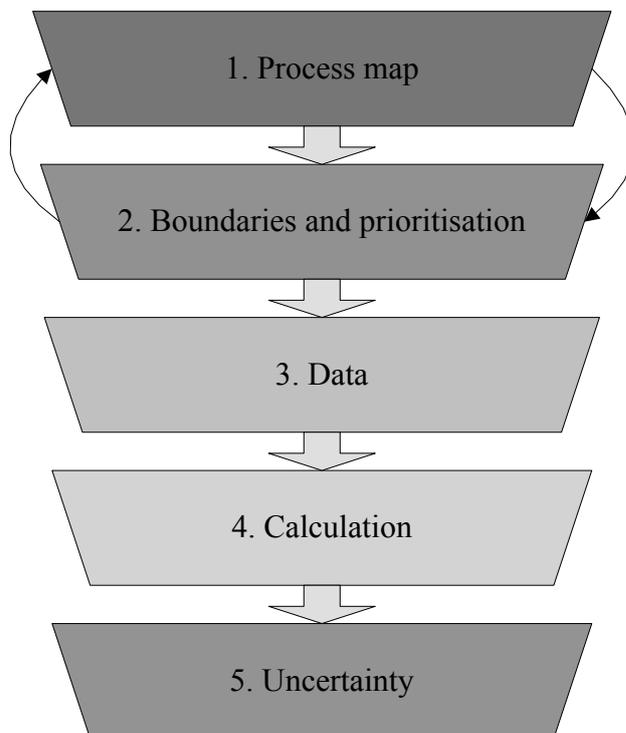


Abbildung 2: Teilschritte des Carbon Footprints nach PAS 2050:2008

3.1.3.3 PAS 2050:2011

Ende September 2011 wurde mit der PAS 2050:2011 eine neue Version des Standards veröffentlicht. Diese ersetzt die damit ungültig werdende PAS 2050:2008. Die Weiterentwicklung und Überarbeitung wurde von der Defra, dem DECC (Department of Energy and Climate Change, UK) und dem BIS (Department of Business, Innovation and

Skills, UK) gefördert (PAS 2050:2011). Bei der Anwendung der neuen PAS ist es unabdingbar auch die systematischen Vorgaben der folgenden Dokumente zu berücksichtigen:

1. BS EN ISO 14021, Environmental labels and declaration - Self-declared environmental claims (Type II Environmental labelling)
2. BS EN ISO 14044:2006, Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines
3. IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. Mit allen Erweiterungen
4. IPCC 2007 Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Avery KB, Tignor M, Miller HL (editors)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 996 pp. Mit allen Erweiterungen

(PAS 2050:2011)

Die Überarbeitung und Neuauflage des Standards wurde vorgenommen um den Standard an neue technische Entwicklungen und Erkenntnisse sowie den aktuellen Wissensstand anzupassen und hierbei die Erfahrungen der Nutzer der alten PAS 2050:2008 einfließen zu lassen. Konkret wurden die Ziele bei der Neuauflage von der BSI folgendermaßen angegeben:

1. Beseitigung von Unklarheiten der bereits 2008 veröffentlichten PAS 2050.
2. Berücksichtigung aller Änderungen/Neuerungen im Bereich der Kenntnisse und dem Verständnis seit der ersten Veröffentlichung.
3. Verbesserung der Anwendbarkeit durch die Auswertung des Feedbacks der Benutzererfahrungen.
4. Angleichen der PAS 2050 Methodik und deren Verwendung an andere international anerkannte Footprint-Methoden, die sich zum Teil noch in der Entwicklung befinden.

(PAS 2050 Review, 2011)

Im Rahmen der Überarbeitung wurden auch inhaltliche Veränderungen vorgenommen. Die maßgeblichen Veränderungen oder Neuaufnahmen einzelner Inhalte werden in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Bedeutende Änderungen und Neuerungen der PAS 2050:2011

Themenfeld bzw. Bereich der Änderungen	Inhalt der Änderungen
Supplementary Requirements	Spezielle ergänzende Anforderungen für bestimmte Produktkategorien und Sektoren.
Inclusion of GHG emissions and removals from biogenic sources	Angleichung an GHG Protocol Standard und ISO 14067 (in der Entwicklung), vor allem von Bedeutung für Produkte, die CO ₂ lange fixieren.
Inclusion of GHG removals in the assessment	Angleichung an GHG Protocol Standard und ISO 14067 (in der Entwicklung). Vorher wurden nur Emissionen berücksichtigt, nun kann auch der Entzug von GHG in die Analyse mit einfließen.
Modification of the treatment of recyclable material	Genauere Spezifizierung der beiden Methoden 100-0 und 0-100, die angeben, welchem Produkt der Vorgang des Recyclings angerechnet wird.
Weighting factor for delayed emissions	Dieser ist optional und keine Anforderung mehr. Hierdurch wurde unnötige Komplexität der Analysemethode beseitigt.
Land Use Change (LUC)	Genauere Vorgehensweise und Erweiterung dieses Bereiches. Das 'Worst Case'-Szenario für den Fall, dass keine Daten verfügbar sind, wurde geändert und angepasst.

4 Fragestellung

Die weltweit verursachten Kohlenstoffdioxid-Emissionen werden als Ursache für den stetig voranschreitenden Klimawandel angesehen. Neben der Energiegewinnung (ca. 40%) wird die landwirtschaftliche Produktion (ca. 20%) als einer der Hauptverursacher angeführt (IPCC, 2007). Doch die Hotspots im Anbau und der Vermarktung der heimischen gartenbaulichen Produkte sind dem Verbraucher kaum bekannt. An den Kulturen Spargel und Rhabarber als mehrjährige Gemüsekultur und Erdbeeren als einjährige bis zweijährige Obstkultur sollen im Rahmen der Ermittlung des Carbon Footprints die folgenden Fragen im Rahmen eines Pilotprojektes für die Erprobung der Anwendbarkeit des neuen, speziell für den Gartenbau entwickelten Standards PAS 2050-1, der gerade von der BSI verabschiedet wurde, beantwortet werden:

Frage 1: Wie hoch ist der Carbon Footprint der gartenbaulichen Kulturen Spargel, Rhabarber und Erdbeere?

Durch die Ermittlung des Carbon Footprints lässt sich der Beitrag der Kulturen zum Klimawandel bemessen. Hierzu wird die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet und die CO₂-Emissionen sowohl separat für den Anbau (z.B. vom Samen oder der Jungpflanze bis zum POS) und die Vermarktung (z.B. vom POS bis zum Konsumenten bzw. zur Entsorgung) als auch gesamt ("von der Wiege bis zur Bahre") analysiert.

Frage 2: Welchen Einfluss haben Verfrühungsmaßnahmen wie Bodenheizung, Folientunnel oder die verschiedenen Anbauverfahren auf den Carbon Footprint der Kulturen?

Verfrühungsmaßnahmen werden aus wirtschaftlichen Gründen für den Gartenbau immer attraktiver und haben Einfluss auf den Erntetermin und somit auf den Zeitpunkt und die Art der Vermarktung, da höhere Erlöse für die Produkte generiert werden können. Da diese Maßnahmen sowie die Unterschiede in den Anbauverfahren eine bedeutende Rolle für den Carbon Footprint der Produkte spielen können, je nachdem welche Inputfaktoren (Energiequellen, Folien, Düngung etc.) Verwendung finden, werden sie verglichen und ihr Einfluss herausgearbeitet.

Frage 3: Wo liegen die Hotspots entlang der Wertschöpfungskette bei den betrachteten Kulturen, wer ist für diese verantwortlich, und welche strategischen Ansatzpunkte für eine Steigerung der Effizienz gibt es?

Betrachtet man die verschiedenen Abschnitte einer spezifischen Wertschöpfungskette separat, können Bereiche identifiziert werden, die eine größere Bedeutung für die CO₂e-Emissionen haben. Hierbei wird vor allem der Einfluss der Anbauphase, der Distribution (Verteilung der Ware) und Vermarktung sowie der Gebrauchsphase analysiert.

Frage 4: Welche Treibhausgas-Einsparpotenziale gibt es?

Bei der Ermittlung der THG Einsparpotenziale im Anbau und der Vermarktung können Maßnahmen eruiert sowie realistische wirtschaftlich tragbare Empfehlungen zur Reduktion von CO₂e-Emissionen ausgesprochen werden. Diese Einsparpotenziale lassen sich in verschiedenen Abschnitten der Wertschöpfungskette ansiedeln und liegen im Verantwortungsbereich des jeweiligen Besitzers des Produktes.

Frage 5: Wie gut praktikabel ist der neue Standard PAS 2050-1 für den Gartenbau?

Bei der Etablierung dieses neuen, einzigartigen Standards spielt die Anwendbarkeit im praktischen Gartenbau eine bedeutende Rolle, vor allem aufgrund der Tatsache, dass dies der erste spezielle Standard im Bereich Landwirtschaft und Ernährung ist. Diese Arbeit stellt unter anderem die Ergebnisse eines von vier international durch die BSI vergebenen Pilotprojektes ('application trial') dar.

5 Material und Methoden

Zur Beantwortung der in Kapitel 4 aufgeführten Fragestellungen wurden in den Jahren 2009 bis 2012 im Rheinland Daten von Obst- und Gemüseanbauern zu drei Kulturen eingeholt. Bei diesen Daten handelte es sich um Primärdaten, die in Interviews mit Hilfe der Aufzeichnungen der Befragten erhoben wurden. Die Primärdaten wurden in der Folge durch die benötigten und spezifisch zutreffenden Sekundärdaten ergänzt und die Treibhausgasemissionen mit Hilfe standardisierter Verfahren ermittelt, Hotspots identifiziert und Einsparpotenziale herausgearbeitet.

5.1 Primärdatenerhebung und Datenqualität

Die PAS 2050:2011 erfordert für die Datenqualität einen möglichst hohen Anteil von Primärdaten. Die konkret ermittelten Primärdaten entstammten den spezifischen Anbauverfahren und sind somit sehr präzise. Für Bereiche, in denen keine Primärdaten verfügbar waren, wie zum Beispiel die Herstellung von Pflanzenschutzmitteln oder Folien etc., wurden Sekundärdaten so verwendet, dass sie möglichst auf den Sachverhalt der durchgeführten Carbon Footprint-Analyse zutrafen. Die PAS 2050-1 enthält im Anhang eine Tabelle, in der die möglichen Sekundärdaten aufgelistet werden. Für aus der Düngung resultierende Emissionen und den LUC war es ein Excel-Tool verfügbar (BSI, 2012), in das man die ermittelten Primärdaten eingeben konnte und automatisch die verursachten THG-Emissionen erhielt.

In dieser Arbeit wurde ein Primärdatenanteil von ca. 90% verwendet. Hierdurch ließ sich ein hoher Grad an Genauigkeit erreichen und die Repräsentativität der späteren Ergebnisse war gewährleistet. Die Primärdaten wurden in persönlichen Interviews im Zeitraum von 2009 bis 2012 vor Ort eingeholt und stammten somit direkt von den analysierten Betrieben und gartenbaulichen Kulturen. Alle beteiligten Betriebe standen während der Projektzeit für Rückfragen zur Verfügung.

Auf den Zugriff auf eine Datenbank wurde in dieser Arbeit absichtlich verzichtet, da in diesen häufig nur grobe Mittelwerte angegeben werden und dies die Möglichkeit einer genauen Analyse der Hotspots und Einsparpotenziale einschränkt.

5.2 Analyisierte Betriebe: Spargel

Die Berechnung des Carbon Footprints für Spargel wurde an Hand zweier regionaler Betriebe vorgenommen. Der erste Betrieb war ein Gemüseanbauer aus Hürth bei Köln. Die Gesamtanbaufläche für Spargel betrug 22 ha. Davon waren 12 ha beheizt und 10 ha nicht beheizt. Das Beheizen der Dämme geschah durch je zwei Heizschläuche pro Pflanzenreihe, die

beim Pflanzen mit in den Boden verlegt wurden. Die im Frühling zum Heizen genutzte Abwärme stammte von einer nahegelegenen Rußfabrik. Mit elektrisch betriebenen Pumpen und einem Leitungssystem wurde das warme Abwasser zu den Spargelflächen transportiert und dort auf die einzelnen Reihen verteilt. Der Zeitpunkt für das Anschalten der Heizung konnte frei gewählt werden. Abhängig von den aktuellen Witterungsverhältnissen wurde im Schnitt eine Verfrühung der Ernte von zwei bis drei Wochen gegenüber unbeheiztem Spargel erreicht und somit ein früherer Zugang zum Markt mit höheren Erlösen ermöglicht. Der zweite Betrieb baute ausschließlich nicht beheizten Spargel auf einer Fläche von 1,5 ha im Nebenerwerb an. Die Anbausysteme der beiden Betriebe unterschieden sich bis auf wenige Faktoren nicht gravierend - beide wirtschafteten nach den Regeln der integrierten Produktion. Die Vermarktung geschah bei dem größeren Betrieb ausschließlich über Landgard, der größten deutschen Vermarktungsorganisation im Gartenbau. Beim zweiten, kleineren Betrieb wurde dagegen in gleichen Anteilen über drei Vertriebszweige vermarktet, so über den Ab-Hofverkauf, die Wochenmärkte und die Belieferung anderer Betriebe mit Hofläden und Spargel-Vertrieb (Tab. 5).

Tabelle 5: Übersicht - Spargelanbau und -vermarktung

	Spargel-Großbetrieb	Spargel-Nebenerwerbsbetrieb
Anbaufläche - Spargel	12 ha beheizt, 10 ha nicht beheizt	1,5 ha nicht beheizt
Vermarktung	100 % Landgard	1/3 Ab-Hofverkauf, 1/3 Wochenmärkte, 1/3 externe Hofläden

5.3 Analyisierte Betriebe: Rhabarber

Beim Rhabarberanbau wurde der gleiche Betrieb untersucht, der auch beim Spargelanbau analysiert wurde. So konnten auch innerbetriebliche Vergleiche zwischen verschiedenen Kulturen durchgeführt werden. Dieser Großbetrieb hatte einen Flächenanteil von ca. 10 % (15 ha) Rhabarber. Um die verschiedene Anbauverfahren zu vergleichen, wurden sowohl der Heizrhabarber (3 ha), als auch der nicht beheizte Rhabarber (12 ha) analysiert (Tab. 6). Bei der beheizten Rhabarber-Variante wurde im Gegensatz zur beheizten Variante des Spargels wegen zu großer Entfernung der zu beheizenden Flächen nicht die Abwärme der nahegelegenen Rußfabrik genutzt, sondern die Fernwärme eines Blockheizkraftwerks der Stadt Hürth. Die Wärme, die nach dem Heizen eines größeren Häuserkomplexes noch für das Heizen der Rhabarberflächen ausreichte, wurde zu einem Sondertarif vom Anbauer dazugekauft. Zusätzlich ergab sich bei diesem Betrieb die Möglichkeit, verschiedene Tunnelsysteme direkt miteinander zu vergleichen. Bei der Vermarktung beschränkte sich der Betrieb, wie schon im Falle des Spargels, auf Landgard (Tab. 6).

Tabelle 6: Übersicht - Rhabarberanbau und -vermarktung

	Großbetrieb - Rhabarber
Anbaufläche - Rhabarber	3 ha beheizt, 12 ha nicht beheizt
Anbauverfahren	1. Minitunnel mit Pilzhausfolie
	2. Tunnelsystem mit Gewächshausfolie und schwarzer Innenfolie (Mulchfolie)
Vermarktung	Zu 100% über Landgard

5.4 Analyisierte Betriebe: Erdbeeren

Der ausgewählte Erdbeerproduzent aus Siegburg verfügte über 13 ha Freiland-Erdbeeren und 1,5 ha Erdbeeren unter einem Haygrove-Tunnelsystem (Tab. 7). Die beiden Anbausysteme wurden in der Analyse einzeln betrachtet und unterschieden sich in Punkten wie dem Ursprung und der Art der Jungpflanzen sowie der verwendeten Menge von Kunststofffolien. Die Düng- und Pflegemaßnahmen sowie der Pflanzenschutz differierten nicht. In beiden Systemen wurden die Pflanzen mit Hilfe von Bewässerungsschläuchen mit Wasser und Dünger versorgt (Fertigation). Die Pflanzungen wurden alle zwei Jahre gerodet und erneuert. Es gab zwei Vermarktungswege:

Ca. 80 % der Erdbeeren wurden über einen europaweit agierenden Obst- und Gemüsegroßhändler vertrieben, und ca. 20 % wurden privat im Umkreis von 15 km an Hofläden und Verkaufsstände geliefert (Tab. 7).

Tabelle 7: Übersicht - Erdbeeranbau und -vermarktung

	Erdbeeranbau Freiland	Erdbeeranbau Haygrove-Tunnel
Anbaufläche - Erdbeeren	13 ha	1,5 ha
Anbauverfahren	Integrierte Produktion auf schwarzer Mulchfolie im Winter mit Vlies abgedeckt	Integrierte Produktion, Geschützter Anbau im Folientunnel auf schwarzer Mulchfolie, im Winter mit Vlies abgedeckt
Vermarktung	75% über Großhändler 25% über regionale Selbstvermarktung	

5.5 Emissionsfaktoren und Sekundärdaten

Um die Daten für die Carbon Footprint-Analyse zu vervollständigen, wurden die direkt erfassten Primärdaten durch speziell recherchierte Sekundärdaten ergänzt, die die Vorkette und Produktion von bestimmten Input-Faktoren mit einschließen, da die PAS 2050-1 selbst keine direkten Sekundärdaten enthält, aber mögliche Quellen zur Verfügung stellt. Es gibt zusätzlich ein Excel-Tool für die Ermittlung der CO₂-Äquivalente (CO₂e), die aus der Düngung einjähriger Kulturen über mehrere Jahre betrachtet hervorgehen (BSI, 2012). Außerdem wurde auch eine Hilfe für die Erfassung des länder- und kulturspezifischen Land Use Change (LUC) als Excel-Tool zur Verfügung gestellt und verwendet. Bei der Recherche nach weiteren Emissionsfaktoren wurde immer auf die Aktualität geachtet und die Verfügbarkeit noch spezifischerer Daten in der Literatur geprüft.

5.5.1 Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Energie

In dieser Studie wurden spezifische Umrechnungsfaktoren für elektrische Energie und Treibstoffe wie Diesel und Benzin herangezogen. Die elektrische Energie aus dem deutschen Stromnetz benötigte man zum Beispiel für den Betrieb von Pumpen oder Kühltürmen (Tab. 8). Beim Dieserverbrauch für die einzelnen Arbeitsschritte sowie bei den Pflegemaßnahmen und dem Transport wurden die Daten aus den KTBL-Faustzahlen für die Landwirtschaft, 13. Auflage 2005, verwendet.

Tabelle 8: GHG Emissionsfaktoren - deutscher Strommix, Diesel und Benzin inkl. Vorkette

Energieträger/Energiequelle	Literaturquelle	Emissionen
Strom (kWh)	Umweltbundesamt, 2009	0,602 kg CO ₂ e/kWh
Diesel (L)	GEMIS 4.6, 2010	3,096 kg CO ₂ e/L
Benzin (L)	GEMIS 4.6, 2010	3,083 kg CO ₂ e/L

5.5.2 Emissionsfaktoren und Berechnungsgrundlage für den Transport

Um die Emissionen zu bestimmen, die beim Transport des Obsts und Gemüses vom Hof bis zum POS entstehen, wurden zwei Ansätze gewählt: Beim ersten Ansatz wurden die THG-Emissionen mit Hilfe von selbst erhobenen Primärdaten wie der Transportdistanz, -menge und dem spezifischen Verbrauch des Transportmittels sowie dem Gesamtverbrauch an Treibstoff (Diesel oder Benzin) ermittelt. Mit den entsprechenden Emissionsfaktoren aus Tabelle 9 konnten so die CO₂e-Emissionen berechnet werden. Der zweite Ansatz wurde verwendet, wenn keine ausreichenden Primärdaten zur Verfügung standen. Mit Hilfe der Daten aus dem Leitfaden "Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik" (Schmied u.

Knörr, 2011) konnten die Emissionen allein mit der Angabe des Transportmittels, der -menge und der -distanz berechnet werden (Tab. 9).

Tabelle 9: Carbon Footprint - Transportmittel/Transportgüter (Schmied u. Knörr, 2011)

Transportmittel	Energie	Carbon Footprint bei Volumengut* (g CO ₂ e/tkm)	Carbon Footprint bei Durchschnittsgut (g CO ₂ e/tkm)	Carbon Footprint bei Massengut* (g CO ₂ e/tkm)
Lkw < 7,5t	Diesel	412	229	185
Lkw 7,5t-12t	Diesel	318	179	147
Lkw 12t-24t	Diesel	185	106	85
Sattelzug 24-40t	Diesel	112	68	59
Zug (Elektrotraktion)	Bahnstrom	24	18	16
Zug (Dieseltraktion)	Diesel	32	26	24
Containerschiff	Schweröl	30	17	13
Frachtflugzeug	Kerosin	531	n/a	n/a

*Volumengüter nutzen das Transportvolumen und Massegüter die zulässige Transportmasse aus.

n/a = nicht angegeben

5.5.3 Emissionsfaktoren für Mineraldünger

Die Sekundärdaten bzw. Umrechnungsfaktoren für die Herstellung von N-, P- und K-Mineraldüngern stammten aus einer Studie der Blonk Milieu Advies in Gouda/NL aus 2012. Hier wurden die Carbon Footprint-Werte von unterschiedlichen Düngemitteln zusammengetragen und für die einzelnen Regionen der Erde speziell angegeben. Die hier verwendeten Daten gelten für den Bereich West-Europa und werden jeweils anhand einer der Düngerkomponenten Stickstoff (N), Phosphor (P₂O₅) oder Kalium (K₂O) angegeben (Tab. 10).

Tabelle 10: Carbon Footprint der verwendeten Düngemittel (Blonk Milieu Advies, 2012)

Düngemittel	Carbon Footprint
Kalkammonsalpeter (KAS) und Kalkstickstoff	8,03 kg CO ₂ e/kg N
Kaliumchlorid (Korn Kali)	0,56 kg CO ₂ e/kg K ₂ O
Phosphordüngemittel (Durchschnitt)	0,29 kg CO ₂ e/kg P ₂ O ₅
PK-Dünger	0,97 kg CO ₂ e/kg P ₂ O ₅
Monoammoniumphosphat (MAP (N/P))	3,29 kg CO ₂ e/kg N
NPK-Dünger	7,74 kg CO ₂ e/kg N

5.5.4 Emissionsfaktoren für N₂O-Emissionen aus der Stickstoffdüngung

In dieser Arbeit wurde für die Berechnung der Lachgasemissionen auf Grund der geographischen Nähe und ähnlichen Boden- und Klimaverhältnissen ein in einer Studie der Universität Wageningen ermittelter Wert für die Niederlande zur Berechnung der Lachgasemissionen verwendet (Kuikman et al., 2006) (Tab. 11).

Tabelle 11: Umrechnungsfaktoren für die N₂O-Emissionen der applizierten Stickstoffmenge

Quelle	N ₂ O-Emissionen des applizierten N-Düngers
Kuikman et al., 2006	0,77-0,88 % (0,825% des applizierten Stickstoffs)

5.5.5 Emissionsfaktoren für Pflanzenschutzmittel

Bei der Berechnung der THG-Emissionen, die durch die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln entstanden, wurden anhand der Spritzpläne für Obst und Gemüse für das Jahr 2012 kulturspezifisch die durchschnittlichen Mengen der Wirkstoffe ('active ingredient' (a.i.)) für Herbizide, Fungizide und Insektizide pro Hektar zusammengestellt (LTZ, 2012 A, LTZ, 2012 B). Zusammen mit den Umrechnungsfaktoren für den Energieverbrauch bei der Herstellung der Wirkstoffe, dem Transport und der Lagerung konnte der Carbon Footprint kultur- und wirkungsspezifisch (Herbizid, Fungizid, Insektizid) errechnet werden. Als Grundlage dienten alle zugelassenen Pflanzenschutzmittel für die jeweiligen Kulturen (Anzahl: Spargel 37, Rhabarber 7, Erdbeeren 43) und die jeweils empfohlene Dosierung (Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz). Die Ausbringung der PSM mit der Pflanzenschutzspritze ging als Energie- bzw. Dieserverbrauch, der mit Hilfe der gefahrenen Kilometer und den entsprechenden KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft errechnet wurde, in die Analyse mit ein (Tab. 12 u. 13).

Tabelle 12: Carbon Footprint für verschiedene Gruppen von Pflanzenschutzmitteln

Pestizid	Lagerung und Transport (Dalgaard, 2001) (MJ/kg)	Energieverbrauch Herstellung (Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; eigener Ansatz) (MJ/kg)	Gesamt-Primärenergieverbrauch (MJ/kg)	Carbon Footprint (kg CO₂e/kg a.i.)
Herbizide	23	264	287	48
Fungizide	23	168	191	32
Insektizide	23	214	237	39

Tabelle 13: Kultur- und flächenspezifischer Carbon Footprint der Pflanzenschutzmittel

	Herbizid		Fungizid		Insektizid	
	a.i. (g/ha)	Carbon Footprint	a.i. (g/ha)	Carbon Footprint	a.i. (g/ha)	Carbon Footprint
Carbon Footprint (g CO ₂ e/kg a.i.)		48		32		39
Spargel	1.026	49,3 kg CO ₂ e/ha	710	22,7 kg CO ₂ e/ha	55	2,2 kg CO ₂ e/ha
Rhabarber	983	47,2 kg CO ₂ e/ha	100	3,2 kg CO ₂ e/ha	9.270	361,5 kg CO ₂ e/ha
Erdbeeren	624	29,9 kg CO ₂ e/ha	769	24,6 kg CO ₂ e/ha	1.590	62 kg CO ₂ e/ha

a.i. ('active ingredient'), aktiver Wirkstoff

5.5.6 Emissionsfaktoren für Folien, Heizschläuche und Verpackungsmaterialien

Bei fast allen untersuchten Anbauverfahren wurden Folien, Vliese oder Heizschläuche verwendet. Diese bestehen aus PE-Kunststoff und stellen einen wichtigen Input-Faktor für den Anbau der gartenbaulichen Kulturen dar. Diese PE-Kunststoffe reichen vom 'high density' PE (HDPE) über das 'low density' PE (LDPE) bis hin zum 'linear low density' (LLDPE). Da sich die Herstellung der verschiedenen kurzlebigen PE-Sorten unterscheidet, resultieren daraus auch verschiedene Carbon Footprint-Werte für diese 'consumables' (Tab.14). Für den Fall, dass das verwendete PE eine Mischung aus LDPE und HDPE darstellte, wurde ein Durchschnittswert für den PE-Mix errechnet. Zusätzlich zu Folien und Schläuchen werden im Erdbeeranbau auch Vliese zum Schutz der Kulturen vor kalten Temperaturen eingesetzt. Diese werden meist aus

fein verzweigten Polypropylenfäden (PP) hergestellt. Mit Hilfe der Masse der verwendeten Kunststoffe wurde die Höhe des Carbon Footprint für das entsprechende Anbauverfahren ermittelt. Die Emissionsfaktoren hierfür stammen aus den Eco-Profiles von PlasticsEurope (2012).

Bei den Verpackungsmaterialien finden Kunststoffe wie PET (Polyethylenterephthalat), zum Beispiel bei Erdbeerschälchen, aber auch Kartonagen aus Pappe Anwendung. Der Emissionsfaktor der Pappe stammt vom IVL Swedish Environmental Research Institute aus dem Jahre 2009. Die genauen Emissionsfaktoren für die verwendeten Kunststoffe werden in Tabelle 14 abgebildet und bilden die Grundlage für die Berechnung der Emissionen.

Tabelle 14: Emissionsfaktoren für die Herstellung der Kunststoffe

Material	Carbon Footprint (kg CO₂e/kg)	Quelle
HDPE	1,96	Eco-Profiles, PlasticsEurope, 2008
LDPE	2,13	Eco-Profiles, PlasticsEurope, 2008
PE-Mix (HDPE u. LDPE)	2,045	Eigener Ansatz
LLDPE	1,89	Eco-Profiles, PlasticsEurope, 2008
PET	2,15	Eco-Profiles, PlasticsEurope, 2011
PP	2,0	Eco-Profiles, PlasticsEurope, 2008
Pappkartonagen	B2B: 0,964 B2C: 1,127	Eriksson, 2010

5.5.7 Biogenic Carbon (Kohlenstoffgehalt im Endprodukt)

Mit dem Begriff Biogenic Carbon wird in dieser Studie zum Carbon Footprint der gartenbaulichen Kulturen Spargel, Rhabarber und Erdbeeren der Kohlenstoffgehalt im Ernteprodukt bezeichnet. Dieser im Ernteprodukt selbst gebundene Kohlenstoff kann bei der Berechnung des Carbon Footprints nach der neuen PAS 2050-1 bei der Carbon Footprint-Analyse berücksichtigt ('Offset') oder nicht berücksichtigt werden. Dies stellt eine Neuerung gegenüber der PAS 2015:2008 dar und wird damit begründet, dass das Ernteprodukt vom Feld abgefahren, der enthaltene Kohlenstoff aus dem Kohlenstoff-Kreislauf der Obst- oder Gemüseanlage als Lebens- oder Futtermittel entnommen wird und nicht auf dem Feld als CO₂ abgegeben wird.

Zur Ermittlung des Kohlenstoffgehaltes im Ernteprodukt wurde dessen Trockensubstanz zur Hilfe genommen. Laut IPCC bestehen ca. 47% der Trockenmasse von Pflanzen aus Kohlenstoff (PAS2050-1, 2012). Dieser Kohlenstoffgehalt wurde nach der Ermittlung des Ertrages als CO₂ der Kultur in der Anbauphase gutgeschrieben (Tab. 15).

Tabelle 15: Biogenic Carbon - Kohlenstoffgehalt für eine mögliche CO₂-Gutschrift

	Wassergehalt (%)	Trockenmasse (g/kg)	Biogenic Carbon (g/kg)	CO₂-Gutschrift pro Tonne Ernteprodukt (kg)
Spargel	94	60	28,2	28,2
Rhabarber	95	50	23,5	23,5
Erdbeeren	90	100	47	47

5.5.8 Berechnungsgrundlage für den Land Use Change (LUC)

Für die Berechnung des Land Use Change war in dieser Studie bei den Kulturen Spargel und Erdbeeren bekannt, dass die regionalen Flächen im Rheinland bereits vor 20 Jahren ackerbaulich genutzt wurden. Bei beiden Kulturen konnten mit dem Excel-Tool und der Eingabe der spezifischen Faktoren die LUC-Emissionen errechnet werden. Angepasst an das Anbauverfahren wurden die sieben Auswahlfelder mit den spezifisch zutreffenden Eigenschaften des Anbaus belegt und die resultierenden CO₂e-Emissionen in der Folge im unteren Teil angezeigt. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis für die Emissionen, die aus dem LUC beim Spargel resultieren.

Select situation and calculate GHG emissions from land use change	
When the previous land use is known, select the following 7 characteristics of the situation. The results are shown below in the blue fields. When the previous land use is not known, only select the country and crop. The default characteristics and results are shown at the right side of this sheet.	
1. Select the country of crop cultivation:	Germany
2. Select the assessed crop:	Asparagus
Type of crop (predefined per crop)	Long-term cultivated
3. Select the climate:	Warm temperate, moist
4. Select soil type:	Sandy soils
5. Select the previous vegetation type:	Annual cropland
6. Select tillage intensity:	Full
7. Select input level:	Medium
<i>Factors for calculating soil carbon stock change:</i>	
Soil carbon stock change factor related to land use	Factor: 0,69
Soil carbon stock change factor related to tillage	1
Soil carbon stock change factor related to inputs	1
RESULTS (previous land use is known)	
Reference soil carbon stock (ton C/ha)	Annual cropland 23
Resulting carbon stock change (ton C/ha)	0,0
GHG emissions from soil carbon stock change (ton CO ₂ eq/ha*year)	0,0
Reference vegetation carbon stock (ton C/ha)	1,9
Current vegetation carbon stock (ton C/ha)	1,9
GHG emissions from vegetation carbon stock change (ton CO ₂ eq/ha ²)	0,0
GHG emissions from land use change (tonne CO₂eq/ha*year)	0,0

Abbildung 3: Excel-Tool - LUC-Emissionen im Spargelanbau in Deutschland

Für den Rhabarberanbau gab es im Berechnungstool keine grundlegenden Daten. Somit wurde zur Berechnung des LUC beim Rhabarberanbau der Durchschnittswert für Gemüse 'Vegetable freshness' in Deutschland verwendet. Dies führte selbst im 'worst case' dazu, dass keine Emissionen aus dem LUC für den Rhabarber angerechnet wurden.

5.5.9 Capital Goods (Gebäude, Traktoren und andere feste Strukturen)

Gemäß PAS 2050 (2011) und PAS 2050-1 werden feste Strukturen ('Capital Goods'), wie sie bei Tunnelsystemen, Hagelnetzen oder Beregnungsanlagen Anwendung finden, nicht mit in den Carbon Footprint eingerechnet. Außerdem wird die Produktion der Fahrzeuge wie Traktoren und anderer Maschinen sowie fest installierte Gebäude ausgeschlossen.

5.6 Systemgrenzen und funktionelle Einheiten

5.6.1 Festlegung der Systemgrenzen

Da in dieser Arbeit zusätzlich zur PAS 2050-1 die Distribution, Vermarktung sowie der Einkauf und Umgang des Konsumenten mit dem Produkt analysiert wurde, mussten ab dem Hofator, die Richtlinien der PAS 2050:2011 angewendet werden. Wählt man, wie in diesem Forschungsvorhaben erfolgt, die Systemgrenzen möglichst weit auseinander, kann dies zu mehr Qualität und vor allem Genauigkeit der Studie führen. Durch diese ganzheitliche Betrachtung konnten alle möglichen Hotspots entlang der Wertschöpfungskette identifiziert und so mögliche CO₂-Reduktionspotenziale ermittelt werden.

5.6.1.1 Systemgrenzen bei Spargel

Beim Spargel begann die Carbon Footprint-Analyse an dem Punkt der Produktionskette, an dem die Jungpflanzen ihren Anzuchtbetrieb verlassen. Die Jungpflanzen beider Spargelbetriebe stammten aus den Niederlanden. Somit war der erste Schritt, der in die Untersuchung einfließt, der Transport der Jungpflanzen mit dem 40 t LKW aus den Niederlanden nach Deutschland zu den jeweiligen Anbauflächen. Die Carbon Footprint-Analyse endet mit der Phase, in der das Produkt beim Konsumenten verzehrt wurde (Use-phase).

5.6.1.2 Systemgrenzen bei Rhabarber

Da die Rhabarberpflanzen des betrachteten Betriebes ausschließlich durch eigene vegetative Vermehrung reproduziert wurden, begann die Carbon Footprint-Analyse bei diesem Pflanzvorgang und dem Anlegen der Rhabarberflächen mit den vorbereitenden bodenlockernden Maßnahmen. Der letzte Schritt ist auch hier die Use-phase, in der der Rhabarber beim Konsumenten verzehrt wird.

5.6.1.3 Systemgrenzen bei Erdbeeren

Die Lebenszyklusanalyse der Erdbeeren startete bei der Bereitstellung der Jungpflanzen vom Aufzuchtbetrieb und der Lieferung per LKW zu den Kultivierungsflächen. Das Ende stellte wie bei allen betrachteten gartenbaulichen Kulturen die Verwendung bzw. der Verzehr der Erdbeeren beim Konsumenten dar.

5.6.1.4 Übersicht der Systemgrenzen

Tabelle 16 sind die Systemgrenzen der einzelnen Kulturen zu entnehmen. Bei allen drei Kulturen wurde der "Cradle to Grave"-Ansatz verfolgt. Dies bedeutet, dass die Studie neben der Produktions- oder Anbauphase die Vermarktung und die Gebrauchsphase des Konsumenten mit einbezieht.

Tabelle 16: Festgelegte Systemgrenzen der vorliegenden Studie

Kultur	Systemgrenzen am Anfang	Systemgrenzen am Ende
Spargel	Auslieferung der Jungpflanzen vom Jungpflanzenbetrieb	Verwendungsphase, Entsorgung
Rhabarber	Einsetzen der vegetativ vermehrten Rhabarberpflanzen	Verwendungsphase, Entsorgung
Erdbeeren	Lagerung der Jungpflanzen auf dem Jungpflanzenbetrieb	Verwendungsphase, Entsorgung

5.6.2 Funktionelle Einheiten

Um die gartenbaulichen Kulturen und ihre Vermarktung bezüglich des Schädigungspotenzials für das Klima als Ganzes zu betrachten, mussten funktionelle Einheiten definiert werden. Hierdurch wurde eine Bezugsgröße festgelegt, auf die sich die klimaschädlichen Emissionen beziehen. Bei der Lebenszyklusanalyse (Carbon Footprint, Ökobilanz) ist dieser Schritt durch die verschiedenen Standards festgelegt (PAS 2050:2011, ISO 14044: 2006, 3.20). In der vorliegenden Studie wurden einheitliche funktionelle Einheiten gewählt, um einen Vergleich zwischen den Kulturen zu ermöglichen. Die erste funktionelle Einheit wurde für die Anbauphase bis zur Ernte als Produktionsfläche in Hektar der entsprechenden Kultur definiert. Als zweite funktionelle Einheit für die Vermarktung sowie die Gesamtbetrachtung wurde das Gewicht von einem Kilogramm des verkaufsfähigen Ernteproduktes definiert. Zusätzlich wurden die CO₂e-Emissionen für die gängigen Verkaufseinheiten, mit denen der Konsument in Berührung kommt, angegeben. Im Einzelnen bezog sich die erste funktionelle Einheit auf alle Faktoren, die bis zur Ernte in das Produktionssystem eingebracht wurden. Dies umfasste den Einkauf oder die Lieferung der Samen oder Jungpflanzen, die Kultivierung mit Faktoren wie Dünger, Pflanzenschutz, Folien etc. und den Vorgang der Ernte mit dem Transport bis zum Hof. Die zweite funktionelle Einheit bezog sich vorerst auf die gesamte Vermarktungsphase bis einschließlich der Verwendung und/oder Entsorgung des Produktes oder der Verpackung. Im weiteren Verlauf wurde auch die Gesamtbetrachtung mit dieser funktionellen Einheit vorgenommen (Tab. 17 u. Abb. 4). Die Carbon Footprint-Ergebnisse wurden als Farm Carbon Footprint und als Product Carbon Footprint (PCF) am Ende der Gebrauchsphase und somit als Ergebnis des "Cradle to **Grave**" Ansatzes angegeben. Außerdem wurde der B2B Carbon Footprint ausgewiesen, der die Ergebnisse nach dem "Cradle to **Gate**" Ansatz betrachtet. Dies bedeutet, dass die Nachernteverfahren wie beispielsweise Schockkühlung oder Sortierung mit in die Berechnung einfließen.

Tabelle 17: Funktionelle Einheiten der ausgewählten gartenbaulichen Kulturen

Kultur	1. Funktionelle Einheit (Fläche, ha)	2. Funktionelle Einheit (Gewicht, Kilogramm)	3. Verkaufseinheit
Spargel	Spargelanbaufläche, ha	Verkaufsfähiger Spargel, kg	Verkaufseinheit bei loser Ware, kg
Rhabarber	Rhabarberanbaufläche, ha	Verkaufsfähiger Rhabarber, kg	Verkaufseinheit bei loser Ware, kg
Erdbeeren	Erdbeeranbaufläche, ha	Verkaufsfähige Erdbeeren, kg	Erdbeerschälchen 0,250 kg

Systemgrenzen und funktionelle Einheiten der einzelnen Kulturen

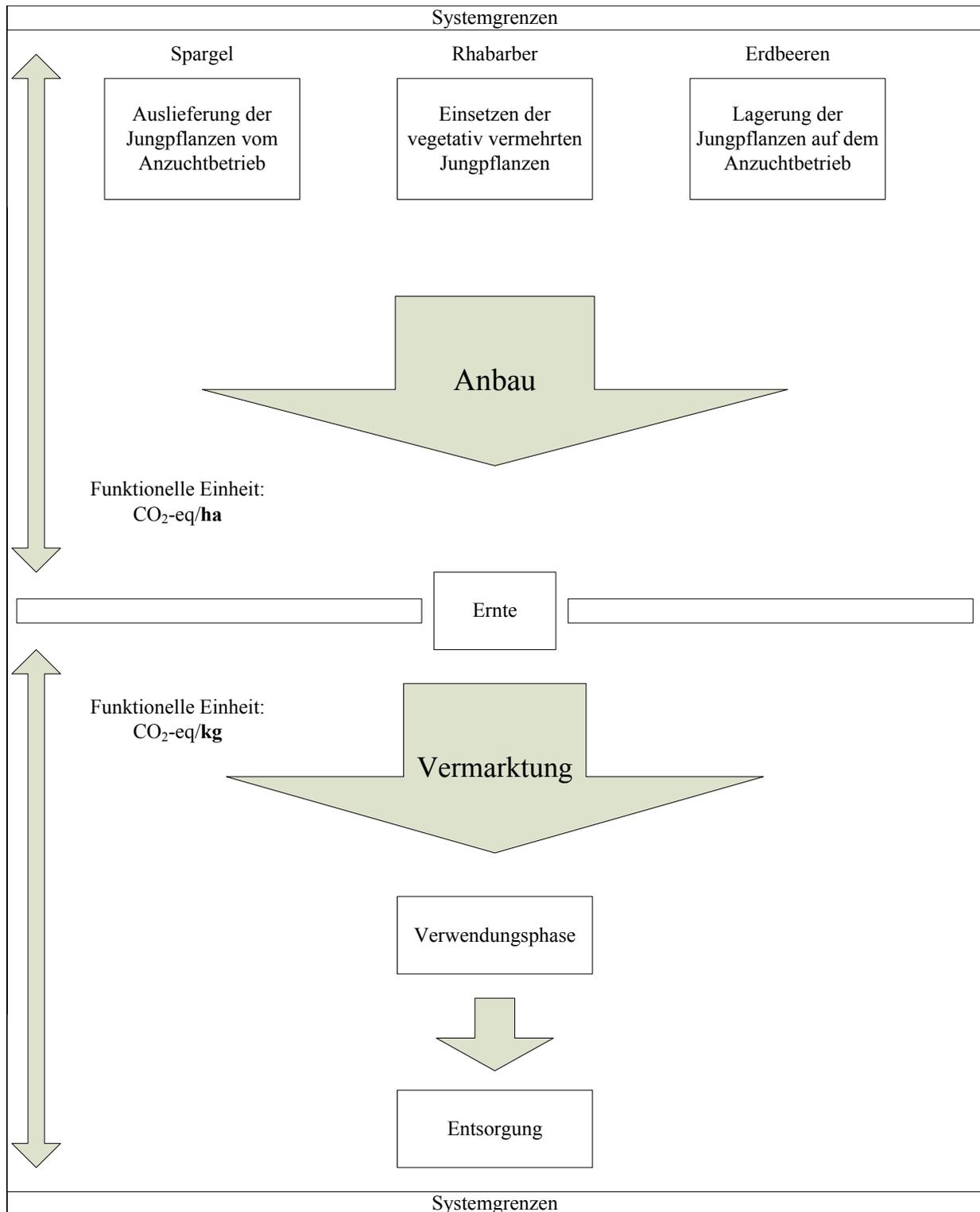


Abbildung 4: Schematische Übersicht der Systemgrenzen und funktionellen Einheiten

6 Ergebnisse

In Kapitel 6 werden die CO₂e-Emissionen der analysierten gartenbaulichen Kulturen für die einzelnen Anbausysteme beschrieben und erläutert.

6.1 Primärdaten zum Carbon Footprint von Heizspargel

Bei diesem Spargelanbausystem handelte es sich um ein innovatives Verfahren, das zur Verfrühung der Spargelernte eingesetzt wurde. Im Frühjahr wurde jeweils die Bodentemperatur des Spargels mit warmem Heizwasser erhöht, das durch unterirdisch verlegte Schläuche gepumpt wurde. Dadurch wurden die Vegetationsperiode und Wachstumsphase der Pflanzen zeitlich nach vorne verlegt und eine Verfrühung der Ernte ermöglicht.

6.1.1 Anlegen der Heizspargel-Dauerkultur

Die Heizspargelfläche umfasste 12 ha. Es und wurden pro Hektar 27.000 Pflanzen kultiviert und mit dem Fernwärme-Heizsystem ausgestattet. Das Spargel-Pflanzmaterial stammte aus einem 115 km entfernten Jungpflanzenbetrieb in Echt in den Niederlanden. Pro LKW wurden 110.000 einjährige Pflanzen (A Qualität) ohne Rückfracht geliefert. Der LKW verbrauchte im Durchschnitt 25 L Diesel/100 km (Beladen 35 L Diesel/100 km und bei der Leerfahrt 15 L Diesel/100 km). Jede Einwegpalette war mit 5.000 Jungpflanzen beladen, und es wurden 5 kg PE-Kunststoffverpackung sowie 20 kg Holz angesetzt. Die Entsorgung dieser Verpackung wurde nach der 0-100 Allokation nicht dem Spargel angerechnet, weil von einer thermischen Verwertung ausgegangen wurde.

Der Pflanzung ging zur Vorbereitung der Flächen zunächst eine tiefgründige Bodenbearbeitung (Pflügen und Grubbern) voraus. Danach wurden in einem Arbeitsschritt jeweils zwei Heizschläuche (50% HDPE, 50% LDPE) pro Reihe verlegt und die Pflanzen gesetzt. In diesem Pflanzjahr (Jahr 0) wurde noch kein Spargel geerntet. Im ersten Erntejahr konnte ein Drittel und im zweiten drei Viertel des Vollertrags geerntet werden. Ab dem dritten Jahr wurde der Vollertrag erzielt, der mit 8,5 t verkaufsfertigem Spargel (nach der Sortierung) angegeben wurde. Die Verluste lagen bei ca. 15%, die entweder auf dem Feld verblieben oder nach der Sortierung zurückgeführt wurden. Insgesamt konnte die Heizspargelanlage 11 Jahre (10+1) genutzt werden. Die LDPE-Spargeltaschenfolie hatte eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 7 Jahren. Diese wurde unter Berücksichtigung der Erneuerung und Weiternutzung auf 10 Jahre Nutzungsdauer umgerechnet, da im Pflanzjahr keine Folie genutzt wurde. Das Anlegen der Spargelanlage als einmaliges Ereignis wurde nach PAS 2050-1 unabhängig von der Standdauer der Kultur der Gesamtzeit angerechnet. Die Standdauer der Heizspargelanlage betrug im Schnitt bei beiden Betrieben 11 Jahre. Das bedeutet, die Emissionen der hier beschriebenen Verfahren und Prozesse wurden der gesamten Standdauer angerechnet (Tab. 18).

Tabelle 18: Carbon Footprint für das Anlegen der Heizspargelkultur

	Primärdaten	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha)
Pflanzenlieferung (27.000 Pflanzen/ha, 2 mal 115km)	17,25 L Diesel/ha	53,40
Herstellung der Verpackungsmaterialien	27 kg PE-Mix Plastik/ha	55,20
	108 kg Holz/ha	104,10
Entsorgung der Verpackungsmaterialien bei thermischer Verwertung (0-100 Allokation)	n/a	0
Tiefgründige Bodenbearbeitung	38 L Diesel/ha	117,60
Pflanzmaschine	50 L Diesel/ha	154,80
PE-Mix Heizschlauch	1.516 kg PE-Mix/ha	3.100
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (7 Jahre Nutzungsdauer)	1.093 kg LDPE/ha	2.329
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (für 10 Jahre bei Erneuerung und Weiternutzung)	1.561 kg LDPE/ha	3.327
Einmaliger Aufbau der Spargelanlage (gesamt)	n/a	6.912
Jährliche Emissionen bei 11 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	628,37

n/a = nicht angegeben

Der Carbon Footprint für das Anlegen der hier beschriebenen Heizspargelanlage inkl. der über die gesamte Standdauer verwendeten Materialien wie Folie und Heizschlauch betrug insgesamt 6.912 kg CO₂e/ha. Bei einer Standdauer der Anlage von 11 Jahren werden dem jährlichen Carbon Footprint somit 628,37 kg CO₂e/ha/a angerechnet.

6.1.2 Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Heizspargel

Zu Beginn der Kultivierung des Heizspargels wurde eine Startdüngung von jährlich 175 kg N/ha in Form von KAS durchgeführt und somit in den ersten beiden Standjahren mehr Dünger ausgebracht als in den restlichen Standjahren. Ab dem 3. Jahr wurde dies auf 60 kg N/ha in verabreicht Form von Kalkstickstoff, reduziert. Bei der Kaliumdüngung wurden konstant über die Standdauer alle zwei Jahre 100 kg K (121 kg K₂O) appliziert (Tab. 19).

Tabelle 19: Carbon Footprint der Dünger- und Lachgasemissionen bei Heizspargel

	Düngemenge (Düngemittel)	CO₂e Emissionen Herstellung (inkl. Vorkette)	N₂O Emissionen*	CO₂e Emissionen resultierend aus N₂O Emissionen	Carbon Footprint
Aufbaudüngung (0. und 1. Jahr)	175 kg N/ha/a (KAS)	1.405 kg CO ₂ e	1,44 kg N ₂ O/ha/a	430,24 kg CO ₂ e/ha/a	1.835 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung (gesamt) (0.+ 1. Jahr)	250 kg N/ha (KAS)	2.810 kg CO ₂ e	2,89 kg N ₂ O/ha/2a	860,48 kg CO ₂ e/ha/2a	3.670 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbau Düngung (berechnet auf 11 Jahre)	n/a	255,50 kg CO ₂ e	0,26 kg N ₂ O/ha/a	78,22 kg CO ₂ e/ha/a	333,73 kg CO ₂ e/ha/a
Ab dem 2. Jahr	60 kg N/ha/a (Kalkstickstoff)	481,80 kg CO ₂ e	0,50 kg N ₂ O/ha/a	147,51 kg CO ₂ e/ha/a	629,31 kg CO ₂ e/ha/a
Kaliumdüngung	100 kg K/ha/2a (40er Kornkali)	67,76 kg CO ₂ e/ha/2a 33,88 kg CO ₂ e/ha/a	entfällt	entfällt	33,88 kg CO ₂ e/ha/a
Jährliche Emissionen (gesamt)	entfällt	771,18 kg CO ₂ e/ha	0,76 kg N ₂ O /ha	225,74 kg CO ₂ e/ha	996,90 kg CO ₂ e/ha/a

* N₂O-Werte basieren auf 0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs (Kuikman et al., 2006)

n/a = nicht angegeben

Die jährlichen Pflanzenschutzmaßnahmen beliefen sich im Schnitt auf 5 Behandlungen pro Jahr (einmal Herbizid, zweimal Fungizid, zweimal Insektizid). Die Behandlung diente der Bekämpfung von Pilzkrankheiten wie dem Spargelrost, Schädlingen wie der Spargelfliege oder zur Eindämmung des Unkrautes (Tab. 20).

Tabelle 20: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Heizspargel

Pflanzenschutzmaßnahme (Häufigkeit)	Carbon Footprint bei einmaliger Anwendung* (kg CO₂e/ha/a)	Carbon Footprint Pflanzenschutz (kg CO₂e/ha/a)
Herbizid (1 mal)	49,25	49,25
Fungizid (2 mal)	22,72	45,44
Insektizid (2 mal)	2,15	4,30
5 PSM Applikationen (gesamt)	n/a	98,99

*PCF der PSM nach Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz
n/a = nicht angegeben

Neben der Applikation von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln sind die immer wiederkehrenden gartenbaulichen Kulturpflagemassnahmen beim Heizspargel das Häckseln, die Bearbeitung mit dem Untergründer, das Dämme-Fräsen, das Folieren, das Abdämmen, das Auflockern sowie das Fräsen eines Winterdammes (50% der Heizspargelflächen) (Tab.21).

Tabelle 21: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Heizspargel

Arbeitsschritt (Häufigkeit)	Dieserverbrauch bei einmaliger Bearbeitung* (L/ha)	Dieserverbrauch bei Heizspargel (L/ha)	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Häckseln (1 mal)	10	10	31,0
Untergründer (2 mal)	6	12	37,1
Dämme Fräsen (1 mal)	10	10	31,0
Folieren (2 mal)	3	6	18,6
Abdämmen (1 mal)	6	6	18,6
Auflockern (2 mal)	8	16	49,5
Düngen (1 mal)	1	1	3,1
PSM Applikation (5 mal)	1	5	15,5
Winterdamm Fräsen (1 mal) 50% der Heizspargelflächen	10	5	15,5
Gesamt	n/a	71	219,9

* Dieserverbrauch nach KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005)

n/a = nicht angegeben

Zusätzlich zu diesen jährlichen Pflegemaßnahmen fiel beim Heizspargel während der Anbauphase der Energieaufwand an, der zum Betrieb der Bodenheizung nötig war. Für den Betrieb der Warmwasserpumpen wurden jährlich 100.000 kWh Strom benötigt. Die Abwärme der benachbarten Rußfabrik betrug ca. 3 MW (Tab. 22). Da diese Wärmeenergie ein Abfallprodukt der Rußfabrik war, wurde sie nach der Regelung in der PAS 2050-1 für den Spargelanbauer als klimaneutral angenommen und würde im Fall der Berechnung des Carbon Footprints den Produktionsabläufen der Rußfabrik angerechnet.

Tabelle 22: Carbon Footprint für die Bodenheizung bei Heizspargel

Produktionsfaktor	Energieverbrauch/Leistung	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Stromverbrauch Warmwasserpumpen	100.000 kWh/12 ha/a	5.017
Abwärme Rußfabrik (100-0 Allokation)	3 MW	0

6.1.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel

In die Berechnung des Carbon Footprints im ersten Schritt flossen sowohl die Flächenbasis als auch die Faktoren LUC und Biogenic Carbon mit ein. Beim Spargel wurde der LUC mit Hilfe des in Kapitel 5.6.8 beschriebenen Excel-Tools errechnet. Weil die bewirtschafteten Flächen bereits mindestens 20 Jahre als landwirtschaftliche Nutzflächen mit einjährigen oder mehrjährigen Kulturen bestellt wurden, war das Ergebnis für die Emissionen, die durch den LUC verursacht wurden, Null (Tab. 23). Da man von einer sich jährlich ändernden Nutzung zu einer Dauerkultur überging, konnte sogar angenommen werden, dass im Vergleich eine eher CO₂ bindende Situation (carbon sequestration) zu verzeichnen war. Der Wert für das Biogenic Carbon als optionale Gutschrift ('Offset') wurde mit Hilfe des spezifischen Kohlenstoffgehaltes des Spargels und der Erntemenge ermittelt. Der LUC sowie das Biogenic Carbon gelten für alle betrachteten Spargel-Anbauverfahren gleichermaßen.

Tabelle 23: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Heizspargel

	Emissionen
Emissionen resultierend aus dem LUC	0 kg CO ₂ e/ha/a
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Tonne Heizspargel	28,20 kg CO ₂ e/t
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Fläche	197,85 kg CO ₂ e/ha/a

6.1.4 Heizspargelernte und Nachernteprozesse

Nach dem Sortierungsprozess blieben von der Bruttoerntemenge von ca. 10 t/ha noch 8,5 t/ha verkaufsfähiger Spargel übrig. Der Ausschuss ('waste') wurde kompostiert und zurück auf das Feld ausgebracht. Die Ernte dauerte im Mittel 50 Tage/Jahr in den Monaten Mai und Juni. Die Spargelerntemaschine, die die Arbeiter bei der Ernte unterstützte, verbrauchte 5 Liter Benzin pro Tag und Hektar. Da 12 ha über 50 Tage beerntet wurden, belief sich der Benzinverbrauch auf insgesamt 3.000 Liter für eine Erntesaison. Die Distanz bei dem Transport der Arbeiter und des geernteten Spargels mit demselben Transportfahrzeug zwischen Hof und Heizspargelfläche betrug 2,5 km. Das Fahrzeug verbrauchte 8 Liter Diesel auf 100 km und fuhr die Heizspargelfläche 14 mal am Tag an. Somit ergab sich eine Strecke von 3.500 km und ein Dieserverbrauch von 280 Litern für 12 ha Heizspargel. Auf dem Hof wurde der Spargel sortiert und einer Schockkühlung unterzogen, wodurch laut Betriebsleiter ein Stromverbrauch von 12.000 kWh/a entstand (Tab. 24).

Tabelle 24: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Heizspargel

Prozess	Energieverbrauch Heizspargel	Energieverbrauch für 1 ha Heizspargel	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Erntemaschine	3.000 L Benzin/Jahr	250 L Benzin/ha/a	770,70
Transport Arbeiter und Spargel zum Feld	280 L Diesel/Jahr	23 L Diesel/ha/a	71,21
Sortierung und Schock- kühlung	12.000 kWh/Jahr	1.000 kWh/ha/a	117,65

6.1.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizspargel

Bei den Input-Faktoren, die nur ein- oder zweimalig auftraten (Pflanzenlieferung, Aufbaudüngung etc.), wurden die Emissionen auf die gesamte Standdauer der Heizspargelanlage umgelegt. Die durchschnittliche Erntemenge einschließlich der ertragsärmeren Jahre beim Heizspargel betrug über alle 11 Jahre gerechnet 7,02 t/ha. Tabelle 25 zeigt sowohl die Ergebnisse für den Farm Carbon Footprint, der das Anbauverfahren von der Jungpflanzenlieferung bis zur Ernte betrachtet (7.605 kg CO₂e/ha/a), als auch den Business to Business Carbon Footprint (8.207 kg CO₂e/ha/a, 1,169 kg CO₂e/kg Heizspargel) nach PAS 2050-1, der zusätzlich die Nachernteverfahren einschließt.

Tabelle 25: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizspargel

	Carbon Footprint
Anlegen der Heizspargelkultur - einmalige Faktoren	628,37 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung (175 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	255,50 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung - Lachgasemissionen	78,23 kg CO ₂ e/ha/a
Stromverbrauch Heißwasserpumpen	5.017 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 2. Jahr (60 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	481,80 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 2. Jahr - Lachgasemissionen	147,51 kg CO ₂ e/ha/a
Kaliumdüngung (100kg K/ha/2a)	33,88 kg CO ₂ e/ha/a
Pflanzenschutz	98,99 kg CO ₂ e/ha/a
Pflegemaßnahmen	219,90 kg CO ₂ e/ha/a
Erntemaschine	770,70 kg CO ₂ e/ha/a
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	71,21 kg CO ₂ e/ha/a
Land Use Change bei vorangegangener gartenbaulicher Nutzung	0 kg CO ₂ e/ha/a
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-197,85 kg CO ₂ e/ha/a
Farm Carbon Footprint (bis Ernte)	7.605 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse (Sortierung und Schockkühlung)	602 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	8.207 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	1,169 kg CO ₂ e/kg Heizspargel
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	1,197 kg CO ₂ e/kg Heizspargel

6.1.6 Vermarktung von Heizspargel

Die Vermarktung des Heizspargels erfolgte zu 100% über den Großhändler Landgard in Roisdorf. Der Transport dorthin wurde mit dem eigenen Transporter (12 L Diesel/100km) vorgenommen. Während der 50 Erntetage wurde der 20 km entfernte Großhändler 45 Mal angefahren. Bei jeder Fahrt waren durchschnittlich 40% der Ladung Spargel und bei der Rückfahrt wurde entsprechend 40% Transportleergut für den Spargel geladen. Die übrigen Kapazitäten wurden für andere Produkte benötigt. Zusätzlich dazu wurden zu Beginn der Saison 5 Fahrten nur für Leergut durchgeführt. Auch diese sind zu 40% dem Spargel

anzurechnen. Insgesamt ergaben sich für die Erntemenge von 84,1 t Heizspargel 800 km Transport bis zum Großhändler (Tab. 26).

Bei der Verpackung wurden jeweils 50% in Einweg-Pappkartonagen (321 g Pappe/Steige) und 50% in Mehrwegkisten (Europool 004) verpackt. Es wurden jeweils 5 kg Spargel in die Kisten gefüllt. Der Pappabfall der Kisten wurde erneut nach der 0-100 Allokation nicht dem Spargel gutgeschrieben. Nach der Anlieferung des Spargels bei Landgard wurde dieser nach dem Verkauf sofort weiter zu den Distributionszentren der Einzelhändler transportiert. Für diese Wegstrecke wurde eine mittlere Transportdistanz von 200 km mit einem 40 t LKW angesetzt, der mit einem Durchschnittsgut beladen ist (Rewe Group, 2009). Damit ergab sich für das Transportgut ein Carbon Footprint von 13,8 g CO₂e/kg. Von dem Distributionszentrum zu den einzelnen Filialen des Lebensmitteleinzelhändlers wurde eine Rundtour von 160 km mit einem 12-24 t LKW angenommen. Hierbei entstanden 16,96 g CO₂e für den Transport von einem Kilogramm Durchschnittstransportgut und 160 km Transportdistanz (Schmied u. Knörr, 2011) (Tab. 26).

Tabelle 26: Carbon Footprint für die Vermarktung von Heizspargel

Vermarktungsprozess	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO₂e/kg)
Verpackung (50% Pappkisten)	321 g Pappe/Steige (5 kg Spargel)	61,8
Transport zu Landgard (40% Spargel)	800 km für 84,1 t Heizspargel	3,5
Transport zum Distributionszentrum (RDC)	200 km 40 t LKW 68 gCO ₂ e/t/km	13,6
Transport zum LEH	160 km 12-24 t LKW 106 gCO ₂ e/t/km	17,0
Vermarktung (gesamt)	entfällt	95,9

6.1.7 Verbrauchsphase des Heizspargels beim Konsumenten

Da die Vermarktung des Heizspargels ausschließlich über Landgard bzw. den Lebensmitteleinzelhandel (LEH) erfolgte, wurde hier die Standard Einkaufsfahrt mit einem Warenkorb von insgesamt 20 kg und einem Heizspargelanteil von einer funktionellen Einheit, d.h. 1 kg, angesetzt (Blanke und Burdick, 2005). Die Standardeinkaufsfahrt beim LEH setzt sich zusammen aus einer Transportdistanz von 10 km und aus den Verbrauchs- und Emissionswerten eines kleinen benzinbetriebenen PKWs. Verursacht durch die Konsumenten-Einkaufsfahrt ergaben sich 123,5 g CO₂e/kg Heizspargel.

Beim Konsumenten im Haushalt wurde von 24 Stunden Lagerung im Kühlschrank ausgegangen. Durch den Stromverbrauch bei der Kühlung wurden 24g CO₂e/kg Heizspargel verursacht (Rewe Group, 2009).

Für das Zubereiten des Heizspargels wurde ebenfalls eine bestimmte Energiemenge benötigt. Als Maßstab diente der Energieverbrauch, der nötig ist, um einen Liter Wasser von 20°C auf 95°C zu erhitzen. Für die Zubereitung von 1 kg Spargel wurde die dreifache Menge dieser Energie angesetzt. Dies entspricht 261,6 Wh oder 157 g CO₂e/kg Heizspargel. Eine weitere Verwendung oder Entsorgung nach dem Verzehr findet nicht statt (Tab. 27).

Tabelle 27: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Heizspargel

Verbrauchsphase beim Konsumenten	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO₂e/kg)
Einkaufsfahrt	1 kg Heizspargel/20 kg Warenkorb	123,5
Lagerung im Kühlschrank	24 h Lagerung im Kühlschrank	24,0
Zubereitung des Heizspargels	261 Wh/kg Heizspargel	157,5
Entsorgung	entfällt	0
Verbrauchsphase (gesamt)	entfällt	305,0

6.1.8 Carbon Footprint von Heizspargel

In der folgenden Tabelle 28 wurden die Carbon Footprint-Ergebnisse für den gesamten Lebenszyklus des Spargels von der Pflanzenlieferung bis zum Verzehr beim Konsumenten zusammengefasst. Die Berechnung des Carbon Footprints für die Lebenszyklusabschnitte nach dem Verlassen des Hofes erfolgte nach der PAS 2050:2011. Der Product Carbon Footprint für vermarktungsfertigen Heizspargel betrug 1,57 kg CO₂e/kg Heizspargel.

Tabelle 28: Carbon Footprint von Heizspargel

	Carbon Footprint (kg CO₂e/kg)
Farm Carbon Footprint	1,080
B2B Carbon Footprint	1,169
Vermarktung über Groß- und Einzelhandel	0,096
Verbrauchsphase	0,305
B2C Carbon Footprint (PCF)	1,570

6.2 Primärdaten zum Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)

Das in diesem Kapitel betrachtete Anbauverfahren bei demselben Betrieb aus der Köln-Aachener Bucht, der sowohl Heizspargel als auch unbeheizten Spargel anbaut, unterschied sich hauptsächlich darin, dass hier keinerlei Materialien oder Energie für das Heizsystem benötigt wurden.

6.2.1 Anlegen der Spargeldauerkultur (Großbetrieb)

Bei dem einmaligen Anlegen der Spargelkultur wurde genauso verfahren wie bei der Heizspargelanlage. Die nicht beheizte Anlage umfasste 10 ha. Für diese Fläche wurden bei gleicher Pflanzdichte zwar weniger Pflanzen benötigt, aber auf Grund des Fassungsvermögens der LKWs konnten hier im Vergleich keine Fahrten eingespart werden. Somit teilte sich die selbe Anzahl an Fahrten auf die um 2 ha kleinere Fläche auf. Ein weiterer Unterschied bestand darin, dass kein Heizschlauch verlegt werden musste. Dies führte zu einer enormen Einsparung an PE-Kunststoff gegenüber der Heizspargelanlage. Bei der Verpackung der Pflanzen, der vorbereitenden tiefgründigen Bodenbearbeitung, dem Pflanzen sowie der LDPE-Spargeltaschenfolie gab es keine Unterschiede zwischen den beiden Verfahren (Tab. 29).

Tabelle 29: Carbon Footprint für das Anlegen der Spargelkultur (Großbetrieb)

	Primärdaten	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Pflanzenlieferung	20,7 L Diesel/ha	64,05
Herstellung der Verpackungsmaterialien	27 kg PE-Mix Plastik/ha	55,20
	108 kg Holz/ha	104,10
Entsorgung der Verpackungsmaterialien (0-100 Allokation)	n/a	0
Tiefgründige Bodenbearbeitung	38 L Diesel/ha	117,60
Pflanzmaschine	50 L Diesel/ha	154,80
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (7 Jahre Nutzungsdauer)	1093,4 kg LDPE/ha	2.329
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (für 10 Jahre bei Erneuerung und Weiternutzung)	1.561 kg LDPE/ha	3.327
Einmalige Produktionsfaktoren (gesamt)	n/a	3.823
Jährliche Emissionen bei 11 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	347,50

n/a = nicht angegeben

Die CO₂e-Emissionen für das Anlegen der Spargeldauerkultur betragen einmalig 3.823 kg CO₂e/ha. Rechnet man dies auf die gesamte Standdauer der Anlage (11 Jahre) um, werden dem Carbon Footprint jährlich 347,50 kg CO₂e/ha zugeordnet (Tab. 29).

6.2.2 Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Spargel (Großbetrieb)

Genau wie beim Heizspargel wurde auch beim nicht beheizten Spargel eine Aufbaudüngung vorgenommen. Diese und die ab dem zweiten Jahr durchgeführten jährlichen Düngemaßnahmen wiesen keine Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren auf. Weitere Gemeinsamkeiten der beiden Anbauverfahren waren der Pflanzenschutz und die Pflegemaßnahmen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Verfahren hinsichtlich des jährlichen Energieaufwandes zum Betrieb der Anlage bestand im Stromverbrauch, der zum Betrieb der Heißwasserpumpen nötig war und beim nicht beheizten Spargel entfiel.

6.2.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Großbetrieb)

Wie in Kapitel 6.1.3 gelten die dort beschriebenen Werte für alle in dieser Arbeit betrachteten Spargelanbauverfahren.

6.2.4 Spargelernte und Nachernteprozesse (Großbetrieb)

Auch im Bereich der Ernte und Nachernteverfahren bestanden keine Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren Heizspargel und nicht beheizter Spargel innerhalb dieses Betriebes.

6.2.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)

Die einzigen Unterschiede lagen bei den beiden Anbauverfahren im Bereich der Pflanzenlieferung (Allokation) und darin, dass in diesem Verfahren keinerlei Emissionen durch die Installation oder den Betrieb einer Bodenheizung verursacht wurden. Die beiden Anbausysteme wurden parallel vom gleichen Anbauer betrieben und dienten dazu, über einen längeren Zeitraum Spargel an den Markt liefern zu können. Der Farm Carbon Footprint (2.306 kg CO₂e/ha/a) und der B2B Carbon Footprint (2.909 kg CO₂e/ha/a, 0,414 kg CO₂e/kg Spargel) für die nicht beheizte Spargelanlage sind der Tabelle 30 zu entnehmen.

Tabelle 30: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)

	Carbon Footprint
Anlegen der Spargelkultur - einmalige Faktoren	347,50 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung (175 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	255,50 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung - Lachgasemissionen	78,23 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 2. Jahr (60 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	481,80 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 2. Jahr - Lachgasemissionen	147,51 kg CO ₂ e/ha/a
Kaliumdüngung (100kg K/ha/2a)	33,88 kg CO ₂ e/ha/a
Pflanzenschutz	98,99 kg CO ₂ e/ha/a
Pflegemaßnahmen	219,80 kg CO ₂ e/ha/a
Erntemaschine	770,70 kg CO ₂ e/ha/a
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	71,21 kg CO ₂ e/ha/a
Land Use Change	0 kg CO ₂ e/ha/a
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-197,85 kg CO ₂ e/ha/a
Farm Carbon Footprint (bis Ernte)	2.307 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse (Sortierung und Schockkühlung)	602 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	2.909 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	0,414 kg CO ₂ e/kg Spargel
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	0,442 kg CO ₂ e/kg Spargel

6.2.6 Vermarktung von Spargel (Großbetrieb)

Da der Spargel vom gleichen Betrieb vermarktet wird wie der nicht beheizte Spargel, waren auch in diesem Bereich keine Unterschiede feststellbar. Daher gelten die gleichen Angaben wie in Kapitel 6.1.6.

6.2.7 Verbrauchsphase des Spargels (Großbetrieb) beim Konsumenten

Die Verbrauchsphase, in der der Konsument mit dem Produkt in Berührung kommt, ist beim Spargel unabhängig vom Anbauverfahren immer gleich. Daher gelten die Werte aus Kapitel 6.1.7.

6.2.8 Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)

Der Product Carbon Footprint für Spargel, der auf dem Großbetrieb ohne Heizsystem angebaut wurde, betrug 0,815 kg CO₂e/kg Spargel (Tab. 31).

Tabelle 31: Carbon Footprint von Spargel (Großbetrieb)

	Carbon Footprint (kg CO₂e/kg)
Farm Carbon Footprint	0,329
B2B Carbon Footprint	0,414
Vermarktung über Groß- und Einzelhandel	0,096
Verbrauchsphase	0,305
B2C Carbon Footprint (PCF)	0,815

6.3 Primärdaten zum Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)

Die Primärdaten des nun beschriebenen Anbauverfahrens stammten im Vergleich zum Großbetrieb von einem kleinen Gemüsebaubetrieb, der im Nebenerwerb Spargel produziert. Der Betrieb hat 1,5 ha Spargelfläche im Großraum Bonn und ist für eine PCF Berechnung interessant, weil es im Vergleich zu den anderen Spargelanbauverfahren hier sowohl im Anbau, als auch in der Vermarktung einige Unterschiede gab.

6.3.1 Anlegen der Spargeldauerkultur (Nebenerwerb)

Auf einer Fläche von 1,5 ha wurde der Spargel nach den Grundsätzen der integrierten Produktion (IP) erzeugt. Das einjährige Pflanzmaterial stammte von einem Jungpflanzenproduzenten aus den Niederlanden (150 km Entfernung). Pro ha wurden 25.000 Pflanzen im für den Spargel üblichen Dammanbau kultiviert. Die insgesamt 37.500 Spargelpflanzen wurden mit einer LKW Fahrt ohne Rückfracht zum Spargelbetrieb geliefert. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 30 Litern Diesel und der doppelten Strecke (Hin- und Rückfahrt) konnten 90 Liter Diesel für die Pflanzenlieferung (1,5 ha) ermittelt werden. Die Verpackung der Jungpflanzen bestand ausschließlich aus Mehrwegtransportboxen und wurde daher in der PCF Analyse nicht berücksichtigt.

Vor dem Pflanzen wurde die Fläche einmal tiefgründig bearbeitet (Tiefgrubber) und danach durch ein Lasergestütztes Systems eingeebnet. Nach diesem Arbeitsschritt wurden die Pflanzen mit einer speziellen Pflanzmaschine (50 Liter Diesel/ha) gesetzt. Im Pflanzjahr (Jahr 0) konnte noch kein Spargel geerntet werden. Im 1. Jahr lag der Ertrag nach der Sortierung bei 1,5 t/ha, im 2. Jahr bei 3 t/ha und im dritten Jahr konnte der Vollertrag von 7,65 t/ha geerntet werden.

Unter kalkulatorischer Einbeziehung des Pflanzjahres konnte in 10 von 11 Jahren geerntet werden. Zur Abdeckung der Dämme wurde ab dem 1. Ertragsjahr die gleiche 150er LDPE-Spargeltaschenfolie ausgelegt. Die Nutzungsdauer der Folien lag wieder bei 7 Jahren. Unter Berücksichtigung der Erneuerung und Weiternutzung nach 7 Jahren konnte so die Aufwandmenge an LDPE-Kunststoff für den Spargelanbau ermittelt werden (Tab. 32).

Tabelle 32: Carbon Footprint für das Anlegen der Spargelkultur (Nebenerwerb)

	Primärdaten	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Pflanzenlieferung	60 L Diesel/ha	185,76
Verpackungsmaterialien (Pflanzenlieferung)	Mehrweg	entfällt
Tiefgründige Bodenbearbeitung	15 L Diesel/ha	46,44
Pflanzmaschine	50 L Diesel/ha	154,80
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (7 Jahre Nutzungsdauer)	1.093 kg LDPE/ha	2.329
150er LDPE-Spargeltaschenfolie (für 10 Jahre bei Erneuerung und Weiternutzung)	n/a	3.327
Einmalige Produktionsfaktoren (gesamt)	n/a	3.714
Jährliche Emissionen bei 11 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	337,64

n/a = nicht angegeben

6.3.2 Aufbaudüngung und jährliche Kulturmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)

Die Aufbaudüngung erstreckte sich bei diesem Anbauverfahren über 3 Jahre (Pflanzjahr, 1. und 2. Standjahr). In diesen drei Jahren wurden jeweils 180 kg N/ha in Form von EntecPerfect (15% N, 20% K₂O, 5% P₂O₅) ausgebracht, der den Nitrifikationshemmer DMPP (Dimethylpyrazolphosphat) enthält und nach Weiske (1999) die Lachgasemissionen auf dem Feld um bis zu 49% senken kann. Ab dem dritten Standjahr reduzierten sich die Düngergaben auf 80 kg N/ha/a. Der verwendete Dünger war Entec (26% N), dem ebenfalls der Nitrifikationshemmer DMPP beigesetzt ist (Tab. 33).

Tabelle 33: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Spargel (Nebenerwerb)

	Düngemenge (Düngemittel)	CO₂e Emissionen Herstellung	N₂O Emissionen* (inkl. 49% N₂O Reduktion durch DMPP)	CO₂e Emissionen resultierend aus N₂O Emissionen	Carbon Footprint
Aufbaudüngung (0.,1.und 2. Jahr)	180 kg N/ha/a (EntecPerfect)	1.345 kg CO ₂ e/ha	0,76kg N ₂ O/ha/a	225,70 kg CO ₂ e ha/a	1.600 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung (gesamt) (0.+1.+2. Jahr)	540 kg N/ha (EntecPerfect)	4.034 kg CO ₂ e/ha	2,27 kg N ₂ O/ha/3a	677,10 kg CO ₂ e ha/3a	4.710 kg CO ₂ e/ha/3a
Aufbau Düngung (berechnet auf 11 Jahre)	n/a	366,70 kg CO ₂ e/ha	0,26 kg N ₂ O/ha/a	61,55 kg CO ₂ e ha/a	428,26 kg CO ₂ e/ha/a
Ab dem 2. Jahr	80 kg N/ha/a (Entec 26)	639,20 kg CO ₂ e/ha	0,34 kg N ₂ O/ha/a	100,30 kg CO ₂ e ha/a	739,50 kg CO ₂ e/ha/a
Jährliche Emissionen (gesamt)	entfällt	771,20 kg CO ₂ e/ha	0,76 kg N ₂ O/ha	225,74 kg CO ₂ e/ha	1.167 kg CO ₂ e/ha/a

* N₂O-Werte basieren auf 0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs (Kuikman et al., 2006)

n/a = nicht angegeben

Zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten, Schädlingen oder Unkräutern in der Spargelanlage wurden bei diesem Anbausystem jährlich 7 Behandlungen durchgeführt (2 mal Herbizid, 3 mal Fungizid, 2 mal Insektizid) (Tab. 34).

Tabelle 34: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)

Pflanzenschutzmaßnahme (Häufigkeit)	Carbon Footprint bei einmaliger Anwendung* (kg CO₂e/ha/a)	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Herbizid (2 mal)	49,25	98,50
Fungizid (3 mal)	22,72	68,20
Insektizid (2 mal)	2,15	4,30
7 PSM Applikationen (gesamt)	n/a	171

*PCF der PSM nach Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz
n/a = nicht angegeben

Die jährlich wiederkehrenden landwirtschaftlichen Pflegemaßnahmen der Spargeldauerkultur setzten sich aus dem Häckseln, der mechanischen Unkrautbekämpfung, dem Dämme-Fräsen, dem Nachdämmen, dem Abdämmen, der Düngung zusammen mit dem Aufziehen, den Pflanzenschutzapplikationen, dem Winterdamm-Fräsen und dem Winterdamm-Durchfräsen zusammen. Zusätzlich wurde in diesem Anbauverfahren eine Gründüngung vorgenommen. Dieser Arbeitsschritt enthielt zum Einen das Einsäen der Leguminosen sowie das spätere Häckseln und Einarbeiten beim Fräsen (Tab. 35).

Tabelle 35: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Spargel (Nebenerwerb)

Arbeitsschritt (Häufigkeit)	Dieserverbrauch bei einmaliger Bearbeitung* (L/ha)	Gesamt Dieserverbrauch bei Heizspargel (L/ha)	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Häckseln (2 mal)	10	20	61,9
Mechanische Unkrautbekämpfung (2 mal)	6	12	37,1
Dämme Fräsen (1 mal)	10	10	31,0
Nachdämmen (1 mal)	3	3	9,3
Abdämmen (1 mal)	6	6	18,6
Gründüngung einsäen (1 mal)	5	5	15,5
Düngen + Aufziehen (1 mal)	7	7	21,6
PSM Applikation (7 mal)	1	7	21,6
Winterdamm Fräsen (1 mal)	10	10	31,0
Winterdamm Durchfräsen (1 mal)	10	10	31,0
Gesamt	n/a	90	278,6

* Dieserverbrauch nach KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005)

n/a = nicht angegeben

6.3.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Nebenerwerb)

Die klimaschädlichen Emissionen, die durch den Land Use Change verursacht wurden, gelten äquivalent zu Kapitel 6.1.3 auch für dieses Anbauverfahren. Die optionale Gutschrift, die aus der Abfuhr des Ernteproduktes mit dem Biogenic Carbon resultierte, führte aufgrund der unterschiedlichen Erntemenge jedoch zu einer geringeren CO₂e-Gutschrift durch das Biogenic Carbon (Tab. 36).

Tabelle 36: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Spargel (Nebenerwerb)

	Emissionen
Emissionen resultierend aus dem LUC	0 kg CO ₂ e/ha/a
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Tonne Spargel	28,2 kg CO ₂ e/t
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Fläche	169,2 kg CO ₂ e/ha/a

6.3.4 Spargelernte und Nachernteprozesse (Nebenerwerb)

Die Ernte des Spargels wurde im Gegensatz zum Großbetrieb ausschließlich per Hand, d.h. ohne maschinelle Unterstützung durchgeführt. Hierzu wurde die Folie ohne weitere Hilfsmittel beiseitegelegt und der Spargel mit dem speziellen Spargelstecher geerntet. Die THG Emissionen, die mit der Ernte einhergehen, stammten daher nur vom Transport der Arbeiter und des geernteten Spargels. Die Spargelernte erstreckte sich im Schnitt über 50 Tage. Die Entfernung zwischen Hof und Spargelanlage betrug 3 Kilometer. Bei 4 Fahrten am Tag mussten so pro Erntesaison 1.200 km für 1,5 ha Spargelanbaufläche zurückgelegt werden, wenn jeden Tag geerntet wurde. Als Transportmittel diente ein 40 PS Schlepper mit einem Verbrauch von 7 Liter Diesel/100 km. Der Dieserverbrauch für die Ernte lag somit bei 56 Liter Diesel/ha.

Der Energieverbrauch für die Sortierung und Schockkühlung nach der Ernte auf dem Hof wurde vom Betriebsleiter mit 7.000 kWh/Erntesaison beziffert. Pro Hektar belief sich der Energieaufwand für die Nachernteprozesse somit auf 4.667 kWh/ha/a (Tab. 37).

Tabelle 37: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Spargel (Nebenerwerb)

Prozess	Energieverbrauch Spargel	Energieverbrauch für 1 ha Spargel	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Ernte per Hand	entfällt	entfällt	0
Transport Arbeiter und Spargel zum/vom Feld	84 L Diesel/Jahr	56 L Diesel/ha/a	173,38
Sortierung und Schockkühlung	7.000 kWh/Jahr	4.667 kWh/ha/a	2.809

6.3.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)

Für die Anbauphase lassen sich die Ergebnisse - wie in Tabelle 38 abgebildet - zusammenfassen. Der FCF für den Nebenerwerbsbetrieb betrug 1.959 kg CO₂e/ha/a. Mit der energieintensiven Nachernte erhält man den B2B Carbon Footprint von 4.768 kg CO₂e/ha/a. Bezieht man den B2B Carbon Footprint auf die durchschnittliche Erntemenge von 6 t/ha, erhält man den B2B Carbon Footprint für ein Kilogramm verkaufsfertigen Spargel ab Hof.

Tabelle 38: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)

	Carbon Footprint
Anlegen der Spargelkultur - einmalige Faktoren	337,64 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung (180 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	366,71 kg CO ₂ e/ha/a
Aufbaudüngung - Lachgasemissionen	61,55 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 3. Jahr (80 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	639,20 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung ab dem 2. Jahr - Lachgasemissionen	100,30 kg CO ₂ e/ha/a
Pflanzenschutz	171 kg CO ₂ e/ha/a
Pflegemaßnahmen	278,60 kg CO ₂ e/ha/a
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	173,38 kg CO ₂ e/ha/a
Land Use Change	0 kg CO ₂ e/ha/a
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-169,20 kg CO ₂ e/ha/a
Farm Carbon Footprint (bis Ernte)	1.959 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse (Sortierung und Schockkühlung)	2.809 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	4.768 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	0,795 kg CO ₂ e/kg Spargel
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	0,823 kg CO ₂ e/kg Spargel

6.3.6 Vermarktung von Spargel (Nebenerwerb)

Der Nebenerwerbsbetrieb vermarktete statt über den LEH über ein eigenes Vermarktungssystem; es wurde jeweils ein Drittel des Spargels über Wochenmärkte, über regionale Hofläden und ab Hof verkauft. Bei der Vermarktung wurden ausschließlich Mehrwegkisten (Europool 004) verwendet; beim Ab-Hofverkauf entfielen die Transportdistanzen. Die Wochenmärkte wurden im Durchschnitt an 24 Tagen angefahren.

Hierzu wurde mit einem Transporter (8 Liter Diesel/100km) jeweils eine Rundtour mit einer Distanz von 30 km zurückgelegt. Der Dieselverbrauch für diesen Vermarktungsweg betrug 57,6 Liter. Bei der Vermarktung über regionale Hofläden wurden 40 Tage jeweils 20 km mit einem PKW (8 Liter Benzin/100km) zurückgelegt und somit ein Benzinverbrauch von 64 Litern ermittelt (Tab. 39).

Tabelle 39: Carbon Footprint für die Vermarktung von Spargel (Nebenerwerb)

Vermarktungsprozess	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO₂e/kg)
Verpackung (100% Mehrweg)	5 kg Europool 004	0
Ab-Hof Verkauf (1/3 der Erntemenge)	entfällt	0
Wochenmärkte (1/3 der Erntemenge)	57,6 L Diesel	9
Regionale Hofläden (1/3 der Erntemenge)	64 L Benzin	10
Vermarktung (gesamt)	entfällt	19

6.3.7 Verbrauchsphase des Spargels (Nebenerwerb) beim Konsumenten

Die Gebrauchsphase des Spargels beim Konsumenten begann mit dem Spargeleinkauf und der damit verbundenen Einkaufsfahrt. Je nachdem, wo und wie der Spargel gekauft wurde, unterschieden sich die Emissionen für die Einkaufsfahrt. Beim Ab-Hofverkauf wurde durch Befragung ermittelt, dass der Warenkorb aus 1,5 kg Spargel bestand. Nachweislich 75% der Käufer tätigten dabei ihren Einkauf auf der Durchfahrt. Die Kunden, die extra zum Hofladen fuhren, nahmen dafür im Schnitt eine Distanz von 8 km (Hin und Rückfahrt 16 km) in Kauf. Somit fuhr bei der Vermarktung ab Hof im Schnitt jeder Kunde 4 km. Bei einem durchschnittlichen PKW (247 g CO₂e/km inkl. Vorkette) führte dies unter Berücksichtigung der Einkaufsmenge zu 658,7 g CO₂e/kg Spargel. Bei der Vermarktung über die Wochenmärkte wurde wie bei der Vermarktung über den LEH ein Warenkorb von insgesamt 20 kg Gesamteinkauf mit einem Kilogramm Spargel angesetzt (Blanke, 2005) und führte so zu 123,5 g CO₂e/kg Spargel. Kauften die Kunden ihren Spargel bei regionalen Hofläden, lag der Warenkorb bei insgesamt 5 kg und enthielt ein Kilogramm Spargel. Für die Distanz der Einkaufsfahrt wurden wie bei der Vermarktung ab Hof 4 km angenommen. Bei dem entsprechenden Warenkorb resultierte dies in 197,6 g CO₂e/kg Spargel für den Einkauf bei regionalen Hofläden (Tab. 40).

Für die Gebrauchsphase beim Konsumenten zu Hause wurden für die Lagerung im Kühlschrank und die Zubereitung die gleichen Werte wie in Kapitel 6.1.7 verwendet.

Tabelle 40: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Spargel

Verbrauchsphase beim Konsumenten	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO ₂ e/kg)
Einkaufsfahrt Ab-Hof Verkauf	1,5 kg Spargel / 1,5 kg Warenkorb Distanz: 4 km	658,7
Einkaufsfahrt Wochenmärkte	1 kg Spargel / 20 kg Warenkorb Distanz: 10 km	123,5
Einkaufsfahrt regionale Hofläden	1 kg Spargel / 5 kg Warenkorb	197,6
Gesamt Einkaufsfahrt	1/3 ab Hof, 1/3 Wochenmärkte, 1/3 regionale Hofläden	326
Lagerung im Kühlschrank	24 h Lagerung im Kühlschrank	24
Zubereitung des Spargels	261 Wh/kg Heizspargel	157,5
Entsorgung	entfällt	0
Verbrauchsphase (gesamt)	entfällt	507,5

6.3.8 Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)

Bei diesem Spargelanbauer, der den Spargel im Nebenerwerb produzierte, lag der PCF bei 1,322 kg CO₂e/kg verkaufsfertigem Spargel (Tab. 41).

Tabelle 41: Carbon Footprint von Spargel (Nebenerwerb)

	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/kg)
Farm Carbon Footprint	0,326
B2B Carbon Footprint	0,795
Vermarktung	0,019
Verbrauchsphase	0,508
B2C Carbon Footprint (PCF)	1,322

6.4 Vergleich des Carbon Footprints bei Spargel

In diesem Kapitel wurden die Ergebnisse der drei Spargelanbauverfahren verglichen. Der Carbon Footprint unterschied sich je nach Intensität des Anbauverfahrens. In Tabelle 42 wurde zwischen dem Farm Carbon Footprint, dem B2B Carbon Footprint nach PAS 2050-1 und dem B2C Carbon Footprint oder PCF nach PAS 2050:2012 unterschieden. Alle Angaben beziehen sich auf ein Kilogramm verkaufsfertigen Spargel. Am umweltfreundlichsten war der Spargel des Großbetriebes ohne Heizsystem, gefolgt vom Spargel aus dem Nebenerwerbsbetrieb und dem Spargel vom Großbetrieb mit Heizsystem (Tab. 42).

Tabelle 42: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse aller Spargelanbauverfahren

	Heizspargel (kg CO₂e/kg)	Spargel (Großbetrieb) (kg CO₂e/kg)	Spargel (Nebenerwerb) (kg CO₂e/kg)
FCF	1,080	0,329	0,326
B2B	1,169	0,414	0,795
B2C (PCF)	1,570	0,815	1,322

6.5 Primärdaten zum Carbon Footprint von Heizrhabarber

Der Anbau von Rhabarber, bei dem im Frühjahr durch ein Heizsystem die Bodentemperatur angehoben werden kann, ist eher selten. Das Heizsystem diene in Verbindung mit verschiedenen Gewächshaustunnelsystemen dazu, den Rhabarber früher vermarkten zu können. Den Zeitpunkt für die Inbetriebnahme der Bodenheizung kann der Anbauer selber wählen. Hierbei spielen verschiedene Faktoren wie zum Beispiel die erwarteten Witterungsbedingungen eine Rolle.

6.5.1 Anlegen der Heizrhabarberdauerkultur

Die betrachtete Heizrhabarberanlage hatte eine Fläche von 3 ha. Das Pflanzmaterial stammte aus dem eigenen Betrieb und wurde durch eigene vegetative Vermehrung gewonnen. Vor dem Pflanzen wurde die Fläche zunächst tiefgründig bearbeitet und für den Pflanzvorgang vorbereitet. Hierzu wurde ein mal gepflügt (23 Liter Diesel/ha), dann ein mal gegrubbert (15 Liter Diesel/ha) und am Ende noch mit einer Cambridge Walze planiert (3 Liter Diesel/ha). Um die Pflanzen zum Feld zu transportieren (6 km), waren drei Fahrten pro ha nötig (1,5 Liter Diesel/pro Fahrt). Die Verbrauchswerte entstammen den KTBL-Faustzahlen für die Landwirtschaft (2005). Das Pflanzen und gleichzeitige Verlegen eines Heizschlauchs pro Reihe wurde manuell durchgeführt. Insgesamt wurden 9 km Heizschlauch pro ha verlegt. Nach dem Pflanzen wurden zwei verschiedene Tunnelsysteme aufgebaut. Fünfzig Prozent der Fläche kamen unter ein Tunnelsystem mit einfacher Pilzhausfolie (LDPE 150er Dicke) und 50% erhielten ein Doppeltunnelsystem, das neben der äußeren Gewächshausfolie (LDPE 150er Dicke) noch aus einer dünnen schwarzen Folie (LDPE 30er Dicke) im Inneren bestand. Aus der Gesamtfläche der verwendeten Folie (1,5 ha Pilzhausfolie/ha, 1,7 ha Gewächshausfolie/ha, 1,5 ha Innenfolie/ha) und dem spezifischen Gewicht der Folien konnte so die eingesetzte LDPE-Kunststoffmenge ermittelt werden (Tab. 43). Die Stangensysteme der Gewächshaustunnel gelten nach PAS2050-1 als 'Capital Goods' und wurden daher nicht in die Analyse aufgenommen. Die Nutzungsdauer der Folien erstreckte sich über die gesamte Standdauer der Anlage, die vom Betriebsleiter mit 7 Jahren (Pflanzjahr + 6 Erntejahre) angegeben wurde. Im Pflanzjahr konnte der Rhabarber nicht beerntet werden. Im 1. Jahr war ein Ernteertrag in Höhe eines Drittels des Vollertrags (12,3 t/ha) zu verzeichnen und ab dem 2. Erntejahr wurde der Vollertrag (37 t/ha) geerntet. Für das gesamte Anlegen der beheizten Rhabarberdauerkultur kommt man auf 8.091 kg CO₂e/ha. Rechnet man dies auf die 7 Jahre Nutzungsdauer um, werden dem Carbon Footprint des Rhabarbers jährlich 1.156 kg CO₂e/ha angerechnet.

Tabelle 43: Carbon Footprint für das Anlegen der Heizrhabarberkultur

	Primärdaten	Carbon Footprint
Tiefgründige Bodenbearbeitung, Walzen und Transport des Pflanzmaterials	45,5 L Diesel/ha	140,87 kg CO ₂ e/ha
Pflanzen und Verlegen des Heizschlauchs	Manuell	0 kg CO ₂ e/ha
PE-Mix Heizschlauch	1.240 kg PE Mix/ha	2.536 kg CO ₂ e/ha
50% der Fläche mit 150er LDPE-Pilzhausfolie (7 Jahre Nutzungsdauer)	3.186 kg LDPE/3 ha	6.786 kg CO ₂ e/3ha
	1.062 kg LDPE/ha	2.262 kg CO ₂ e/ha
50% der Fläche mit 150er LDPE-Gewächshausfolie (7 Jahre Nutzungsdauer)	3.610 kg LDPE/3 ha	7.691 kg CO ₂ e/3ha
	1.203 kg LDPE/ha	2.564 kg CO ₂ e/ha
30er LDPE-Folie (innerer Tunnel, schwarz, 7 Jahre Nutzungsdauer)	828 kg LDPE/3 ha	1.764 kg CO ₂ e/3ha
	276 kg LDPE/ha	587,88 kg CO ₂ e/ha
LDPE-Folien (gesamt)	2.541 kg LDPE/ha	5.413 kg CO ₂ e/ha
LDPE-Folien bei 7 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	773,29 kg CO ₂ e/ha/a
Einmalige Produktionsfaktoren (gesamt)	n/a	8.091 kg CO ₂ e/ha
Jährliche Emissionen bei 7 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	1.155 kg CO ₂ e/ha

n/a = nicht angegeben

6.5.2 Jährliche Kulturmaßnahmen bei Heizrhabarber

Beim Rhabarber sind keine besonderen Düngemaßnahmen im Pflanzjahr oder den ersten Standjahren erforderlich. Die Düngung lag jährlich bei 100kg N/ha (KAS) und alle zwei Jahre wurden 70 kg K/ha ausgebracht. Der Kalkammonsalpeter wurde in zwei einzelnen Gaben ausgebracht; alle zwei Jahre wurde gleichzeitig mit einer der Stickstoffgaben auch das Kalium ausgebracht. Durch die jährlichen Düngemaßnahmen wurden insgesamt 1.073 kg CO₂e/ha/a einschließlich der Lachgasemissionen verursacht (Tab. 44).

Tabelle 44: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Heizrhabarber

	Düngemenge (Düngemittel)	CO₂e Emissionen Herstellung	N₂O Emissionen*	CO₂e Emissionen resultierend aus N₂O Emissionen	Carbon Footprint
Stickstoffdüngung	100 kg N/ha/a (KAS)	803 kg CO ₂ e	0,825 kg N ₂ O/ha/a	245,85 kg CO ₂ e ha/a	1.049 kg CO ₂ e/ha/a
Kaliumdüngung	70 kg K/ha/2a (40er Korn- kali)	47,43 kg CO ₂ e/ha/2a 23,72 kg CO ₂ e/ha/a	entfällt	entfällt	23,72 kg CO ₂ e/ha/a
Jährliche Emissionen (gesamt)	entfällt	826,72 kg CO ₂ e/ha/a	0,825 kg N ₂ O/ha/a	245,85 kg CO ₂ e/ha/a	1.073 kg CO ₂ e/ha/a

* N₂O-Werte basieren auf 0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs (Kuikman et al., 2006)

Im Bereich Pflanzenschutz war bei den Rhabarberkulturen nur eine Behandlung mit einem Herbizid nötig. Hiermit wurde jährlich einmal die Verunkrautung der Anlagen eingedämmt und entsprechende Unkräuter bekämpft (Tab. 45).

Tabelle 45: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Heizrhabarber

Pflanzenschutzmaßnahme (Häufigkeit)	Carbon Footprint bei einmaliger Anwendung* (kg CO₂e/ha)	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Herbizid (1 mal)	47,16	47,16
Fungizid (0 mal)	3,20	0
Insektizid (0 mal)	361,53	0
1 PSM Applikation (gesamt)	n/a	47,16

*PCF der PSM nach Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz
n/a = nicht angegeben

Bei den jährlichen Kultur- und Pflegemaßnahmen fielen bei diesem extensiven Anbau von Rhabarber nur wenige Arbeitsschritte an. Neben der zweimaligen Ausbringung von Dünger und der einmaligen Pflanzenschutzmittelapplikation wurde die gesamte Fläche noch einmal gehäckselt. Insgesamt führte der Dieserverbrauch zu 40,25 kg CO₂e/ha/a (Tab. 46).

Tabelle 46: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Heizrhabarber

Arbeitsschritt (Häufigkeit)	Dieserverbrauch bei einmaliger Bearbeitung* (L/ha)	Gesamt Dieserverbrauch bei Heizrhabarber (L/ha)	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Häckseln (1 mal)	10	10	30,96
Düngen (2 mal)	1	2	6,19
PSM Applikation (7 mal)	1	1	3,10
Gesamt	n/a	13	40,25

* Dieserverbrauch nach KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005)

n/a = nicht angegeben

Das Heizsystem bei der Rhabarberanlage wurde mit Fernwärme betrieben. Die Wärmeenergie stammte von einem Kraftwerk zur Stromerzeugung. Bevor das warme Wasser zu den Rhabarberflächen geleitet wurde, diente es einem größeren Häuserkomplex als Warmwasser zum Heizen, die Restwärme reichte für das Erwärmen der Rhabarberflächen aus. Da es sich um Abwärme handelte, floss die hier verwendete Energie nicht in den Carbon Footprint des Heizrhabarbers mit ein. Die entstandenen Kohlenstoffdioxid-Emissionen konnten vollständig der Stromerzeugung angerechnet werden. Da das warme Wasser bereits mit einem ausreichenden Druck in den Leitungen an den Rhabarberflächen ankam, musste hier auch keine Energie für die Pumpen aufgewendet werden.

6.5.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Rhabarber

Da im verwendeten Excel-Tool zur Berechnung des Land Use Change (LUC) keine spezifischen Anbaudaten des Rhabarbers enthalten waren und auch die vorherige Nutzung der Rhabarberfläche nicht genau zu ermitteln war, wurde hier mit dem Durchschnittswert für Gemüse in Deutschland gerechnet. Das Ergebnis der Berechnung zeigte, dass in diesem Fall keine CO₂e-Emissionen aus dem LUC resultieren. Beim Biogenic Carbon ergaben sich die Werte wieder aus dem spezifischen Kohlenstoffgehalt und der durchschnittlich abgeführten jährlichen Erntemenge. Die hier beschriebenen Werte gelten für beide Rhabarberanbauverfahren gleichermaßen (Tab. 47).

Tabelle 47: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Heizrhabarber

	Emissionen
Emissionen resultierend aus dem LUC	0 kg CO ₂ e/ha/a
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Tonne Heizrhabarber	23,50 kg CO ₂ e/t
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Fläche	662,47 kg CO ₂ e/ha/a

6.5.4 Heizrhabarberernte und Nachernteprozesse

Da bei der Rhabarberernte keine Maschinen zum Einsatz kamen, ging hier nur der Transport der Erntehelfer und des geernteten Rhabarbers vom Feld zum Betrieb (einfach Distanz 5 km) in die Carbon Footprint-Analyse mit ein. Jedesmal, wenn 3 Tonnen geerntet waren, musste eine Transportfahrt (10 km) vorgenommen werden. Bei 28 t Rhabarber/ha wurden somit 10 Transportfahrten/ha durchgeführt. Das Transportfahrzeug hatte einen Dieserverbrauch von 8 Litern auf 100 km.

Der Rhabarber wurde zudem direkt beim Ernten verkaufsfertig aufbereitet, sodass keinerlei Nacherntemaßnahmen anfielen (Tab. 48).

Tabelle 48: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Heizrhabarber

Prozess	Energieverbrauch für 1 ha Heizrhabarber	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Ernte per Hand	entfällt	0
10 Transportfahrten für Arbeiter und Rhabarber/ha	8 Liter Diesel/ha	24,77
Nachernte	entfällt	0

6.5.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizrhabarber

Beim Heizrhabarber war der Farm Carbon Footprint aufgrund der nicht vorhandenen Nacherntemaßnahmen gleich dem B2B Carbon Footprint. Dieser lag bei 1.678 kg CO₂e/ha/a oder 0,06 kg CO₂e/kg verkaufsfertigem Heizrhabarber (Tab. 49).

Tabelle 49: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Heizhaharber

	Carbon Footprint
Anlegen der Heizhaharberkultur - einmalige Faktoren	1.156 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung (100 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	803 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung - Lachgasemissionen	245,85 kg CO ₂ e/ha/a
Kalium Düngung (70 kg K/ha/2a)	23,72 kg CO ₂ e/ha/a
Pflanzenschutz	47,16 kg CO ₂ e/ha/a
Pflegemaßnahmen	40,25 kg CO ₂ e/ha/a
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	24,77 kg CO ₂ e/ha/a
Land Use Change	0 kg CO ₂ e/ha/a
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-662,47 kg CO ₂ e/ha/a
Farm Carbon Footprint (bis Ernte)	1.678 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse	0 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	1.678 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	0,06 kg CO ₂ e/kg Heizhaharber
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	0,09 kg CO ₂ e/kg Heizhaharber

6.5.6 Vermarktung von Heizhaharber

Der Heizhaharber wurde komplett über den Großhändler Landgard vermarktet. In Mehrwegkisten wurde er zunächst vom Hof des Anbauers zu Landgard transportiert. Für die durchschnittliche Erntemenge von 84,5 t (3 ha) waren insgesamt 22 Touren mit jeweils ca. 4 t Heizhaharber nötig. Die Distanz, die überwunden werden musste, lag bei zwei mal 20 km (Hin- und Rückfahrt). Das Fahrzeug hatte einen Verbrauch von 12 Litern Diesel auf 100 km. Somit ergab sich ein Dieserverbrauch von 105,6 Litern für die gesamte Erntemenge von 84,5 t (Tab. 50).

Für die weitere Vermarktung über den Lebensmitteleinzelhandel wurden die gleichen Werte wie in Kapitel 6.1.6 verwendet. Der Transport zum Distributionszentrum der LEHs lag bei 13,6 g CO₂e/kg Heizhaharber, und der Transport zur Filiale des LEHs wurde mit 16,96 g CO₂e/kg Heizhaharber angenommen. Diese Form der Vermarktung resultierte in 34,5 g CO₂e/kg Heizhaharber (Tab. 50).

Tabelle 50: Carbon Footprint für die Vermarktung von Heizrhabarber

Vermarktungsprozess	Primärdaten	Carbon Footprint bei Heizrhabarber (g CO ₂ e/kg)
Verpackung (100% Mehrweg)	5 kg Europool 004 Kisten	0
Transport zu Landgard	22 Fahrten = 880 km 105,6 L Diesel/84,5 t Heizrhabarber	3,9
Transport zum Distributionszentrum	200 km 40 t LKW 68 g CO ₂ e/t/km	13,6
Transport zum LEH	160 km 12-24 t LKW 106 g CO ₂ e/t/km	17,0
Vermarktung (gesamt)	entfällt	34,5

6.5.7 Verbrauchsphase des Heizrhabarbers beim Konsumenten

Für die Einkaufsfahrt wurde wieder der Standardansatz von Blanke (2005) mit einem Warenkorb von 20 kg mit 1 kg Heizrhabarber und zwei mal 5 km Fahrstrecke gewählt. Beim Konsumenten zu Hause wurde der Rhabarber ohne Kühlung gelagert oder direkt zubereitet. Der Heizrhabarber fand beim Konsumenten entweder für Kuchen oder sonstige Speisen Verwendung. Für die Zubereitung wurde derselbe Energieaufwand wie beim Kochen von Spargel angenommen (Tab. 51).

Tabelle 51: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase bei Heizrhabarber

Verbrauchsphase beim Konsumenten	Primärdaten	Carbon Footprint bei Heizrhabarber (g CO ₂ e/kg)
Einkaufsfahrt LEH	1 kg Heizrhabarber/20 kg Warenkorb Distanz: 10 km	123,5
Zubereitung des Heizrhabarbers	261 Wh/kg Heizrhabarber	157,5
Entsorgung	entfällt	0
Verbrauchsphase (gesamt)	entfällt	281,0

6.5.8 Carbon Footprint von Heizrhabarber

Der Product Carbon Footprint (PCF) des Heizrhabarbers betrug 374 g CO₂e/kg Heizrhabarber. Er setzt sich zusammen aus dem B2B Carbon Footprint und dem Carbon Footprint der Vermarktung sowie der Verbrauchsphase beim Konsumenten (Tab. 52).

Tabelle 52: Carbon Footprint von Heizrhabarber

	Carbon Footprint bei Heizrhabarber (kg CO ₂ e/kg)
Farm Carbon Footprint	0,060
B2B Carbon Footprint	0,060
Vermarktung über Groß- und Einzelhandel	0,035
Verbrauchsphase	0,281
B2C Carbon Footprint (PCF)	0,374

6.6 Primärdaten zum Carbon Footprint von Rhabarber

Das Standardanbauverfahren für Rhabarber als Dauerkultur wurde im Gegensatz zum vorher beschriebenen Verfahren ohne ein spezielles Heizsystem betrieben. Außerdem wurden hier keinerlei Maßnahmen zur Verfrühung wie beispielsweise Folientunnel verwendet. Ein kleiner Teil der Flächen wurde zur Eindämmung der Verunkrautung mit Lochfolie ausgestattet. Im Vergleich zum Heizrhabarberanbau ist dieses Verfahren als ein eher extensives einzuordnen.

6.6.1 Anlegen der Rhabarberdauerkultur

Die Rhabarberfläche des hier beschriebenen Anbauverfahrens betrug 12 ha. Die Standdauer der Anlage belief sich inklusive des Pflanzjahres auf 7 Jahre. Der Ertrag lag im ersten Erntejahr nach dem Pflanzjahr bei ca. einem Drittel des Vollertrags, der ab dem 2. Erntejahr erreicht werden konnte. Auf die Gesamtstanddauer der Anlage umgerechnet konnte ein Ertrag von 28 t Rhabarber pro Jahr geerntet werden. Die vorbereitenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen vor dem manuellen Pflanzen und der Transport der Jungpflanzen zu den Flächen waren äquivalent zu denen der Heizrhabarberanlage. Das Pflanzmaterial konnte aus dem eigenen Bestand durch Selbstvermehrung gewonnen werden. Zehn Prozent der Freilandrhabarberkultur (1,2 ha) wurden zur Erprobung mit einer LDPE-Lochfolie (100er Dicke) gegen Verunkrautung geschützt. Die einzelnen Faktoren und der Carbon Footprint für das Anlegen der Rhabarberdauerkultur wurden auf die gesamte Standdauer umgerechnet und dem jährlichen Carbon Footprint angerechnet (Tab. 53).

Tabelle 53: Carbon Footprint für das Anlegen der Rhabarberkultur

	Primärdaten	Carbon Footprint
Tiefgründige Bodenbearbeitung, Walzen und Transport des Pflanzmaterials	45,5 L Diesel/ha	140,87 kg CO ₂ e/ha
Pflanzen	Manuell	0 kg CO ₂ e/ha
100er LDPE-Lochfolie (Nutzungsdauer 7 Jahre, 10% der Rhabarberfläche)	930,6 kg LDPE/12ha	1.982 kg CO ₂ e/3ha
	77,55 kg LDPE/ha	165,18 kg CO ₂ e/ha
LDPE-Lochfolie (für 7 Jahre Nutzungsdauer)	11,08 kg LDPE/ha	23,60 kg CO ₂ e/ha/a
Einmalige Produktionsfaktoren (gesamt)	n/a	306,04 kg CO ₂ e/ha
Jährliche Emissionen bei 7 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	43,72 kg CO ₂ e/ha

n/a = nicht angegeben

6.6.2 Jährliche Kulturmaßnahmen bei Rhabarber

Die Düngung lag wie beim Heizrhabarber bei 100 kg N/a, und alle zwei Jahre wurden 70 kg Kalium appliziert. Die Ausbringung erfolgte in zwei Gaben, wobei das Kalium im Zweijahresrhythmus mit einer der Stickstoffapplikationen kombiniert wurde. Die aus der Düngung resultierenden Emissionen umfassten sowohl die Emissionen, die bei der Herstellung entstanden, als auch die Lachgasemissionen als Resultat der Umwandlung des Stickstoffs im Boden (Tab. 54).

Tabelle 54: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Rhabarber

	Düngemenge (Düngemittel)	CO₂e Emissionen Herstellung	N₂O Emissionen*	CO₂e Emissionen resultierend aus N₂O Emissionen	Carbon Footprint
Stickstoffdüngung	100 kg N/ha/a (KAS)	803 kg CO ₂ e	0,825 kg N ₂ O/ha/a	245,85 kg CO ₂ e ha/a	1.049 kg CO ₂ e/ha/a
Kaliumdüngung	70 kg K/ha/2a (40er Kornkali)	47,43 kg CO ₂ e/ha/2a 23,72 kg CO ₂ e/ha/a	entfällt	Entfällt	23,72 kg CO ₂ e/ha/a
Jährliche Emissionen (gesamt)	entfällt	826,72 kg CO ₂ e/ha/a	0,825 kg N ₂ O/ha/a	245,85 kg CO ₂ e/ha/a	1.073 kg CO ₂ e/ha/a

* N₂O-Werte basieren auf 0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs (Kuikman et al., 2006)

Der eher als extensiv einzuordnende Rhabarberanbau spiegelte sich auch im Pflanzenschutz wider. Es wurde jährlich nur eine Behandlung mit einem Herbizid durchgeführt, um die Unkräuter in der Anlage zu bekämpfen (Tab. 55).

Tabelle 55: Carbon Footprint der Pflanzenschutzmaßnahmen bei Rhabarber

Pflanzenschutzmaßnahme (Häufigkeit)	Carbon Footprint bei einmaliger Anwendung* (kg CO₂e/ha/a)	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Herbizid (1 mal)	47,16	47,16
Fungizid (0 mal)	3,20	0
Insektizid (0 mal)	361,53	0
1 PSM Applikation (gesamt)	n/a	47,16

*PCF der PSM nach Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz
n/a = nicht angegeben

Beim Rhabarberanbau beschränkten sich die jährlichen Pflegemaßnahmen auf das Häckseln, das zweimalige Düngen und eine PSM-Applikation. Zusätzlich wurde im Gegensatz zum Heizrhabarber ein Viertel der Fläche (3 ha) ein zweites Mal gehäckselt, was in 47,98 kg CO₂e/ha/a resultierte (Tab. 56).

Tabelle 56: Carbon Footprint der jährlichen Kulturmaßnahmen bei Rhabarber

Arbeitsschritt (Häufigkeit)	Dieserverbrauch bei einmaliger Bearbeitung* (L/ha)	Dieserverbrauch bei Rhabarber (L/ha)	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Häckseln (1 mal)	10,	10	30,96
3 ha Häckseln bei 12 ha Gesamtfläche (1/4)	10	2,5	7,74
Düngen (2 mal)	1	2	6,19
PSM Applikation (1 mal)	1	1	3,10
Gesamt	n/a	13	47,98

* Dieserverbrauch nach KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005)

n/a = nicht angegeben

6.6.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Rhabarber

Sowohl die Emissionen, die sich aus dem Land Use Change ergeben, als auch die Kohlestoffdioxid-Gutschrift, die aus dem mit dem Ernteprodukt abgeführten Kohlenstoff (Biogenic Carbon) resultiert, werden, wie in Kapitel 6.4.3, auch bei diesem Anbauverfahren angewendet.

6.6.4 Rhabarberernte und Nachernteprozesse

Die Ernte des Rhabarbers erfolgte wie beim Heizrhabarber von Hand. Einzig der Transport der Arbeiter und des geernteten Rhabarbers waren für den Carbon Footprint in dieser Lebenszyklusphase von Bedeutung. Bei einer durchschnittlichen Erntemenge von 28 t/ha mussten inklusive einer Transportfahrt für die Arbeiter 10 Fahrten/ha unternommen werden, da mit jeder Fahrt höchstens 3 t Rhabarber abtransportiert werden konnten. Das Transportfahrzeug hatte einen Verbrauch von 8 Litern pro 100, km und die einfache Distanz zu den Flächen betrug 5 km. Somit entstanden durch den Dieserverbrauch von insgesamt 8 Litern/ha bei der Ernte 24,77 kg CO₂e/ha/a (Tab. 57).

Wie beim Heizrhabarber wurde der Rhabarber bereits auf dem Feld verkaufsfertig aufbereitet, die Ernterückstände verblieben auf der Fläche, und der Rhabarber wurde in 5 kg Mehrwegkisten verpackt und zum Hof transportiert.

Tabelle 57: Carbon Footprint der Ernte- und Nachernteprozesse bei Rhabarber

Prozess	Energieverbrauch für 1 ha Rhabarber	Carbon Footprint (kg CO ₂ e/ha/a)
Ernte per Hand	entfällt	0
10 Transportfahrten für Arbeiter und Rhabarber/ha	8 L Diesel/ha	24,77
Nachernte	entfällt	0

6.6.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Rhabarber

Bei dem beschriebenen Rhabarberanbauverfahren betrug der Farm Carbon Footprint 573,71 kg CO₂e/ha/a. Auf die durchschnittliche Erntemenge von 25 t/ha bezogen waren es 0,02 kg CO₂e/kg verkaufsfertigem Rhabarber. Da keinerlei Maßnahmen für die Nachernte ergriffen werden mussten, lag der B2B Carbon Footprint bei ebenfalls 0,02 kg CO₂e/kg verkaufsfertigem Rhabarber (Tab. 58).

Tabelle 58: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Rhabarber

	Carbon Footprint
Anlegen der Rhabarberkultur - einmalige Faktoren	43,72 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung (100 kg N/ha/a) - Herstellung der Düngemittel	803 kg CO ₂ e/ha/a
N-Düngung - Lachgasemissionen	245,85 kg CO ₂ e/ha/a
Kalium Düngung (70 kg K/ha/2a)	23,72 kg CO ₂ e/ha/a
Pflanzenschutz	47,16 kg CO ₂ e/ha/a
Pflegemaßnahmen	47,99 kg CO ₂ e/ha/a
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	24,77 kg CO ₂ e/ha/a
Land Use Change	0 kg CO ₂ e/ha/a
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-662,50 kg CO ₂ e/ha/a
Farm Carbon Footprint (bis Ernte)	573,71 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse	0 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	573,71 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	0,02 kg CO ₂ e/kg Rhabarber
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	0,05 kg CO ₂ e/kg Rhabarber

6.6.6 Vermarktung von Rhabarber

Die Vermarktung des Rhabarbers verlief über den gleichen Vermarktungsweg wie beim Heizrhabarber. Beim Transport vom Hof zum Großhändler Landgard (85 Fahrten mit 2 x 20 km Entfernung) mussten aufgrund der größeren Anbaufläche insgesamt mehr Transportfahrten durchgeführt werden. Auf die Erntemenge umgerechnet ergibt sich hier jedoch nur ein kleiner Unterschied zum Heizrhabarber (Tab. 59). Dieser Unterschied ist auf die bessere Auslastung beim Transport zurückzuführen. Die weiteren Ergebnisse für die Vermarktung des Rhabarbers sind in Kapitel 6.5.6 aufgeführt und aus Tabelle 59 zu entnehmen. Die Emissionen, die durch den Transport bei der Vermarktung verursacht werden, beliefen sich auf 34,3 g CO₂e/kg Rhabarber.

Tabelle 59: Carbon Footprint für die Vermarktung von Rhabarber

Vermarktungsprozess	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO ₂ e/kg)
Verpackung (100% Mehrweg)	5 kg Europool 004 Kisten	0
Transport zu Landgard	85 Fahrten = 3400 km 408 L Diesel/338,3 t Rhabarber	3,7
Transport zum Distributionszentrum	200 km 40 t LKW 68 g CO ₂ e/t/km	13,6
Transport zum LEH	160 km 12-24 t LKW 106 g CO ₂ e/t/km	17,0
Vermarktung (gesamt)	entfällt	34,3

6.6.7 Verbrauchsphase des Rhabarbers beim Konsumenten

Die Verbrauchsphase beim Konsumenten bestand wie beim Heizrhabarber aus der Einkaufsfahrt des Konsumenten zum Lebensmitteleinzelhändler und der Zubereitung des Rhabarbers auf der häuslichen Kochplatte. Die entsprechenden Ergebnisse und daraus resultierenden Emissionen sind in Kapitel 6.5.7 aufgeführt.

6.6.8 Carbon Footprint von Rhabarber

Der Carbon Footprint für dieses Anbauverfahren ohne Bodenheizung oder Tunnelsysteme zur Verfrüfung, belief sich auf 335 g CO₂e/kg verkaufsfertigem Rhabarber (Tab. 60).

Tabelle 60: Carbon Footprint von Rhabarber

	Carbon Footprint (kg CO₂e/kg)
Farm Carbon Footprint	0,020
B2B Carbon Footprint	0,020
Vermarktung über Groß- und Einzelhandel	0,034
Verbrauchsphase	0,281
B2C Carbon Footprint (PCF)	0,335

6.7 Vergleich des Carbon Footprints bei Rhabarber

Der Farm Carbon Footprint ist hier gleich dem B2B Carbon Footprint, da keinerlei Nacherntemaßnahmen beim Rhabarber nötig waren. Der beheizte Rhabarber hat mit 374 g CO₂e/kg Heizrhabarber einen geringfügig höheren Carbon Footprint im Vergleich zur nicht beheizten Variante mit 335 g CO₂e/kg Heizrhabarber (Tab. 61).

Tabelle 61: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse beider Rhabarberanbauverfahren

	Heizrhabarber (kg CO₂e/kg)	Rhabarber (kg CO₂e/kg)
FCF	0,060	0,020
B2B	0,060	0,020
B2C (PCF)	0,374	0,335

6.8 Primärdaten zum Carbon Footprint von Erdbeeren

Bei der Carbon Footprint-Analyse von Erdbeeren wurden zwei Anbauverfahren direkt miteinander verglichen. Es wurden zum einen der Freilandanbau (13 ha) und zum anderen der geschützte Anbau unter Haygrove-Tunneln (1,5 ha) analysiert. Als Pflanzmaterial dienten zum einen Frigopflanzen aus den Niederlanden (Freiland) und zum anderen Grünpflanzen aus Italien (geschützter Anbau mit Verfrühung). Die Standdauer der beiden Erdbeerkulturen betrug zwei Jahre.

Durch die Verwendung der aus den Niederlanden kommenden, im Herbst gerodeten, aufbereiteten, sortierten und bei -2°C eingelagerten Frigopflanzen konnte ab dem Pflanzzeitpunkt genau kalkuliert werden, wann bei den Freilanderdbeeren in Abhängigkeit vom Wetter die Ernte ab Mai beginnen konnte. Durch ein späteres Pflanzen war so auch ein späterer Erntezeitpunkt zu erreichen, und es konnten durch ein geschicktes Pflanzmanagement über einen längeren Zeitraum Erdbeeren produziert werden.

Das Pflanzmanagement setzte sich darin fort, dass ein kleiner Teil der Fläche zum Schutz und auch für eine Verfrühung des Zeitpunktes der Ernte mit einem Haygrove-Polytunnel System ausgestattet wurde.

6.8.1 Anlieferung der Pflanzen und Anlegen der Erdbeerkultur

Der Obstbaubetrieb bei Siegburg verwendete für den Freilanderdbeeranbau Frigopflanzen aus einem 150 km entfernten Jungpflanzenbetrieb in den Niederlanden (Grashoek). Die Systemgrenzen bei dem analysierten Erdbeeranbauverfahren grenzten die Analyse an dem Zeitpunkt ab, an dem die Frigopflanzen über den Winter eingefroren wurden. Die Dauer der Kühlung der Frigopflanzen bei -2°C betrug 5 Monate auf dem Jungpflanzenbetrieb. Ohne schnelles Einfrieren wurde ein Energieverbrauch von ca. 197 kWh pro Quadratmeter Kühllagerfläche für 5 Monate (153 Tage) nach Deml (Pers. Kommunikation mit Frau Deml, ADDCON Europe, 2012) berechnet. Auf einem Quadratmeter im Kühlhaus des Jungpflanzenproduzenten ließen sich bis zu 45.000 Frigopflanzen lagern. In dem Kühllager befanden sich nur Erdbeerfrigopflanzen. Für die Erdbeeranbaufläche auf dem Betrieb bei Siegburg wurden 35.000 Pflanzen im Dammanbau auf einem Hektar kultiviert. Insgesamt waren somit 455.000 Frigopflanzen für die Fläche (13 ha) dieses Betriebs erforderlich. Für 13 ha wurden 10 m^2 Lagerfläche über 5 Monate im Jungpflanzenbetrieb genutzt. Dies resultierte nach Deml, 2012 in einem Energieverbrauch von 1.970 kWh insgesamt oder 151,54 kWh/ha. Die Frigopflanzen wurden in Mehrwegkisten geliefert, so dass kein Verpackungsabfall eingerechnet werden musste. Bei der Lieferung der Frigopflanzen konnte mit einer LKW-Fahrt aus den Niederlanden (150 km) jeweils das Pflanzmaterial für einen Hektar transportiert werden. Da die Rückfahrt eine Leerfahrt war, wurden die Kilometerzahlen

verdoppelt. Insgesamt belief sich der Transport des Pflanzmaterials zum Hof auf 300 km mit einem Durchschnittsdieserverbrauch von 16,5 Litern/100 km (beladen ca. 18 L Diesel/100 km, nicht beladen ca. 15 L Diesel/100km). Für die Lieferung der 455.000 Frigopflanzen wurden somit 49,5 Liter Diesel benötigt. Da die Pflanzen nach der Lieferung sofort gepflanzt wurden, mussten sie auf dem LKW nicht gekühlt werden.

Nachdem die frisch gelieferten Pflanzen vom Hof zu den Anbauflächen transportiert worden waren, wurden sie per Hand gepflanzt. Vor dem Pflanzen erfolgte eine tiefgründig Bearbeitung (Pflügen und Grubbern) und Vorbereitung der Flächen für die Pflanzung (Kreiselegge und Dämmeziehen). Der Dieserverbrauch für diese vorbereitenden Maßnahmen sowie den Transport von 2 mal 4 km mit dem 7,5 t LKW vom Hof zum Feld belief sich nach Aussage des Betriebsleiters auf insgesamt 46,5 Liter Diesel.

In der Erdbeeranlage (Freiland) wurden eine 50er (50 µm Stärke) LDPE-Kunststoffolie (schwarz) zum Mulchen sowie ein PE-Mix Bewässerungsschlauch und ein Vlies gegen niedrige Temperaturen im Winter eingesetzt. Um die Dämme mit der 50er LDPE-Mulchfolie zu überziehen, wurden für die Reihen 6.300 m²Folie/ha benötigt. Bei einem Gewicht von 46 g/m² Folie wurden so 298,8 kg LDPE/ha verwendet. Die Länge des flexiblen PE-Mix Bewässerungsschlauchs (0,98 kg/100m) betrug 9 km/ha. Dadurch wurden 88,2 kg PE-Mix auf einem Hektar Erdbeeranbaufläche verwendet. Das weiße Polypropylen-Vlies (PP), das die Pflanzen vor zu starker Kälteeinwirkung in den Wintermonaten schützte, hatte ein Gewicht von 19g/m² Vlies und bedeckte dagegen die gesamte Anbaufläche. Die Kunststoffmenge betrug 190 kg Polypropylen/ha. Die Gesamtemissionen betragen nach Umrechnungsfaktoren von PlasticsEurope 1.566 kg CO₂e/ha für den einmaligen Aufbau der Erdbeeranlage. Da die Anlage über zwei Jahre genutzt wurde, flossen jährlich 783 kg CO₂e/ha (PlasticsEurope Eco-Profiles, 2008-2011) in den Carbon Footprint der Erdbeeren mit ein (Tab. 62).

Bei der Carbon Footprint-Analyse des geschützten Erdbeeranbaus in Haygrove-Tunneln auf 1,5 ha Fläche wurden zunächst die vorbereitenden Bodenbearbeitungsschritte erfasst. Durch die Arbeitsschritte Pflügen, Grubbern, Eggen und Dämmeziehen, das mit dem Verlegen des Bewässerungsschlauches und dem Folieren kombiniert werden konnte, wurden nach den KTBL-Faustzahlen für Landwirtschaft (2005) wie bei den Freilanderdbeeren 45 Liter Diesel angesetzt. Die Grünpflanzen für dieses Anbauverfahren stammten von der 1.016 km entfernten Firma Mazzoni in Bologna in Norditalien. Mit einer LKW-Tour konnte das gesamte Pflanzmaterial für die 1,5 ha geliefert werden. Auf der Rückfahrt wurden Mehrwegverpackungen eingesammelt, die hauptsächlich von anderen Betrieben stammten. Daher wurde diese Rückfahrt nicht in die Analyse einbezogen. Bei einem Dieserverbrauch von ca. 35 Litern Diesel/100 km wurden somit 355,6 Liter Diesel für die Strecke von 1016 km oder 237,6 Liter Diesel/ha für die Pflanzenlieferung benötigt. Für den Transport der frisch gelieferten Grünpflanzen zum Feld wurden 1,4 Liter Diesel verbraucht, und das Pflanzen

geschah manuell ohne Einsatz fossiler Energie (Tab. 62). Die Pflanzdichte lag wie bei den Freilanderdbeeren bei 35.000 Pflanzen/ha.

Die verwendete Kunststoffmenge war beim geschützten Anbau in Haygrove-Tunneln höher als beim Freilandanbau. Zusätzlich zu dem PE-Mix Bewässerungsschlauch (0,98 kg/100 m), dem weißen PP Vlies (19 g PP/m²) und der schwarzen 50er LDPE-Mulchfolie (46 g LDPE/m²) für die Dämme, die in gleicher Menge wie bei dem anderen Verfahren Verwendung fanden, wurde noch eine transparente LDPE-Folie mit 200er Dicke (200 µm) für die Tunnel benötigt und entsprach bei einem Hektar 13.000 m² oder 2.392 kg LDPE-Kunststoff. Da die Nutzungsdauer der transparenten Tunnelfolie 4 Jahre betrug, wurde sie anteilmäßig jährlich als Viertel in die Carbon Footprint-Analyse einbezogen (Tab. 62). Das Stahlgerüst der Haygrove-Tunnel konnte über einen längeren Zeitraum genutzt werden und wurde zu den 'Capital Goods' gezählt, die nach PAS 2050-1 in der PCF Analyse nicht in die Berechnung mit einfließen.

Table 62: Carbon Footprint für das Anlegen der Erdbeerkultur

	Primärdaten	Carbon Footprint Freilanderdbeeren (kg CO₂e/ha/a)	Carbon Footprint Haygrove-Tunnel (kg CO₂e/ha/a)
Frigopflanzen Lagerung auf dem Jungpflanzenbetrieb	151,54 kWh/ha	91,20	entfällt
Pflanzenlieferung	49,5 L Diesel/ha	153,25	735,92
Pflanzentransport zum Feld	1,44 L Diesel/ha	4,46	4,46
Tiefgründige Bodenbearbeitung und Pflanzbettbereitung	45 Liter Diesel/ha	139,32	139,32
50er LDPE-Mulchfolie (schwarz) 46 g/m ²	298,8 kg LDPE/ha	617,30	617,30
PE- Bewässerungsschlauch	88,2 kg PE-Mix/ha	180,40	180,40
Weißes Vlies (Polypropylen) 19g/m ²	190 kg PP/ha	380	380
200er LDPE-Tunnelfolie (bei 4 jähriger Nutzung)	1.196 kg LDPE/ha	entfällt	2.548
Einmalige Produktionsfaktoren (gesamt)	n/a	1.566	4.605
Jährliche Emissionen bei 2 Jahren Nutzungsdauer (gesamt)	n/a	782,97	2.302

n/a = nicht angegeben

Für den Aufbau der Haygrove-Tunnel Erdbeeranlage betrug der Carbon Footprint insgesamt 4.605 kg CO₂e/ha. Nach der Umrechnung auf die zweijährige Nutzung betrug er 2.302 kg CO₂e/ha (Tab. 62).

6.8.2 Fertigation und Pflanzenschutz bei Erdbeeren

Die jährlichen Kulturmaßnahmen, die Emissionen verursachten, beschränkten sich bei beiden Erdbeeranbauverfahren auf die Fertigation über die Bewässerung und auf die Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Hier waren keine Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren zu verzeichnen.

Tabelle 63: Carbon Footprint der Dünger und Lachgasemissionen bei Erdbeeren

	Düngemenge	CO₂e Emissionen Herstellung	N₂O Emissionen*	CO₂e Emissionen resultierend aus N₂O Emissionen	Carbon Footprint
Phosfik (3 % N, 27 % P ₂ O ₅ , 18% K ₂ O)	10 Liter/ha	2,619 kg CO ₂ e/ha	0,0025 kg N ₂ O/ha	0,75 kg CO ₂ e/ha	3,37 kg CO ₂ e/ha/a
MAP (Mono- Ammonium- phosphat) (12% N, 52% P ₂ O ₅ , 0%K ₂ O)	50 kg/ha	19,74 kg CO ₂ e/ha	0,0495 kg N ₂ O/ha	14,75 kg CO ₂ e/ha	34,49 kg CO ₂ e/ha/a
Calcinit (15,5% N)	150 kg/ha	186,70 kg CO ₂ e/ha	0,192 kg N ₂ O/ha	57,22kg CO ₂ e/ha	243,92 kg CO ₂ e/ha/a
Kristallon Orange (6%N, 12%P ₂ O ₅ , 36% K ₂ O)	50 kg/ha	23,22 kg CO ₂ e/ha	0,025 kg N ₂ O/ha	7,45 kg CO ₂ e/ha	30,67 kg CO ₂ e/ha/a
Jährliche Emissionen (gesamt) (Düngung)	entfällt	232 kg CO ₂ e/ha/a	0,27 kg N ₂ O/ha	80 kg CO ₂ e/ha	312 kg CO ₂ e/ha/a

* N₂O-Werte basieren auf 0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs (Kuikman et al., 2006)

Zur Nährstoffversorgung der Pflanzen wurden verschiedene Düngemittel eingesetzt. Als Dünger wurden Phosfik (3 % N, 27 % P₂O₅, 18% K₂O), MAP (12% N, 52% P₂O₅, 0%K₂O), Calcinit (15,5% N) und Kristallon Orange (6%N, 12%P₂O₅, 36% K₂O) verwendet (Tab. 63). Die mit der Herstellung der Dünger verbundenen Emissionen und die N₂O-Emissionen, die mit der Umwandlung der Stickstoffkomponenten des Düngers im Boden verbunden sind, lassen sich aus Tabelle 63 entnehmen.

Im Bereich Pflanzenschutz wurden 4 Herbizid-, 5 Fungizid- und eine Insektizidbehandlung durchgeführt (Tab. 64). Bei den Carbon Footprint-Werten sind die Verpackung, Lagerung und der Transport mit inbegriffen. Da die Behandlungen teilweise kombiniert werden konnten, waren insgesamt 6 Applikationen nötig, die nach den KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005) mit jeweils einem Liter Diesel pro Hektar und Überfahrt eingerechnet wurden. Auch hier war der Carbon Footprint für beide Anbauverfahren gleich (Tab. 64).

Tabelle 64: Carbon Footprint der PSM- und jährlichen Kulturmaßnahmen bei Erdbeeren

Pflanzenschutzmaßnahme (Häufigkeit)	Carbon Footprint bei einmaliger Anwendung * (kg CO₂e/ha/a)	Carbon Footprint (kg CO₂e/ha/a)
Herbizid (4 mal)	29,93	119,72
Fungizid (5 mal)	24,59	122,92
Insektizid (1 mal)	62,04	248,16
PSM Applikationen (gesamt)	n/a	490,08
Jährliche Kulturmaßnahmen (gesamt) Dieselverbrauch der PSM Applikationen (6) **	3,096	18,58

*PCF der PSM nach Green, 1987; Tzilivakis et al., 2005; Dalgaard et al., 2001; eigener Ansatz

** Nach KTBL-Faustzahlen der Landwirtschaft (2005)

n/a = nicht angegeben

6.8.3 Land Use Change und Biogenic Carbon bei Erdbeeren

Die Flächen, auf denen die Erdbeeren kultiviert wurden waren bereits seit über 20 Jahren landwirtschaftlich genutztes Ackerland, so dass nach PAS 2050-1 keine direkten Land Use Change-Emissionen aus dem Erdbeeranbau z.B. durch Roden von Wäldern oder dem Umbruch von Weiden oder Wiesen resultierten. Der in der Erdbeerfrucht gebundene Kohlenstoff, das sogenannte Biogenic Carbon, errechnete sich aus der Trockenmasse und dem Anteil Kohlenstoff (47%) in den Erdbeeren. Bei einem Wassergehalt von 90% und 47% C in der Trockenmasse wurden 47 g CO₂e/kg frische Erdbeeren für das Biogenic Carbon ermittelt. Auf die Erntemenge von 25 t/ha konnten nach PAS2050-1 1.175 kg CO₂e/ha optional abgezogen werden (Tab. 65).

Tabelle 65: Land Use Change und Biogenic Carbon bei Erdbeeren

	Emissionen
Emissionen resultierend aus dem LUC	0 kg CO ₂ e/ha/a
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Tonne Erdbeeren	47 kg CO ₂ e/t
Optionale Biogenic Carbon-Gutschrift pro Fläche	1.175 kg CO ₂ e/ha/a

6.8.4 Ernte und Nachernteprozesse bei Erdbeeren

Für die Ernte wurden laut Betriebsleiter insgesamt 400 km/ha mit einem Transporter zurückgelegt. Bei diesen Fahrten lag der Verbrauch bei 8 Liter Diesel/100 km und, es wurden die Erntehelfer, die geernteten Erdbeeren und auch das Wasser für die Bewässerung sowie der Dünger transportiert. Insgesamt wurden 32 Liter Diesel/ha für diese Erntemaßnahmen benötigt. Da die Verpackung der Erdbeeren direkt nach der Ernte stattfand, wurde dieser Prozess diesem Lebenszyklusabschnitt zugeteilt. Um sie zu verpacken, wurden die Erdbeeren in 500 g PET-Kunststoffschälchen gefüllt. Das Wiegen der leeren Schälchen ergab 10,5 g Leergewicht/Schälchen und führte zu einer PET Menge von 21 g/kg Erdbeeren. Siebzig Prozent der so verpackten Erdbeeren wurden weiter in 5 kg-Einwegpappsteigen verpackt und als Großgebilde weiterverkauft. Bei 30% der Erdbeerschälchen konnten Mehrwegkisten verwendet werden. Die Verpackung der Erdbeeren resultierte insgesamt in 1.276 CO₂e/ha/a oder 51 g CO₂e/kg Erdbeeren (Tab. 66).

Bei den beiden betrachteten Anbauverfahren gab es bei der Ernte und Nachernte nur einen Unterschied in der Anzahl der nötigen Mitarbeiter für die Ernte.

Für die Ernte der Freilanderdbeeren (13 ha) waren anteilmäßig 45 Arbeiter erforderlich. In einer früheren Studie wurde ermittelt, dass jeder Erntehelfer ca. 1.000 kWh/a verbraucht (Schaefer und Blanke, 2012). Da die Erntehelfer nur 6 Monate mit der Erdbeerernte beschäftigt waren,

belief sich der Stromverbrauch für die Unterbringung auf 22.500 kWh für 13 ha oder 1.730 kWh/ha (Tab. 67).

Bei den Erdbeeren in den Haygrove-Tunneln benötigte man insgesamt 5 Erntehelfer für die 1,5 ha große Anlage über eine Dauer von 6 Monaten. Da jeder Erntehelfer ca. 500 kWh in diesen 6 Monaten verbrauchte, belief sich der Stromverbrauch für die Erntehelfer bei den Erdbeeren aus dem geschützten Anbau auf insgesamt 2.500 kWh oder 1.667 kWh/ha (Schaefer und Blanke, 2012).

Nachdem die Erdbeeren nach der Ernte zum Hof transportiert worden waren, mussten sie im Kühllager des Betriebes in wenigen Stunden herunter gekühlt werden. Da der Prozess des Herunterkühlens energieaufwendiger als eine dauerhafte Kühlung ist, wurde hierfür ein höherer Energieansatz als beim dauerhaften Kühlen der Frigopflanzen gewählt (pers. Kommunikation Frau Deml, ADDCON Europe, 2012). Die gesamte Erntemenge von 325 t Erdbeeren wurde in dem 49 m² großen Kühllager gekühlt. Bei einer intensiven Nutzung des Kühllagers werden für die Erdbeeren pro Jahr ca. 570 kWh/m² verbraucht (pers. Kommunikation Frau Deml, ADDCON Europe, 2012). Da das Kühllager aber nur 6 Monate für die Erdbeeren genutzt wurde, ergab sich bei der angegebenen Größe ein Gesamtverbrauch von 13.965 kWh in einem halben Jahr (180 Tage). Weil das Lager neben den Freilanderdbeeren auch für die Erdbeeren aus dem geschützten Anbau genutzt wurde, wurde mit der gesamten Erdbeererntemenge von 362,5 t gerechnet und nach den Gewichtsanteilen allokiert. Pro Kilogramm Erdbeeren waren es 38 Wh und somit 23 g CO₂e/kg Erdbeeren oder 575 kg CO₂e/ha bei 25 t/ha Erntemenge (Tab. 66).

Tabelle 66: Carbon Footprint der Ernte und Nachernteprozesse bei Erdbeeren

Prozess	Primärdaten	Carbon Footprint Freilanderdbeeren (kg CO ₂ e/ha/a)	Carbon Footprint Haygrove-Tunnel (kg CO ₂ e/ha/a)
Ernte per Hand	entfällt	0	0
Stromverbrauch 45 Erntehelfer Freilanderdbeeren	22.500 kWh/6 Monate	1.042	entfällt
Stromverbrauch 5 Erntehelfer geschützter Anbau unter Haygrove-Tunnel	2.500 kWh/6 Monate	entfällt	1.004
Transport Arbeiter, Erdbeeren Wasser und Dünger	32 L Diesel/ha	24,77	
Verpackung (500g PET- Schälchen)	10,5 g PET /Schälchen (25 t/ha Erntemenge)	1.129	
70% Einwegpappsteigen (10 Schälchen) 30% Mehrwegkisten	620g Pappe/5 kg Erdbeeren	210	
		70% = 147	
Kühlung der Erdbeeren	13.965 kWh/362,5 t Erdbeeren	575	
Carbon Footprint - Ernte und Nachernte bei Erdbeeren	entfällt	2.918	2.880

6.8.5 Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Erdbeeren

Für das Anbauverfahren Freilanderdbeeren wurde ein Farm Carbon Footprint (FCF) von 2.771 kg CO₂e/ha ermittelt (Tab. 67). Die energieaufwendige Kühlung der Erdbeeren in der Nacherntephase zwischen der Ernte und der weiteren Vermarktung verursachte 575 kg CO₂e/ha. Der auf die Fläche bezogene B2B Carbon Footprint nach PAS 2050-1 betrug 3.346 kg CO₂e/ha. Auf die Erntemenge von 25 t/ha umgerechnet ergab sich so auf Gewichtsbasis ein B2B Carbon Footprint von 134 g CO₂e/kg verkaufsfertige Erdbeeren mit Biogenic Carbon als 'Offset' und 181 g CO₂e/kg ohne 'Offset' (Tab. 67).

Bei dem geschützten Anbauverfahren im Haygrove-Tunnel lag der FCF wie erwartet über dem der Freilanderdbeeren. Der Farm Carbon Footprint, bei dem bereits die Kohlenstoffdioxid-

Gutschrift, die sich aus dem Biogenic Carbon ergab, als 'Offset' abgezogen wurde, betrug 4.252 kg CO₂e/ha/a gegenüber 3.346 kg CO₂e/ha/a beim Freilandanbau. Inklusive der Nacherntemaßnahmen betrug der B2B Carbon Footprint 4.827 kg CO₂e/ha/a oder 0,193 kg CO₂e/kg Erdbeeren. Ohne den 'Offset' ergab sich für den B2B Carbon Footprint 0,240 kg CO₂e/kg Erdbeeren (Tab. 67).

Tabelle 67: Farm Carbon Footprint und B2B Carbon Footprint von Erdbeeren

	Carbon Footprint Freilanderdbeeren	Carbon Footprint Haygrove-Tunnel
Anlegen der Erdbeerkultur - einmalige Faktoren	782,97 kg CO ₂ e/ha/a	2.302 kg CO ₂ e/ha/a
NPK-Düngung - Herstellung der Düngemittel	232 kg CO ₂ e/ha/a	
N-Düngung - Lachgasemissionen	80 kg CO ₂ e/ha/a	
Pflanzenschutz	490,08 kg CO ₂ e/ha/a	
Pflegemaßnahmen	18,58 kg CO ₂ e/ha/a	
Ernte - Transport Arbeiter und Erntegut bis Hof	24,77 kg CO ₂ e/ha/a	
Stromverbrauch Erntehelfer (6 Monate)	1.042 kg CO ₂ e/ha/a	1.004 kg CO ₂ e/ha/a
Verpackung (500g PET-Schälchen)	1.129 kg CO ₂ e/ha/a	
70% 5 kg Einweg Pappsteigen (10 Schälchen) 30% Mehrwegkisten	147 kg CO ₂ e/ha/a	
Land Use Change	0 kg CO ₂ e/ha/a	
Biogenic Carbon (optionaler 'Offset')	-1.175 kg CO ₂ e/ha/a	
Farm Carbon Footprint (bis Ernte) mit 'Offset'	2.771 kg CO ₂ e/ha/a	4.252 kg CO ₂ e/ha/a
Nachernteprozesse (Kühlung der Erdbeeren)	575 kg CO ₂ e/ha/a	575 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro ha bis 'farm gate' mit 'Offset'	3.346 kg CO ₂ e/ha/a	4.827 kg CO ₂ e/ha/a
B2B Carbon Footprint pro kg nach PAS2050-1 mit 'Offset'	0,134 kg CO ₂ e/kg Erdbeeren	0,193 kg CO ₂ e/kg Erdbeeren
B2B Carbon Footprint pro kg ohne 'Offset'	0,181 kg CO ₂ e/kg Erdbeeren	0,240 kg CO ₂ e/kg Erdbeeren

6.8.6 Vermarktung der Erdbeeren

Die Ware dieses Betriebes mit Freilanderdbeeren und solchen aus geschütztem Anbau wurden zu 80% über den in der Region (Grafschaft) ansässigen Großhändler Frutania und zu 20% regional selbst vermarktet. Bei der Vermarktung über den Großhändler war zunächst der Transport der Erdbeeren vom Hof zum Distributionslager von Frutania in Grafschaft nötig. Die einfache Entfernung betrug 43 km, und es wurde sowohl die Hinfahrt als auch die leere Rückfahrt den Erdbeeren angerechnet. Nach Schmied u. Knörr (2011) entstehen beim Transport mit einem 7,5 t LKW bei Beladung mit einem Durchschnittsgut 179 g CO₂e/tkm. Für 80% der Erdbeeren entstanden somit 15,4 g CO₂e/kg Erdbeeren für den ersten Transportabschnitt. Beim Transport vom Großhändler zu den regionalen (RDCs) Distributionszentren des LEHs wurden im Schnitt 200 km mit einem 40 t LKW (68 g CO₂e/tkm) zurückgelegt. Dies führte zu CO₂e-Emissionen in Höhe von 13,6 g CO₂e/kg Erdbeeren. Für den Transport zum LEH mit einem 12 t-24 t LKW (106 g CO₂e/tkm) (Schmied u. Knörr, 2011), der eine 160 km lange Rundtour (REWE, 2008) bei der Auslieferung zurücklegt, fielen 16,96g CO₂e/kg Erdbeeren an (Schmied u. Knörr, 2011) (Tab. 68).

Tabelle 68: Carbon Footprint für die Vermarktung der Erdbeeren

Vermarktungsprozess	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO ₂ e/kg)	80% der Erdbeeren Vermarktung über LEH (g CO ₂ e/kg)
Transport vom Hof zum Großhändler (Frutania)	86 km 7,5 t LKW 179 g CO ₂ e/tkm *	15,4	12,3
Transport zum Distributionszentrum	200 km 40 t LKW 68 g CO ₂ e/tkm *	13,6	10,9
Transport zum LEH	160 km 12-24 t LKW 106 g CO ₂ e/tkm *	17	13,6
			20% der Erdbeeren regionale Vermarktung
Selbstvermarktung über regionale Hofläden und Verkaufsstände	2,2 L Diesel/t Erdbeeren	8,65	1,7
Vermarktung (gesamt)	entfällt	entfällt	38,5

* Werte nach Schmied u. Knörr (2011)

Die restlichen 20% der Erdbeeren wurden 90 Tage lang täglich mit dem hofeigenen Sprinter im Umkreis von 10 km in einer 15 km langen Rundtour ausgeliefert. Unter Berücksichtigung des Dieserverbrauchs, der vom Betriebsleiter mit 15 Litern Diesel/100 km angegeben wurde, waren somit 8,65 g CO₂e/kg Erdbeeren an Emissionen anzusetzen (Tab. 68).

Die Vermarktung inklusive der Verpackung in PET-Schälchen (51 g CO₂e/kg Erdbeeren) und dem Transport bis zum Verkaufsort (38 g CO₂e/kg Erdbeeren) (Tab. 68) führte zu 90 g CO₂e/kg Erdbeeren.

6.8.7 Verbrauchsphase der Erdbeeren beim Konsumenten

Die Verbrauchsphase begann mit der Einkaufsfahrt des Konsumenten. 80% der Erdbeeren wurden beim Lebensmitteleinzelhandel (LEH) erworben. Für den Einkauf beim LEH wurde wieder ein Warenkorb von 20 kg mit 1 kg Erdbeeren und die Distanz von 10 km (Hin- und Rückfahrt) bis zum LEH mit einem durchschnittlichen kleinen benzinbetriebenen PKW nach internationalem Standard angenommen (Blanke, 2005). Die restlichen 20% wurden bei regionalen Hofläden gekauft. Bei einem Warenkorb von 5 kg mit 1 kg Erdbeeren und der Distanz vom Konsumenten zu den Hofläden von durchschnittlich 4 km konnten viele der Käufer auf der Durchfahrt einkaufen, und nur ein kleiner Teil fuhr extra (eigener Ansatz) mit demselben Durchschnitts-PKW wie beim Einkauf im LEH (Blanke, 2005). Beim Konsumenten zu Hause wurden die Erdbeeren 24 Stunden im Kühlschrank gelagert, bevor sie verzehrt wurden. Dies resultierte in 24 g CO₂e/kg Erdbeeren bei einem durchschnittlichen deutschen Standardkühlschrank (Blanke, 2009) (Tab. 69).

Tabelle 69: Carbon Footprint für die Einkaufsfahrt und Verbrauchsphase von Erdbeeren

Verbrauchsphase beim Konsumenten	Primärdaten	Carbon Footprint (g CO ₂ e/kg)
Einkaufsfahrt mit Privat PKW zum LEH	1 kg Erdbeeren/20 kg Warenkorb Distanz: 2 x 5 km	123,5
Einkaufsfahrt regionale Hofläden	1 kg Erdbeeren/5 kg Warenkorb	197,6
Gesamt Einkaufsfahrt	80% LEH, 20% regionale Hofläden	138,3
Lagerung im Kühlschrank	24 h Lagerung im Kühlschrank	24
Entsorgung	entfällt	0
Verbrauchsphase (gesamt)	entfällt	162,3

6.8.8 Carbon Footprint von Erdbeeren

Der Product Carbon Footprint (PCF) für Freilanderdbeeren, die nach dem beschriebenen Verfahren angebaut und vermarktet wurden, lag mit 335 g CO₂e/kg Erdbeeren wie erwartet etwas unter dem PCF der Erdbeeren aus den Haygrove-Tunneln mit 394 g CO₂e/kg Erdbeeren (Tab. 70).

Tabelle 70: Carbon Footprint von Erdbeeren

	Carbon Footprint Freilanderdbeeren (kg CO₂e/kg)	Carbon Footprint Haygrove-Tunnel (kg CO₂e/kg)
Farm Carbon Footprint	0,111	0,170
B2B Carbon Footprint	0,134	0,193
Vermarktung	0,038	0,038
Verbrauchsphase	0,162	0,162
B2C Carbon Footprint (PCF)	0,335	0,394

6.9 Vergleich des Carbon Footprints bei Erdbeeren

Der Carbon Footprint der Freilanderdbeeren lag bei den drei Betrachtungsebenen (Farm Carbon Footprint, B2B Carbon Footprint und PCF oder B2C Carbon Footprint) etwa bei der Hälfte des Carbon Footprints der früher reifen Erdbeeren, die unter dem Haygrove-Tunnel angebaut wurden. Die später reifen Freilanderdbeeren hatten bei diesem Vergleich den umweltfreundlicheren Carbon Footprint mit 335 g CO₂e/kg Erdbeeren gegenüber dem der Erdbeeren aus geschütztem Anbau mit 394 g CO₂e/kg Erdbeeren (Tab. 70 u. 71).

Tabelle 71: Übersicht der Carbon Footprint Ergebnisse beider Erdbeeranbauverfahren

	Freilanderdbeeren (kg CO₂e/kg)	Erdbeeren aus geschütztem Anbau (kg CO₂e/kg)
FCF	0,111	0,170
B2B	0,134	0,193
B2C (PCF)	0,335	0,394

7 Diskussion

In der folgenden Diskussion werden die gewonnenen Ergebnisse zum Carbon Footprint nach PAS 2050-1 und PAS 2050:2011 der verschiedenen Anbauverfahren und Kulturen der regionalen Gartenbaubetriebe im Rheinland dem Import aus Übersee auf Basis potentieller praxisnaher Szenarien gegenübergestellt. Reduktionspotenziale für den Carbon Footprint im Anbau, der Distribution und Vermarktung sowie der Gebrauchsphase beim Konsumenten werden aufgezeigt. Durch eine abschließende Ungenauigkeitsanalyse ('Uncertainty analysis') werden mögliche Schwankungen innerhalb der Betrachtung wie zum Beispiel die Datenqualität beschrieben. Darauf folgen Empfehlungen für den Konsumenten und den Anbauer bezüglich ihres PCFs.

7.1 Vergleich der Anbauverfahren bei Spargel

Der Spargelanbau hat mit ca. 24.000 ha Anbaufläche und ca. 103.000 t Erntemenge in Deutschland eine große Bedeutung und stellt die Gemüsekultur mit der größten Freilandanbaufläche in Deutschland dar (Behr, 2012). Bei den beiden nicht beheizten Anbauverfahren waren die maßgeblichen Faktoren, die den Carbon Footprint ausmachten, die Düngemittel (Herstellung) (7-12%), die Pflege- und Erntemaßnahmen (6-17%) sowie die energieintensive Schockkühlung, die sich in den Nachernteprozessen widerspiegelte (5-34%). Bei der Vermarktung waren die Einkaufsfahrt (8-24%) und die Use-phase beim Konsumenten (11-21%) diejenigen Faktoren, denen die höchste Relevanz für die THG-Emissionen zukam (Tab. 72 u. Abb. 5). Beim Heizspargel war neben diesen Faktoren der Stromverbrauch für die Warmwasserpumpen der dominante Faktor im Carbon Footprint (44%).

Bezüglich des Biogenic Carbon gibt die PAS 2050-1 vor, dass der im Ernteprodukt fixierte Kohlenstoff innerhalb der PCF Analyse fakultativ abgezogen werden kann, wenn es sich um Lebens- oder Futtermittel ('food and feed') handelt. Dies sollte deutlich aus der PCF- Analyse hervorgehen. In Abbildung 5 ist das Biogenic Carbon grau im negativen Bereich dargestellt. Schließt man das Biogenic Carbon aus, ergibt sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, je nach Betrieb ein PCF von 843 g CO₂e/kg Spargel bis 1.598 g CO₂e/kg Spargel im Rheinland in Deutschland (Tab. 72).

Tabelle 72: Breakdown des PCF bei deutschem Spargel in g CO₂e/kg Spargel

	Heizspargel (Großbetrieb)	Spargel (Großbetrieb)	Spargel (Nebenerwerb)
Biogenic Carbon (potentieller Offset)	-28	-28	-28
Anlegen der Kultur	89	49	56
Düngemittel (N,P,K)	110	110	168
Lachgasemissionen	32	32	27
Stromverbrauch Pumpen	715	entfällt	entfällt
Pflanzenschutz	14	14	28
Pflegemaßnahmen und Ernte	151	151	75
Nachernteprozesse	86	86	468
Verpackung	62	62	n/a
Transport zum Verkaufsort	34	34	19
Einkaufsfahrt	124	124	326
Use-phase	181	181	181
Product Carbon Footprint (PCF) von Spargel	1.570	815	1.322
Product Carbon Footprint (PCF) von Spargel ohne Biogenic Carbon als 'Offset'	1.598	843	1.350

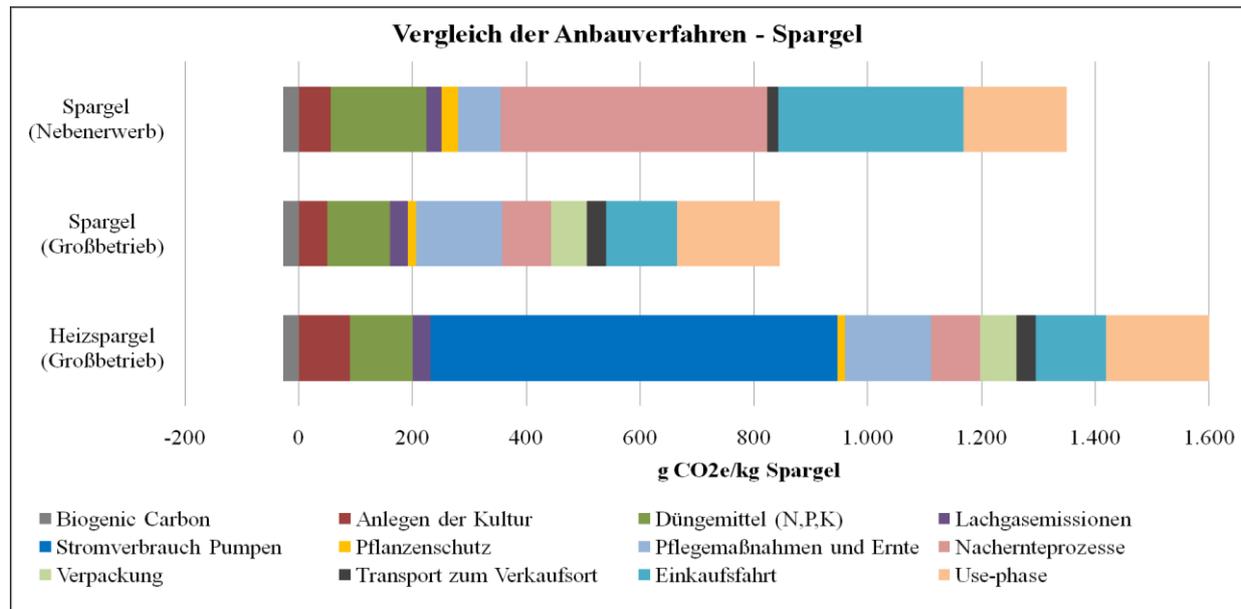


Abbildung 5: Vergleich des PCF bei deutschem Spargel

7.1.1 THG Einsparpotenziale beim Spargel

Die Haupteinsparpotenziale bei den beiden nicht beheizten Spargelanbauverfahren (Abb. 6 u. Abb. 7) wurden in der Use-phase beim Konsumenten lokalisiert. Würde die Einkaufsfahrt beispielsweise mit einem klimaneutralen Verkehrsmittel wie dem Fahrrad vorgenommen und der Spargel am Tag des Kaufs ohne die Kühlperiode im häuslichen Kühlschrank zubereitet, reduziert sich der PCF um ca. 150-350 g CO₂e/kg Spargel oder 9-27%, was bis zu einem Viertel des PCFs entspricht. Um im Anbau Emissionen einzusparen, wäre für den Betrieb, der Spargel im Nebenerwerb produziert, ein effizienterer Umgang mit der Energie für die Nachernteprozesse (Schockkühlung) oder die Verwendung von klimaneutralem Strom anzustreben. Hier lag bei diesem Betrieb auch einer der Gründe für das schlechtere Abschneiden beim PCF. Im Anbau ließen sich kaum weitere Einsparpotenziale identifizieren, da eine Reduktion der Düngemenge nur zu Lasten des Ertrags möglich wäre. Einer der Betriebe verwendete bereits Stickstoffdünger mit Nitrifikationshemmern. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass sich die Verwendung von diesen teureren Stickstoffdüngern in diesem Fall kaum für den Carbon Footprint auszahlte. Der Nebenerwerbsbetrieb Spargel (Abb. 6) benutzte diese Düngemittel und konnte damit zwar die Lachgasemissionen senken, aber durch die energieaufwändigere Herstellung konnten insgesamt keine Emissionen in der Klimabilanz eingespart werden. Ein weiteres Einsparpotenzial lag in der Verwendung von Mehrwegverpackungen. Dadurch könnte auf Pappsteinen verzichtet werden, und die produktspezifischen Emissionen würden um 64 g CO₂e/kg Spargel (4-7%) sinken.

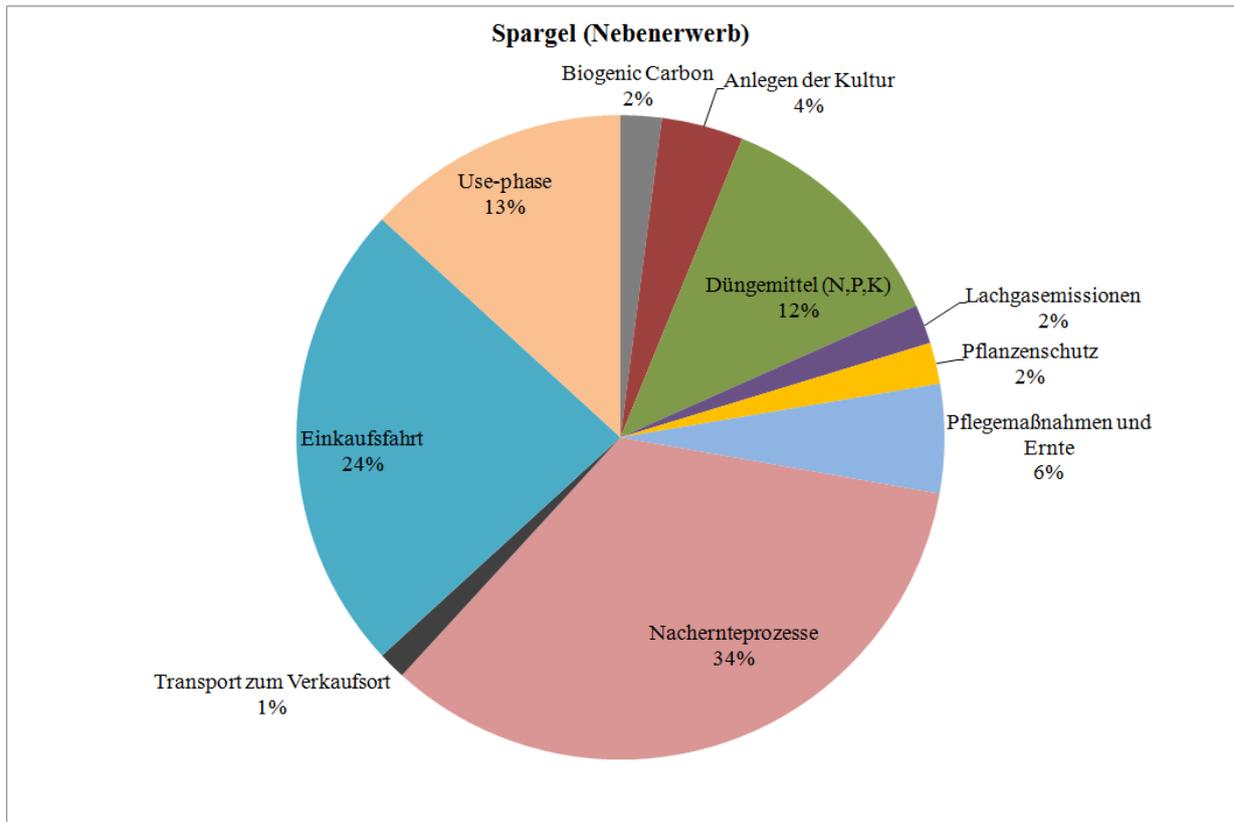


Abbildung 6: Prozentuale Anteile am PCF von Spargel (Nebenerwerb)

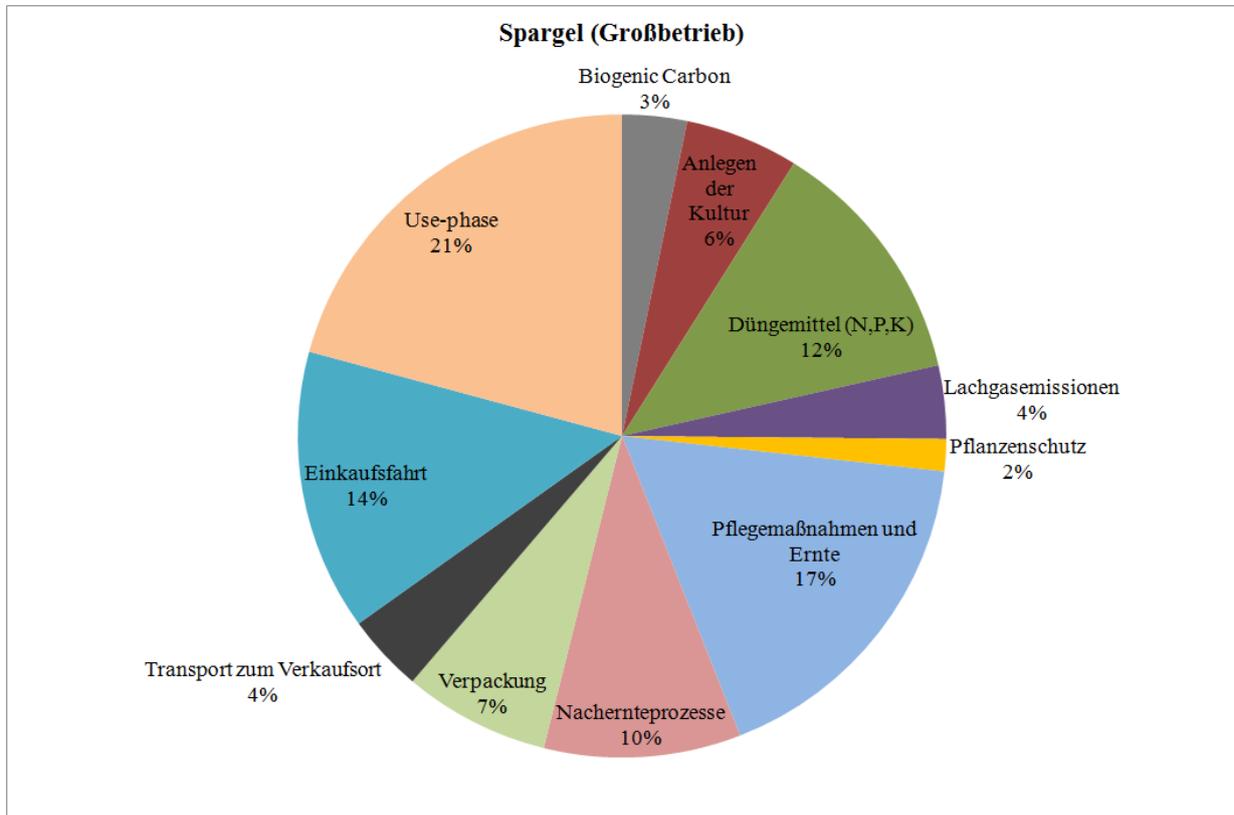


Abbildung 7: Prozentuale Anteile am PCF von Spargel (Großbetrieb)

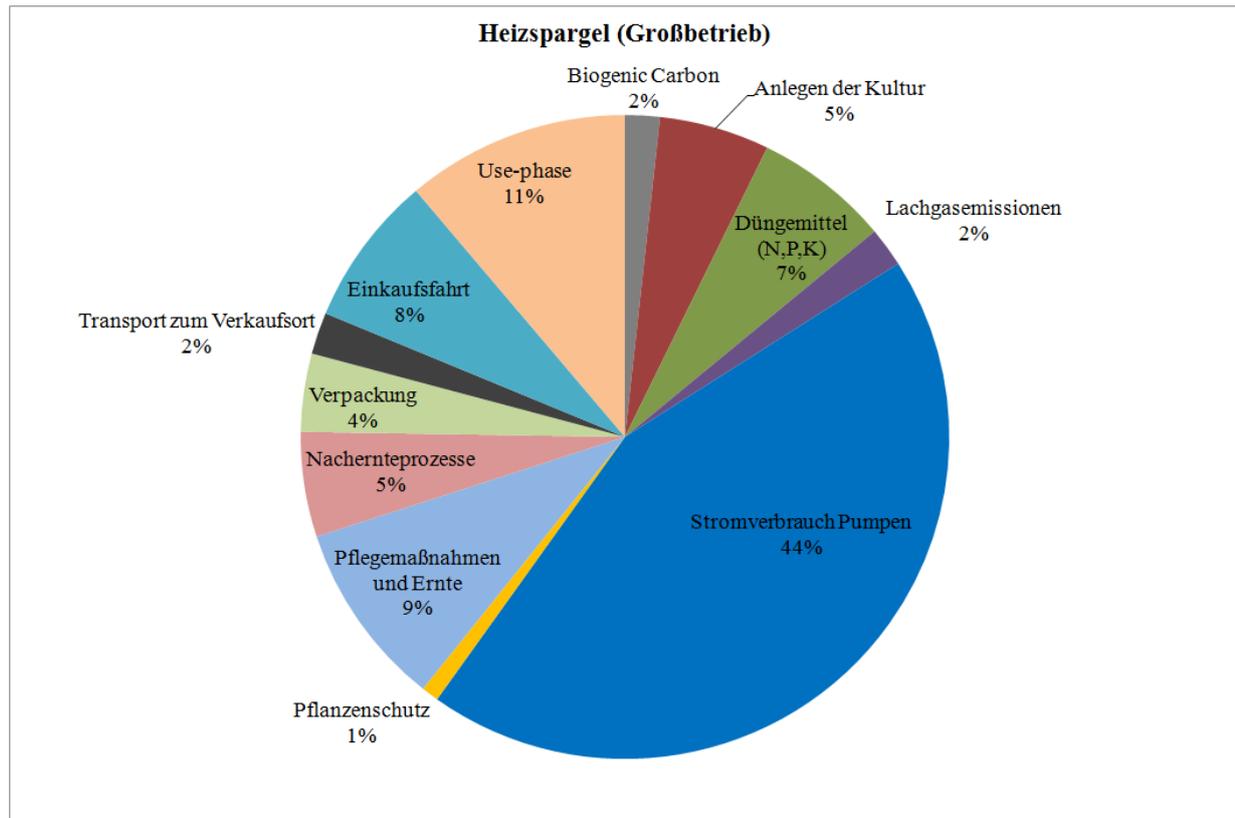


Abbildung 8: Prozentuale Anteile am PCF von Heizspargel

Der beheizte Spargelanbau (Abb. 8) hatte mit 1,57 kg CO₂e/kg Spargel im Vergleich zu den anderen betrachteten Verfahren den höchsten Carbon Footprint und zeichnete sich gegenüber dem nicht-beheizten Spargel des selben Betriebes durch einen höheren PE-Kunststoffaufwand und einen höheren Energieaufwand durch den Betrieb der Warmwasserpumpen aus. Vierundvierzig Prozent (714 g CO₂e/kg Spargel) des PCF resultierten alleine aus dem Stromverbrauch der Warmwasserpumpen, die zum Betrieb der Heizung nötig waren. Dazu kam die höhere Aufwandmenge an PE-Kunststoff für die Heizschläuche mit 2,5% (40 g CO₂e/kg Spargel). Ein großes Einsparpotenzial für Heizspargel wäre die Verwendung von Strom für die Heizwasserpumpen, der nicht durch fossile Brennstoffe erzeugt wurde, sondern durch emissionsärmere Verfahren wie Photovoltaik oder Windkraftanlagen. Hierdurch könnten die Warmwasserpumpen betrieben und der Carbon Footprint reduziert werden. Ansonsten galten für Heizspargel die gleichen Einsparpotenziale wie bei den nicht-beheizten Anbauverfahren. Die Einkaufsfahrt und Aufbewahrung im Kühlschrank könnten durch ein verändertes Verhalten der Konsumenten eingespart werden. Bei der Vermarktung zeigte sich, dass bei dem Verkauf über Hofläden und Wochenmärkte die Einkaufsfahrt mit dem Privat PKW bei gleichzeitig kleinerem Warenkorb (5 kg statt 20 kg mit jeweils 1 kg Spargel) für mehr Emissionen pro kg eingekauftem Produkt sorgte. Die Vermarktung über den LEH hingegen war im Kontext der Betrachtung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen für ein einzelnes Produkt besser, sofern man nach Blanke (2009) einen relativ großen Warenkorb von 20 kg und kürzere Entfernungen als 2 mal 5 km hatte. Je größer der Warenkorb bei einem Einkauf war, desto mehr reduzierten sich

die Emissionen der Einkaufsfahrt für das einzelne Produkt. Genauso hat es aber negative Auswirkungen auf den Carbon Footprint eines Produktes, wenn extra für ein einzelnes Produkt (kleiner Warenkorb mit nur einem Produkt) eine Einkaufsfahrt in Kauf genommen wird.

Im Gesamtkontext der Emissionen, die durch einen Einzelnen während eines Einkaufs verursacht werden, spielen mehrere Faktoren eine bedeutende Rolle. Ein möglichst großer Warenkorb ist nur so lange besser, solange dadurch nicht vermehrt die Waren zuhause verderben und entsorgt werden müssen. Außerdem sollten die Lagerkapazitäten des Haushaltes bei der Planung des Einkaufs berücksichtigt werden. Mit einem gut organisierten Einkauf lassen sich somit sowohl die Emissionen als auch die Abfälle minimieren, die auf Grund der Verderblichkeit gartenbaulicher Produkten beim Konsumenten entstehen können. Werden bei einem Einkauf die verderblichen Waren sinnvoll durch länger haltbare oder unverderbliche Verbrauchsgüter ergänzt kann auch dies den Carbon Footprint des einzelnen Produktes maßgeblich senken.

7.1.2 Scenario: Spargelheizung mit Energie aus dem deutschen Stromnetz

Die Heizenergie, die der Spargelbetrieb von einer Rußfabrik als sonst ungenutzte Abwärme bezog, floss nicht in die Berechnung des Carbon Footprint mit ein, da es sich um betriebsfremden Energieaufwand handelte, der komplett der Rußfabrik zuzuordnen war. War das Heizsystem des Spargels in Betrieb, wurden 3 MW Leistung als warmes Wasser von der Rußfabrik in die Heizschläuche der Spargelanlage geleitet. Da diese Leistung über einen Zeitraum von ca. 80 Tagen abgerufen wurde, belief sich die gesamte Energie auf 5.760 MWh pro Jahr. Würde diese Energiemenge für den Anbau von beheiztem Spargel mit den entsprechenden durchschnittlichen Emissionen von 0,602 kg CO₂e/kWh aus dem deutschen Stromnetz bezogen, beliefen sich die THG-Emissionen auf 3.467 t CO₂e allein für das Erwärmen des Wassers. Der Carbon Footprint für den beheizten Spargel würde von 1,57 kg um 41,2 kg auf 42,8 kg CO₂e/kg Spargel fast auf das dreißigfache ansteigen. Die Aufwendung einer solchen Energiemenge eigens für den Spargelanbau würde sich allerdings nicht kostendeckend realisieren lassen. Nur die Verwendung von betriebsfremder Abwärme macht dies in diesem Fall möglich.

7.1.3 Scenario: Importspargel aus Peru

Um eine ganzjährige Versorgung Europas mit Spargel zu gewährleisten, wird dieser häufig aus Peru importiert, dem nach China weltweit zweitgrößten Spargelproduzenten (FAO, 2011). Der Transport erfolgt mit dem Flugzeug oder mit dem Containerschiff. Für das Anbauverfahren Spargel (Großbetrieb) wurde mit einem für Peru höheren Ertrag von 12 t/ha (Befve, 2009) und dem durchschnittlichen Wert für Land Use Change (LUC) im Spargelanbau in Peru gerechnet. Die Emissionen verursacht durch den Land Use Change betragen laut dem Berechnungstool

der PAS 2050-1 18,1 t CO₂e/ha Spargelanbaufläche in Peru. Die Emissionen, die bei der Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzflächen durch die Rodung von tropischem Regenwald vor Ort entstehen, werden durch den Land Use Change erfasst.

Beim Transport aus dem im Umland von Lima gelegenen Spargelanbaugebiet wurde davon ausgegangen, dass mit dem LKW (12-24 t) zum Flughafen Lima im Mittel 50 km Fahrtstrecke nötig waren. Weiterhin erfolgte die Annahme, dass auf der Rückfahrt Leergut transportiert wurde. Von Lima wurde dann der Transport mit dem Flugzeug per Direktflug nach Frankfurt (10.745 km) angesetzt. Die Emissionen für den Flug wurden mit 531 g CO₂e/tkm (Schmied u. Knörr, 2010) errechnet. Für den weiteren Transport innerhalb Deutschlands von Frankfurt nach Bornheim von 170 km mit dem LKW (40 t) kamen bis zum gleichen Verkaufsort (LEH) 5,75 kg CO₂e/kg Importspargel zusammen (Tab. 73 u. Abb. 9).

Beim Transport per Containerschiff wurde die gleiche Distanz für den Transport mit dem LKW (12-24 t) zum Hafen angenommen wie zum Flughafen in Lima (50 km). Vom Hafen Callao in der Nähe von Lima wurde die Ware dann per Containerschiff (gekühlter Container) durch den Panamakanal nach Hamburg verschifft. Die einfache Distanz beträgt 6.586 Seemeilen oder 12.197 km (pers. Kommunikation mit Gerhard Barten, Nautiker a.D., 2013). Der Emissionswert nach Schmied u. Knörr (2011) lag dabei mit 17 g CO₂e/tkm sehr weit unter dem für Luftfracht (531 g CO₂e/tkm) und auch unter dem Wert, der allgemein für den Transport per LKW (68-106 g CO₂e/tkm je nach Größe) postuliert wurde (Schmied u. Knörr, 2010). Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die Schiffsmotoren nur gering raffiniertes Schweröl verwendet wird und dass eine sehr große Menge an Transportgut in Relation zum Verbrauch bei relativ geringer Geschwindigkeit mit einem Containerschiff befördert wird. Die Überfahrt dauerte bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 20 Knoten ca. 330 Stunden (ca. 14 Tage), und die Ware musste auf dem Schiff gekühlt werden. Pro Stunde benötigte ein 40 Fuß Standardkühlcontainer ca. 2,5 Liter Diesel (REWE Group, 2008). Bei einer angenommenen Transportmenge von 20 t Spargel pro Container würde dies bei 14 Tagen Kühlung auf See zu Emissionen in Höhe von 128 g CO₂e/kg Importspargel führen. Zusammen ergaben sich so für den Schiffstransport im gekühlten Container von Lima nach Hamburg 335 g CO₂e/kg Importspargel. Vom Hamburger Hafen wurde der Spargel dann 441 km mit dem LKW (40 t) nach Bornheim zum Großhändler im Rheinland transportiert. Von Bornheim wurde der Spargel dann, wie der Deutsche Spargel, weiter zum gleichen Verkaufsort, dem Lebensmitteleinzelhandel, distribuiert. Für den Transport mit dem Containerschiff und dem LKW nach Deutschland bis zum LEH beliefen sich die Emissionen auf 273 g CO₂e/kg Importspargel (Tab. 73 u. Abb. 9).

Kommt zum LUC der Import per Flugzeug aus einem Land wie Peru hinzu, verzehnfacht sich der PCF für peruanischen Spargel im Vergleich zum PCF von regionalem deutschen Spargel. Beim Import mit dem Containerschiff war der PCF interessanterweise geringer als beim

Flugzeugtransport. Mit 335 g CO₂e/kg Importspargel für die Distanz von 12.197 km ist dieser Wert sehr gering. Wenn man beispielsweise mit einem durchschnittlichen, benzinbetriebenen, kleinen Privat-PKW 1 kg Spargel über eine Distanz von 2 km transportiert, werden ca. 494 g CO₂e/kg Spargel an die Umwelt abgegeben (Blanke, 2005).

Tabelle 73: PCF von importiertem Spargel aus Peru in g CO₂e/kg Spargel

	Spargel Deutschland	Importspargel Peru (Containerschiff)	Importspargel Peru (Luftfracht)
Anbau (Großbetrieb)	328	328	328
Land Use Change (LUC)	0	1.508	1.508
Nachernteprozesse und Verpackung	148	148	148
Transport LKW (Peru)	entfällt	5	5
Transport nach Deutschland	entfällt	335	5.705
Transport LKW (Deutschland)	34	61	43
Einkaufsfahrt	124	124	124
Use phase	181	181	181
Product Carbon Footprint (PCF) von Spargel ohne LUC	815	1.183	6.534
Product Carbon Footprint (PCF) von Spargel mit LUC	815	2.691	8.042

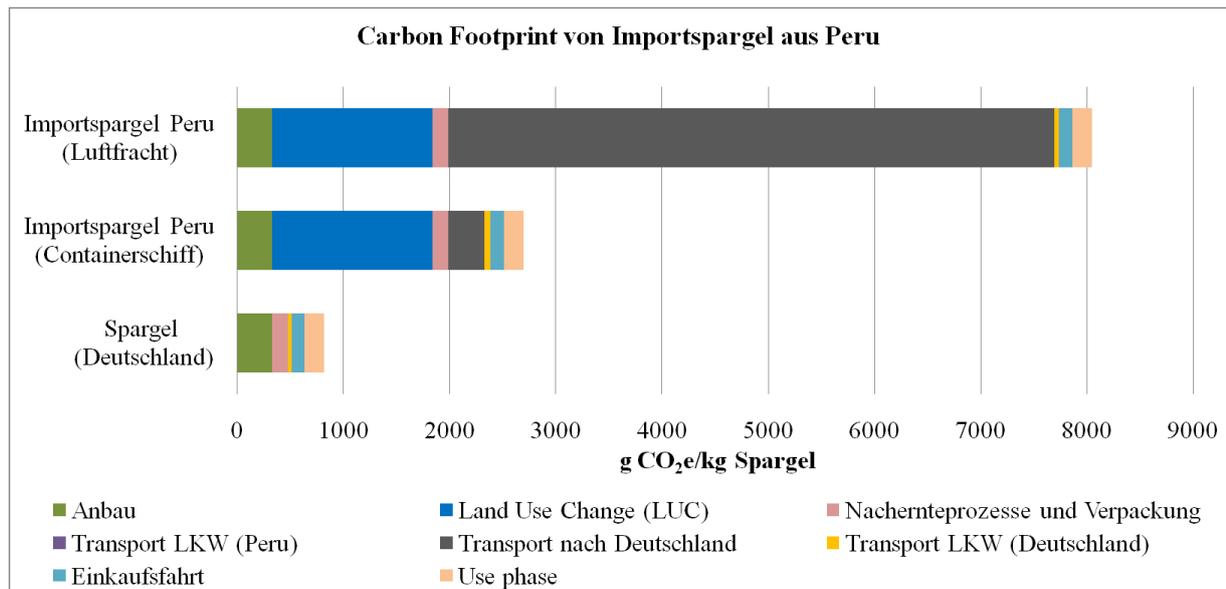


Abbildung 9: Vergleich von Importspargel aus Peru mit deutschem Spargel

7.1.4 Internationaler Vergleich mit Spargel aus England und der Schweiz

In einer der einzigen beiden Studien zum Carbon Footprint von Spargel berichteten Audsley et al. (2009) von 1,94-2,39 kg CO₂e/kg Spargel vom Anbau in England bis zu den regionalen Distributionszentren (RDC) in Großbritannien. Im Vergleich zu diesen Werten lagen die in unserem Projekt ermittelten Werte bei 0,5-1,3 kg CO₂e/kg Spargel bis zum RDC und sind damit im Mittel um 1,3 kg CO₂e/kg Spargel niedriger, weil bei Audsley et al. (2009) keine Primärdaten verwendet wurden und die Berechnung auf statistischen Durchschnittswerten spezifisch für England basierte. Das Ziel dieser Studie von Audsley et al. (2009) war es, den gesamten Verbrauch von Obst und Gemüse in England hinsichtlich der THG-Emissionen zu untersuchen und nicht ein spezifisches Verfahren abzubilden (Tab.74). Der Unterschied in den Ergebnissen war auf die Spezifität der grundlegenden Daten und die Tatsache zurückzuführen, dass keine Primärdaten zu Berechnung verwendet wurden.

In der zweiten Studie von Stoessel et al. (2012) aus der Schweiz wurden die Systemgrenzen breiter als bei Audsley et al. (2009), konkret vom Anbau bis zum Verkaufsort (POS) gewählt. Zusätzlich wurde der Carbon Footprint für verschiedene Transport-Szenarien ermittelt. Der geringste Carbon Footprint wurde für weißen Spargel aus der Schweiz mit nationalem Vertrieb errechnet. Dieser lag bei ca. 700-750 g CO₂e/kg Spargel. Damit liegt der Wert für heimischen Anbau in der gleichen Größenordnung wie in der vorliegenden Studie (0,5-1,3 kg CO₂e/kg Spargel) für regionalen Anbau und Vertrieb (Tab.74).

Außerdem wurden in der Schweizer Studie die PCF-Werte für den Import per LKW aus Slowenien (ca. 1 kg CO₂e/kg Spargel), für den Import per Schiff aus Peru (ca. 1,9 kg CO₂e/kg Spargel) und für den Import aus Peru per Luftfracht (ca. 12,2 kg CO₂e/kg Spargel) ermittelt

(Stoessel et al., 2012). Im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit für den Import per Containerschiff aus Peru sind die Werte der Schweizer Studie um etwa 500 g CO₂e/kg Spargel niedriger, weil hier keine Land Use Change-Emissionen (1,5 kg CO₂e/kg peruanischer Spargel) in die Analyse einbezogen und die Umrechnungsfaktoren für den gekühlten Schiffstransport geringer angesetzt wurden. Beim Import per Luftfracht aus Peru sind die Werte der Schweizer Studie ca. 4,2 kg CO₂e/kg Spargel höher, weil im Gegensatz zu der vorliegenden Studie ein bestimmter Flugzeugtyp mit einer geringeren Transporteffizienz im Bereich der Emissionen für die Analyse gewählt wurde und die Transportmenge unterschiedlich war (Tab. 74).

In einem noch laufenden Projekt berechnete Lampert (2013) den PCF während der Vermarktung und Use-phase von Spargel mit 408 g CO₂e/kg Spargel. Diese Berechnungen erfolgten auch nach der neuen PAS 2050-1 und liegen im Vergleich in der gleichen Größenordnung wie die Werte der vorliegenden Arbeit (404-527 g CO₂e/kg Spargel) (Tab. 74).

Tabelle 74: Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer int. Studien in kg CO₂e/kg Spargel

Autor	Anbau	Verzehr	Transportmittel	PCF bis RDC	PCF bis POS
Vorliegende Arbeit	Deutschland	Deutschland	LKW	0,49	0,51
	Peru	Deutschland	Containerschiff	2,37	2,39
	Peru	Deutschland	Luftfracht	7,72	7,74
Audsley et al. (2009) England	England	England	LKW	1,94-2,39	entfällt
Stössel, (2012) Schweiz	Spargel (Schweiz)	Schweiz	LKW	entfällt	0,7-0,75
	Slowenien	Schweiz	LKW	entfällt	1
	Peru		Containerschiff	entfällt	1,9
	Peru		Luftfracht	entfällt	12,2

7.2 Vergleich der Anbauverfahren bei Rhabarber

Rhabarber ist im Anbau eine als extensiv einzuordnende Kultur (Tab. 75). Daher lagen die Treibhausgasemissionen (THG), die innerhalb des Lebenszyklus des Rhabarbers verursacht wurden, um 0,4-1,2 kg CO₂e unter denen der intensiven Spargelkultur. Beim Rhabarber wurden zwei verschiedene Anbauverfahren hinsichtlich des Carbon Footprints analysiert. Bei einem der beiden wurde mittels eines Heizsystems die Bodentemperatur im Frühjahr angehoben, und es wurden verschiedene Tunnelsysteme eingesetzt. In der Literatur gibt es nach derzeitigem Kenntnisstand bisher keine Carbon Footprint-Studien zum Rhabarber. Daher entfällt ein Vergleich mit anderen Studien (Tab. 75).

Tabelle 75: Breakdown des PCF bei Rhabarber in g CO₂e/kg Rhabarber

	Rhabarber (Großbetrieb)	Heizrhabarber (Großbetrieb)
Biogenic Carbon (potentieller Offset)	-24	-24
Anlegen der Kultur	1	41
Düngemittel (N,P,K)	29	29
Lachgasemissionen	9	9
Pflanzenschutz	2	2
Pflegemaßnahmen und Ernte	3	2
Transport zum Verkaufsort	34	34
Einkaufsfahrt	124	124
Use-phase	158	158
Product Carbon Footprint (PCF) von Rhabarber	336	375
Product Carbon Footprint (PCF) von Rhabarber ohne Biogenic Carbon als 'Offset'	360	399

Tabelle 75 und Abbildung 10 zeigen den Breakdown und Vergleich des PCF innerhalb der beiden Rhabarberanbausysteme. Bei Kulturen mit wenig Input wie dem Rhabarber ist der Carbon Footprint maßgeblich durch die Vermarktungsphase beeinflusst und nicht durch den Anbau. Dieser Sachverhalt ließ sich auch bei einer früheren Studie zu den ebenso extensiven Kürbissen erkennen (Schaefer und Blanke, 2012). Beim Heizrhabarber war die hohe PE-

Kunststoffmenge der Heizschläuche, die nur für die Standdauer der Kultur nutzbar waren, für den höheren Carbon Footprint während der Anbauphase verantwortlich. Das Heizsystem verursachte ca. 40 g CO₂e/kg Rhabarber. Pumpen wurden im Vergleich zum Spargel aber keine benötigt, da das Wasser mit genügend Druck an den Feldern ankam. Das warme Wasser für die Bodenheizung war überschüssiges Heizwasser aus einem größeren, mit Fernwärme versorgten Hochhauskomplex, in der Nähe der Felder. Da die darin enthaltene Energie bereits zur Versorgung der Hochhäuser mit warmem Wasser genutzt wurde, wurde sie dem PCF nicht angerechnet (PAS 2050:2011). Die Menge der Energie ließ sich bei diesem Heizsystem aber anders als bei Spargel nicht genau ermitteln, was ein Szenario äquivalent zu Kapitel 7.1.2 für Rhabarber nicht zuließ. Um den PCF Wert aus Tabelle 75 in Abbildung 10 wiederzufinden, muss man das negativ abgebildete Biogenic Carbon nach der Option in der PAS 2050 von den positiven Werten abziehen. Berücksichtigt man das Biogenic Carbon bei der Berechnung des PCF nicht, kommt man auf 360-399 g CO₂e/kg Rhabarber.

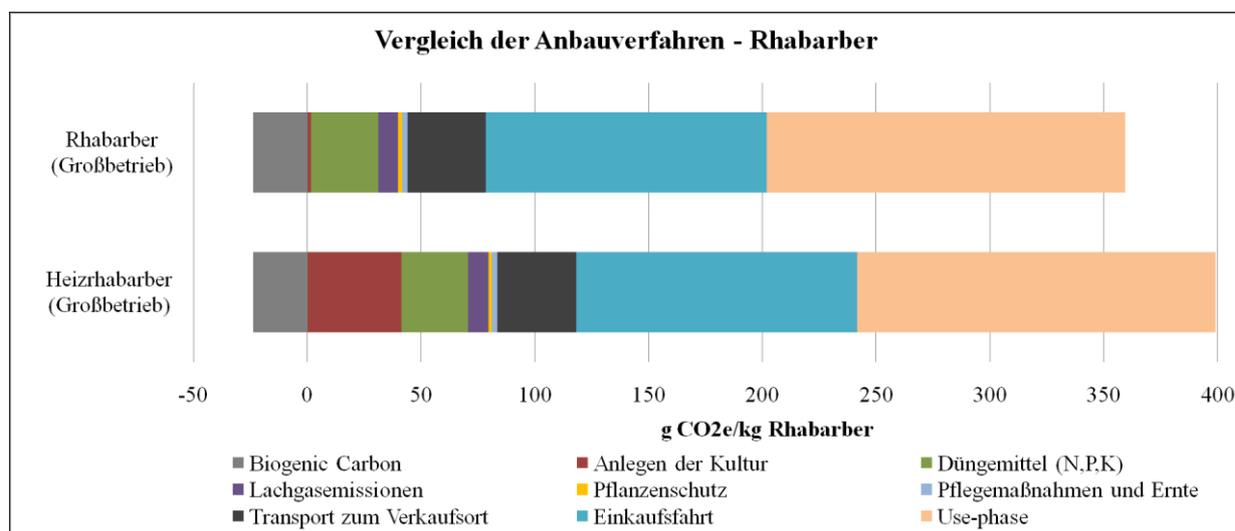


Abbildung 10: Vergleich des PCF bei Rhabarber

7.2.1 THG Einsparpotenziale bei Rhabarber

Die Einsparpotenziale innerhalb des Lebenszyklus des Rhabarbers lagen hauptsächlich in der Phase, in der der Konsument mit dem Produkt umgeht. Die Einkaufsfahrt des Konsumenten mit dem Privat PKW und die energieintensive Zubereitung des Rhabarbers machten zusammen zwischen 66 und 72% des PCFs aus. Hier könnten durch die Verwendung von umweltfreundlicheren Fortbewegungsmitteln und dem Verzicht auf die warme Zubereitung 282 g CO₂e/kg Rhabarber eingespart werden.

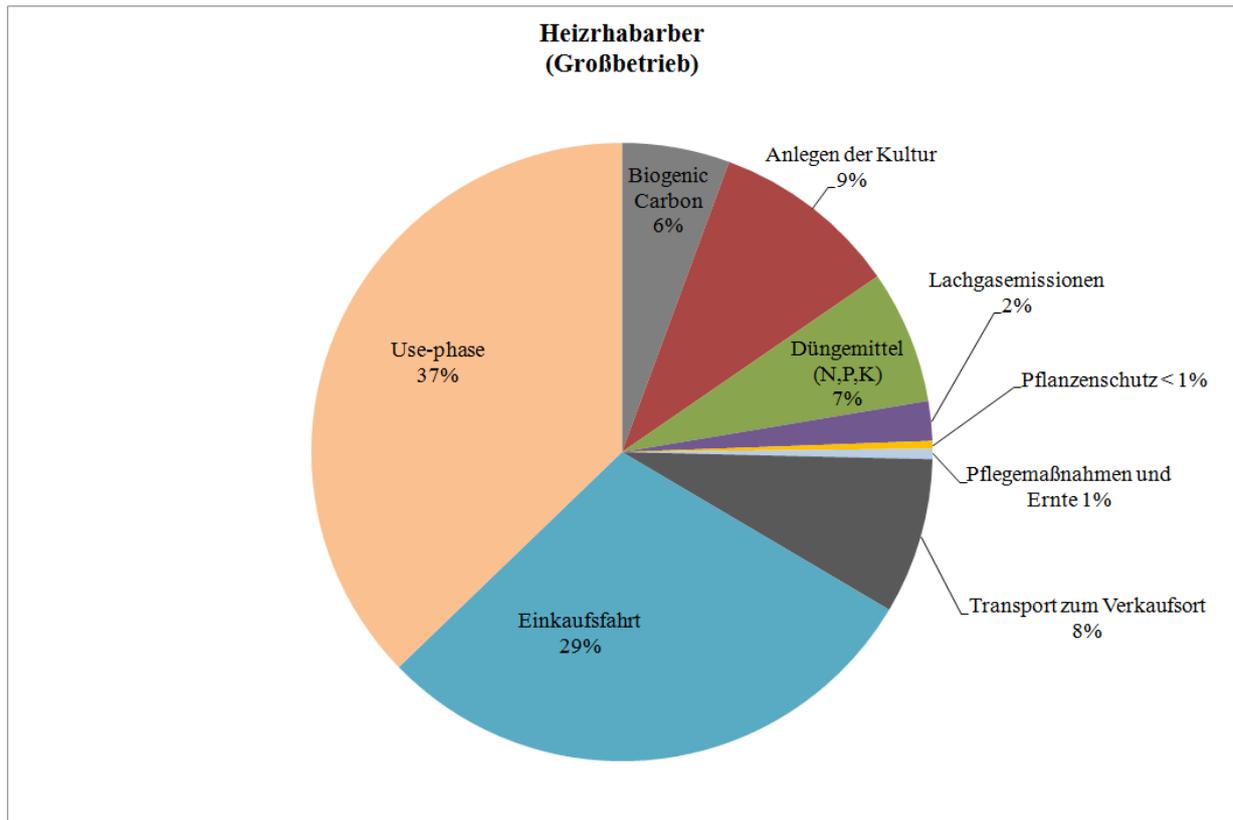


Abbildung 11: Prozentuale Anteile am PCF von Heizrhabarber

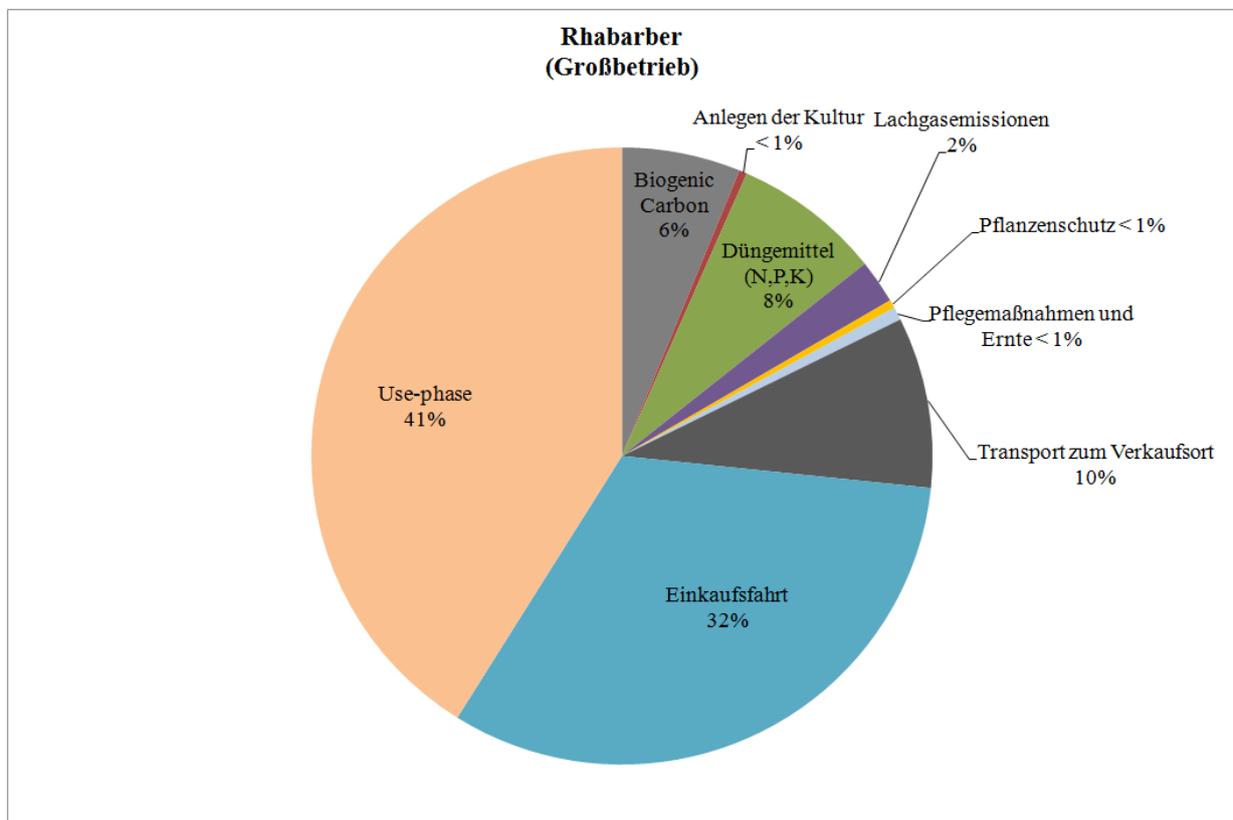


Abbildung 12: Prozentuale Anteile am PCF von Rhabarber

Während der Anbauphase waren die maßgeblichen Faktoren bei Heizrhabarber die PE-Kunststoffschläuche, die in den Boden verlegt wurden, und nur eine eingeschränkte Lebensdauer haben und die Herstellung der verwendeten Düngemittel. Gerade bei dieser Dauerkultur würden zum Beispiel langlebigere verzinkte Rohrleitungen den PCF senken (Abb. 11). Beim nicht beheizten Anbau waren es während des Anbaus fast ausschließlich die Herstellung der Düngemittel, die die Emissionen verursachte (Abb. 12). Da eine Verringerung der Düngemenge auch eine Reduktion des Ertrags mit sich bringen würde, waren hier keine Einsparpotenziale auf Seiten des Produzenten vorhanden. Beim Heizrhabarber könnten die PE-Schläuche des Heizsystems gegebenenfalls durch langlebigere Materialien, die nach der PAS 2050-1 nicht angesetzt werden, ersetzt werden, um so den relativen Carbon Footprint zu senken.

7.3 Vergleich der Anbauverfahren bei Erdbeeren

Bei den beiden Anbauverfahren für Erdbeeren unterschieden sich die klimaschädlichen Emissionen nur um ca. 16%. Die Erdbeeren, die unter dem Haygrove-Tunnel angebaut wurden, verursachten 59 g CO₂e/kg Erdbeeren mehr als die Freilanderdbeeren (Tab. 76). Zurückführen ließ sich dies auf die höheren Kunststoffmengen für den Folientunnel beim geschützten Anbau. Die maßgeblichen Faktoren bei den beiden Lebenszyklen lagen wie beim Rhabarber in der Phase, in der der Konsument mit dem Produkt in Berührung kommt. Die Einkaufsfahrt und die Use-phase machten zwischen 33% und 38% des Product Carbon Footprint aus. Um den endgültigen PCF aus Abbildung 13 zu entnehmen, muss der negativ dargestellte Wert für das Biogenic Carbon von den positiven Werten abgezogen werden. Die neue PAS2050-1 offeriert die Option, das Biogenic Carbon als 'Offset' anzusetzen. Nutzt man das Biogenic Carbon nicht als 'Offset', errechnet sich ein PCF von 382 g CO₂e/kg Freilanderdbeeren und 441 g CO₂e/kg Erdbeeren beim geschützten Anbau (Abb. 13).

Table 76: Breakdown des PCF bei Erdbeeren in g CO₂e/kg Erdbeeren

	Freilanderdbeeren	Erdbeeren (geschützter Anbau)
Biogenic Carbon (potentieller Offset)	-47	-47
Anlegen der Kultur	32	92
Düngemittel (N,P,K)	9	9
Lachgasemissionen	3	3
Stromverbrauch Erntehelfer	42	41
Pflanzenschutz	20	20
Pflegemaßnahmen und Ernte	2	2
Nachernteprozesse (Kühlung)	23	23
Verpackung	51	51
Transport zum Verkaufsort	38	38
Einkaufsfahrt	138	138
Use-phase	24	24
Product Carbon Footprint (PCF) von Erdbeeren	335	394
Product Carbon Footprint (PCF) von Erdbeeren ohne Biogenic Carbon als 'Offset'	382	441

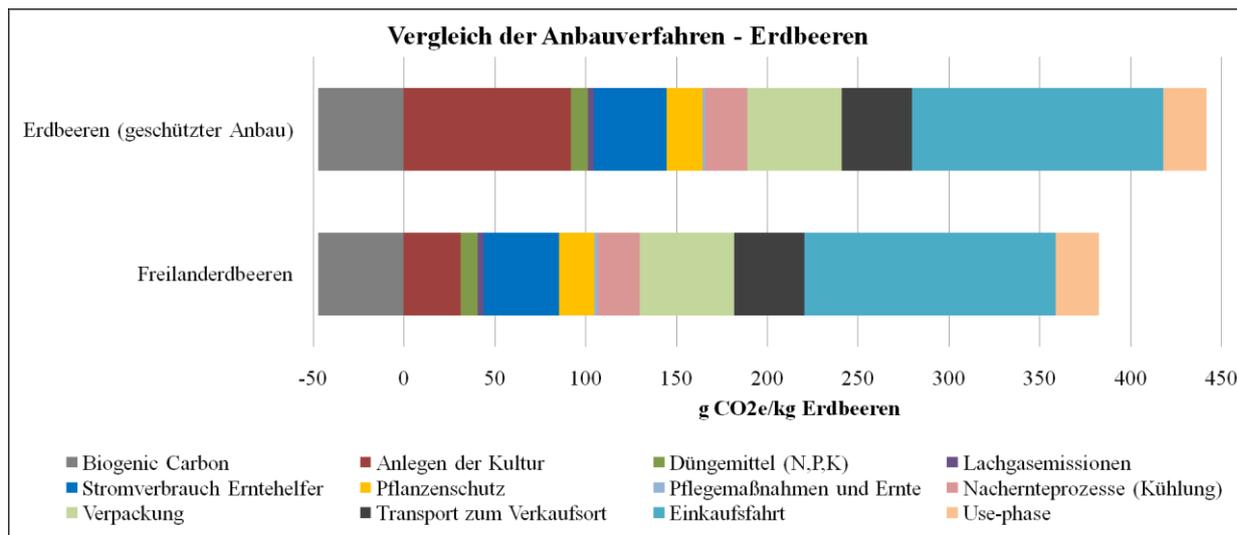


Abbildung 13: Vergleich des PCF bei Erdbeeren

7.3.1 THG Einsparpotenziale bei Erdbeeren

Bei der Lebenszyklusanalyse der Erdbeeren ließen sich Einsparpotenziale 1. für die Use-phase beim Konsumenten, 2. die Art der Vermarktung und 3. im Bereich der Kunststoffaufwandmenge ausmachen. Die Einkaufsfahrt des Konsumenten könnte wie beim Spargel durch ein umweltfreundlicheres Verkehrsmittel wie dem Fahrrad ersetzt werden, und der sofortige Verzehr ohne die Aufbewahrung im häuslichen Kühlschrank würde auch THG Emissionen einsparen. Hierdurch würde sich der PCF um 162 g CO₂e/kg Erdbeeren bzw. 33-36% bereits um ein Drittel reduzieren. Würde der Betrieb neben der Vermarktung über den Großhändler mehr den Verkauf ab Hof oder direkt in der Nähe des Feldes in Betracht ziehen, könnten hier Transportwege und somit Emissionen verhindert werden. Dies ist aber auf Grund der ortsfernen Lage des Betriebes im vorliegenden Fall schwer umzusetzen. Bei der Verwendung von Tunnelfolien für den geschützten Anbau könnten gegebenenfalls durch langlebigere Folien oder den Verzicht auf den geschützten Anbau Emissionen reduziert werden. Es sollte allerdings das Risiko von witterungsbedingten Ernteaussfällen und die Notwendigkeit der Ernteverfrüherung für eine erfolgreiche Vermarktung mit in Betracht gezogen werden (Abb. 14 u. Abb. 15).

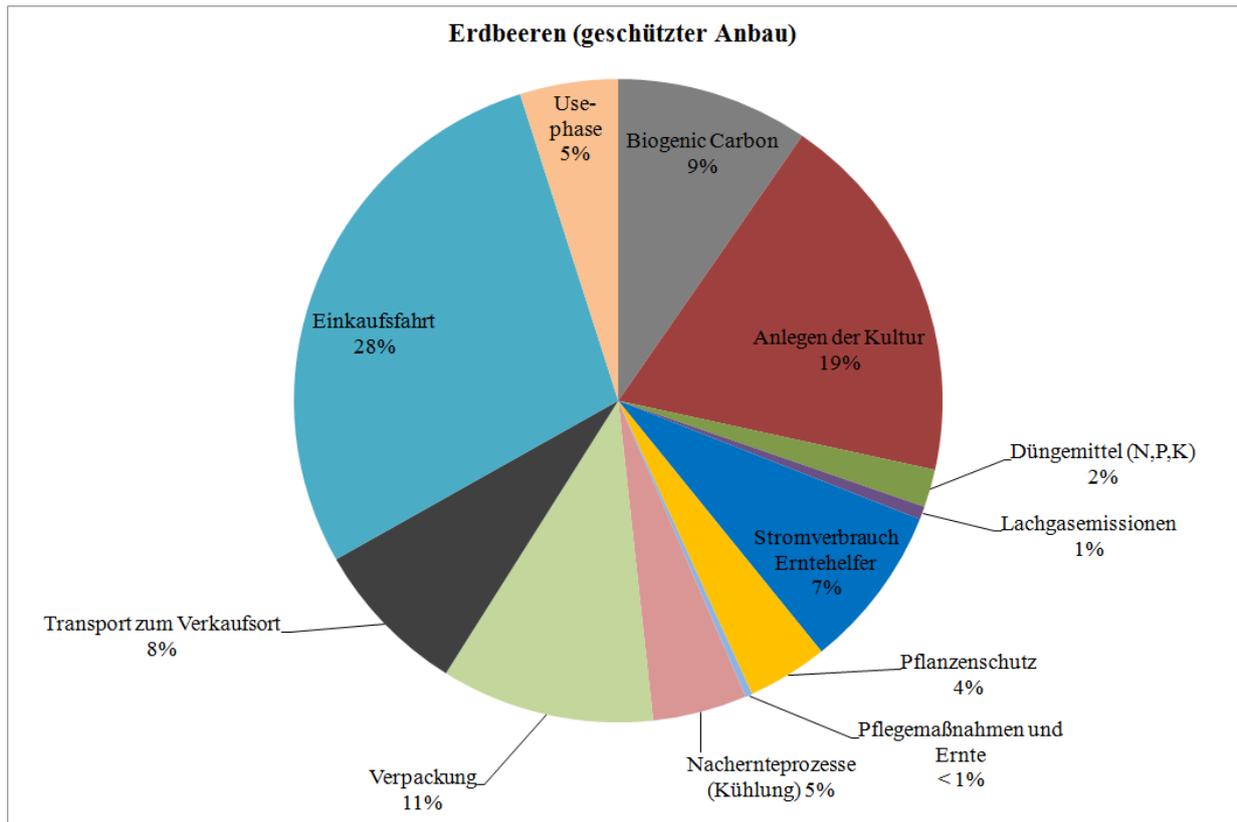


Abbildung 14: Prozentuale Anteile am PCF von Erdbeeren (Haygrove)

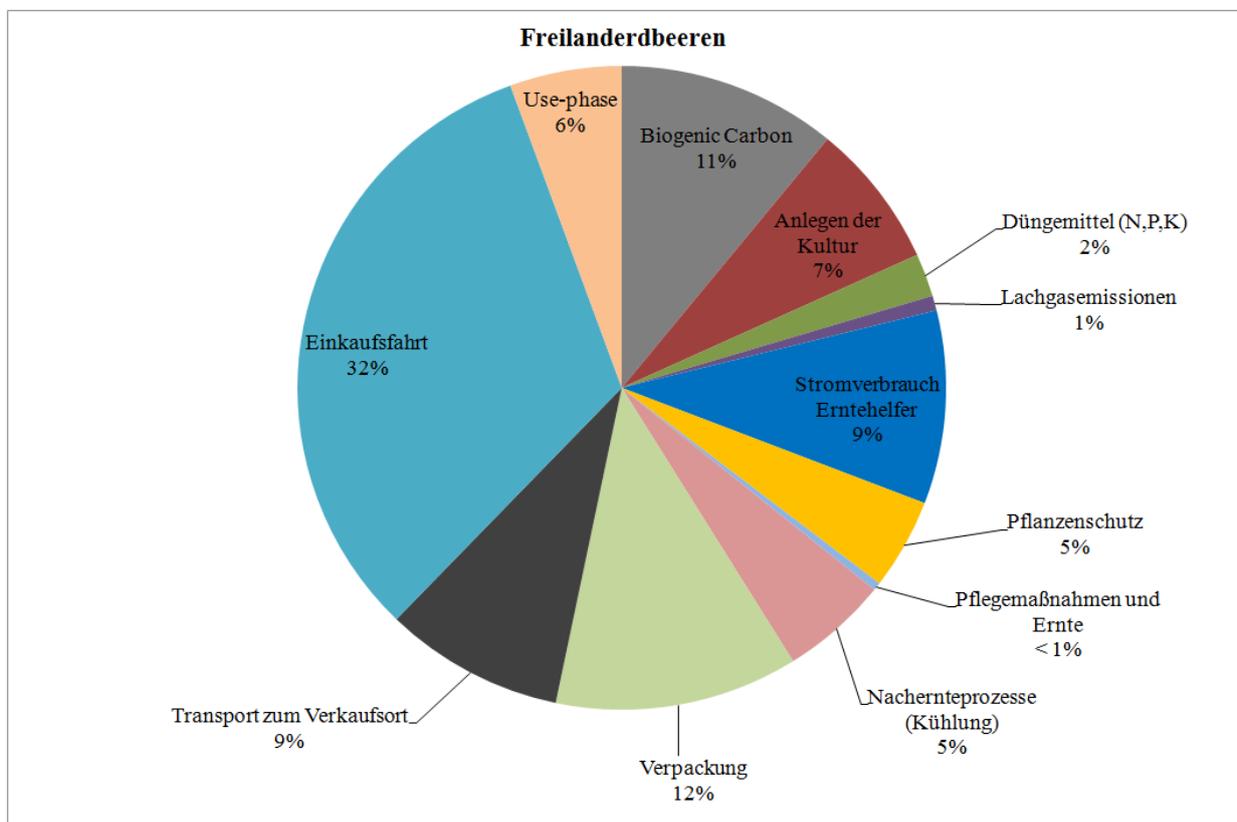


Abbildung 15: Prozentuale Anteile am PCF von Freilanderdbeeren

7.3.2 Internationaler Vergleich des PCF von Erdbeeren

In der Literatur wurden in den letzten Jahren nur wenige Studien weltweit zum Carbon Footprint von Erdbeeren bei verschiedenen Anbauverfahren durchgeführt. Die Ergebnisse stammten aus Spanien und England, aber auch aus Japan, den USA und Schottland (Mordini et al., 2009). Der höchste PCF Wert (4,9 kg CO₂e/kg Erdbeeren) für den Carbon Footprint von Erdbeeren wurde in Japan ermittelt (Yoshikawa et al., 2009). Der mehr als zehnfach höhere Wert im Vergleich zu dieser Studie (0,394 kg CO₂e/kg Erdbeeren, Tab. 76) ließ sich auf die Tatsache zurückführen, dass in der Studie aus Japan ein beheiztes Gewächshaus mit hohem fossilen Energieaufwand zur Kultivierung diente. Bei der Studie aus den USA wurde sowohl für konventionell als auch ökologisch erzeugte Erdbeeren der B2B Carbon Footprint ermittelt (Venkat, 2012). Für den konventionellen Anbau lag der Carbon Footprint bei 0,337 kg CO₂e/kg Erdbeeren und beim ökologischen Anbau bei 0,234 kg CO₂e/kg Erdbeeren (Venkat, 2012). Im Vergleich lag der B2B Carbon Footprint bis zum Verlassen des Hofes in der vorliegenden Arbeit bei 0,134-0,193 kg CO₂e/kg Erdbeeren. Der Unterschied ließ sich in diesem Fall auf den geringeren Anteil an Primärdaten, die Verwendung von Datenbanken, Unterschiede im Anbau und auf die Nichtberücksichtigung des Biogenic Carbon zurückführen. Lillywhite (2008) errechnete einen Carbon Footprint von 1,2 kg CO₂e/kg Erdbeeren in England. Auch hier wurde eine Business to Business (B2B) Studie durchgeführt, und die Werte lagen im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit um 1-1,1 kg CO₂e/kg Erdbeeren höher, wobei hier keine näheren Angaben zu den Systemgrenzen gemacht wurden und wiederum vermehrt auf Datenbanken gesetzt wurde.

Bei Williams et al. (2008) wurden spanische Erdbeeren, die in einer Doppelreihe unter einem Folientunnel in Huelva kultiviert wurden, mit englischen Erdbeeren verglichen. Die Studie betrachtete die Wertschöpfungskette bis zur Ankunft auf den regionalen Distributionszentren (RDC) in England. Auf Grund von höheren Erntemengen in Spanien und trotz eines energieintensiven Prozesses zum Abpacken in die unter Klimaaspekten bedenklichen PET-Verpackungen war das Ergebnis für spanische Erdbeeren mit dem Import per LKW nach England geringer (0,91 kg CO₂e/kg Erdbeeren) als das für die in England produzierten und distribuierten Erdbeeren (0,99 kg CO₂e/kg Erdbeeren). Die Betrachtung in der vorliegenden Arbeit kommt im Vergleich dazu auf ein Ergebnis von 0,156-0,214 kg CO₂e/kg Erdbeeren bis zum RDC. Für den Anbau geben Williams et al. (2008) einen Carbon Footprint von 0,35 kg CO₂e/kg Erdbeeren (Spanien) bis 0,85 kg CO₂e/kg Erdbeeren (England) an. Der Unterschied innerhalb dieser Studie ist auf die höheren Erträge in Spanien zurückzuführen. Für den Anbau kam man in der vorliegenden Arbeit auf 0,061-0,121 kg CO₂e/kg Erdbeeren, was deutlich unter den Angaben von Williams et al. (2008) liegt. Der Grund dafür ist, dass der PE-Folienaufwand für die Tunnelsysteme bei den betrachteten Anbausystemen in der Arbeit von Williams et al.

höher war und bis dato nicht die Möglichkeit bestand, das Biogenic Carbon als 'Offset' abzuziehen.

2008 wurde von der Co-operative Food aus England zusammen mit dem Carbon Trust eine Studie zu Erdbeeren aus Schottland und Spanien durchgeführt. Die Ergebnisse waren 2,125 kg CO₂e/kg Erdbeeren für Erdbeeren aus Schottland und 1,5 kg CO₂e/kg Erdbeeren für aus Spanien (The Co-Operative Group, 2008). Der schottische Wert ist laut Aussage der Co-operative Food auf die Verwendung von klimatechnisch bedenklichem Torf mit hohen verzögerten CO₂-Emissionen ('delayed emissions') zurückzuführen. Der bedeutendste Faktor bei den spanischen Erdbeeren war in dieser Studie der LKW Transport nach England.

Im Rahmen des deutschen Pilotprojektes zum PCF (Product Carbon Footprint) wurde von der REWE Group in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn (INRES Gartenbauwissenschaft) eine Fallstudie bezüglich des Carbon Footprints für Früherdbeeren aus Spanien durchgeführt, die auf dem deutschen Markt - bevor ab Mai deutsche Erdbeeren zur Verfügung standen - verkauft wurden (REWE Group, 2009). Die Emissionen für den Anbau in Spanien und den Transport bis zum POS liegen bei 0,646 kg CO₂e/kg Erdbeeren und für den gesamten PCF einschließlich der Use-phase beim Konsumenten bei 0,884 kg CO₂e/kg Erdbeeren (REWE Group, 2009). Der Grund dafür, dass die Werte aus der vorliegenden Arbeit geringer sind (POS: 0,173-0,232 kg CO₂e/kg Erdbeeren, Use-phase: 0,335-0,394 kg CO₂e/kg Erdbeeren), liegt in den weiteren Transportwegen aus Spanien und der Nichtberücksichtigung des 'Offsets' (Abb. 16).

Abschließend ist zu sagen, dass die international bekannten Carbon Footprint-Studien zu Erdbeeren je nach methodischem Ansatz und Wahl der Systemgrenzen variierten. Die Studie mit dem höchsten Anteil an Primärdaten war die Studie der REWE Group, die zusammen mit Blanke et al. vom INRES Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn erstellt wurde. Daher sind die Ergebnisse am ehesten vergleichbar.

Bei intensiver Durchsicht der Literatur zum Carbon Footprint von Erdbeeren wurden auch fälschliche Interpretationen aufgrund der verwendeten unterschiedlichen Bezugsbasis gefunden. So wurde der REWE Wert in der Schweizer Studie auf 1 kg Erdbeeren statt auf eine 500g Schale bezogen. Die Verkaufseinheiten bzw. die funktionellen Einheiten variierten in den Arbeiten zwischen 400g oder 500g Schale und 1 kg. Dies führte zum Teil zu Fehlinterpretationen bei einem Review-Artikel anderer Autoren (Mordini et al., 2009).

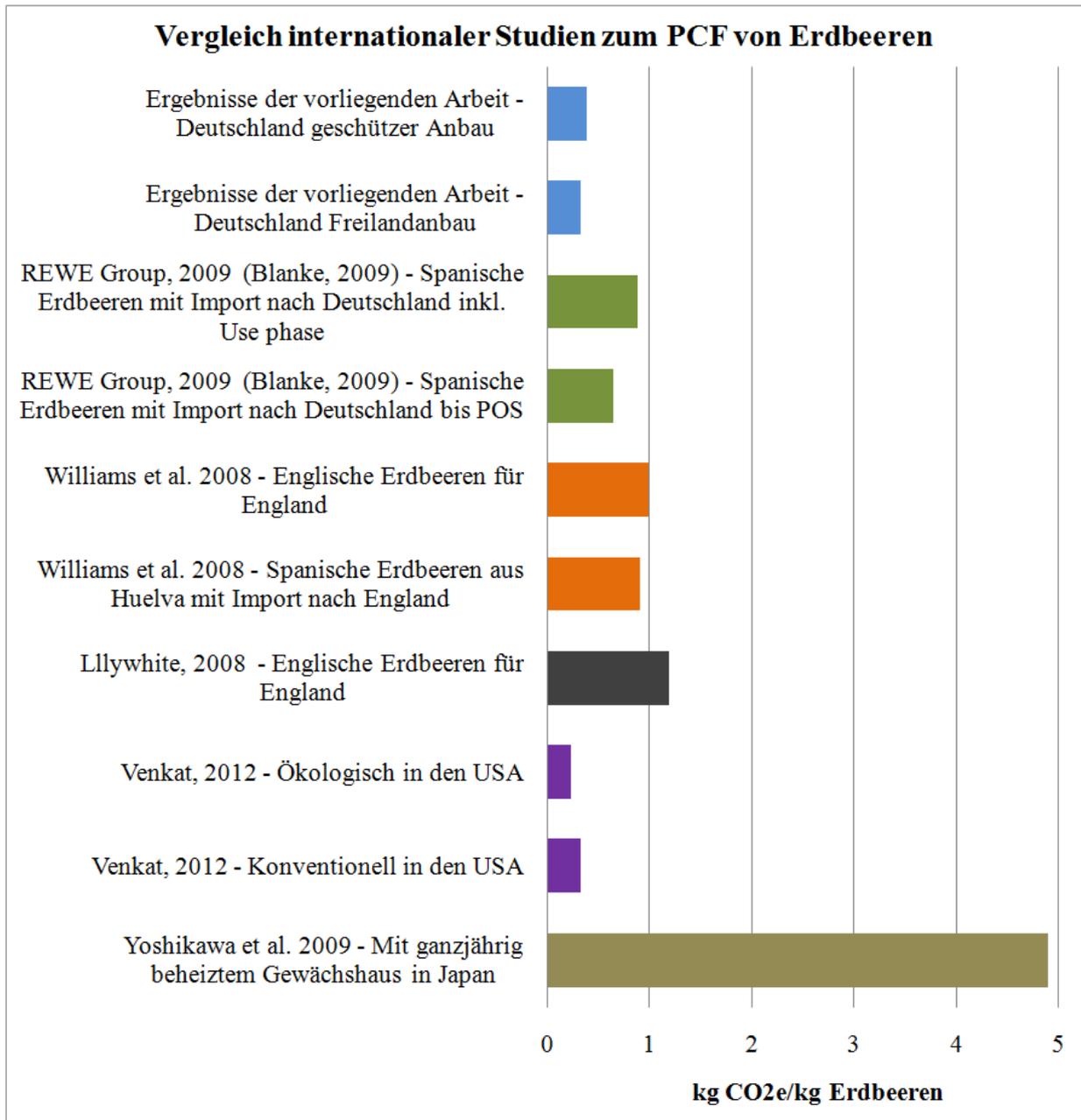


Abbildung 16: Vergleich internationaler Studien zum PCF von Erdbeeren

7.4 Fazit zur Erprobung der PAS 2050-1 im Rahmen des Pilotprojektes

Die PAS2050-1 "Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products - Supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS 2050" vereinfacht die B2B Carbon Footprint-Analyse im Gartenbau maßgeblich, da es hier vorher keine spezifischen Richtlinien zur Berechnung gab. Durch spezielle Angaben und Anleitungen zum Umgang mit gartenbauspezifischen Eigenheiten wird das Erstellen des Carbon Footprints strukturiert und schlüssig vorgegeben. Die beiden Excel Berechnungs-Tools funktionieren gut und haben eine breite Datengrundlage. Durch die Angabe von Sekundärdaten, die für eine solche Analyse unentbehrlich sind, wird das Arbeiten mit der PAS2050-1 wesentlich benutzerfreundlicher. Die Sekundärdaten sind zwar nicht vollständig, so dass eine gründliche Datenrecherche oder die Verwendung einer Datenbank erforderlich bleibt, aber die wichtigsten Sekundärdatenquellen werden genannt und Ihre Auswertung und Interpretation in die Verantwortung des Analysten gestellt. Falls die Analyse bis zum Konsumenten oder weiter gehen soll, dient die PAS2050:2011 als Ergänzung und bietet Regeln für den Umgang mit dem Transport und der Vermarktung. Durch die freie kostenlose Verfügbarkeit ist der Standard für Jedermann erhältlich, und mit einem erweiterten Kenntnisstand kann er sofort eingesetzt werden.

Das Pilotprojekt, zu dem auch diese Arbeit gehört, diente zur praktischen Erprobung des Standards, und die Ergebnisse gingen in die abschließenden Änderungen ein. Da die PAS in regelmäßigen Abständen überarbeitet wird, lässt sich immer auf aktuelle Änderungen im internationalen Kontext reagieren, das Dokument veraltet nicht und behält seine allgemeine Akzeptanz. Da sich alle Personen, die den Standard verwenden, online registrieren müssen, ist es möglich, die weltweite Verbreitung und die Nutzergruppen des Standards statistisch auszuwerten.

7.5 Ungenauigkeitsanalyse ('Uncertainty analysis')

Für die Berechnung der CO₂e-Emissionen der drei gartenbaulichen Kulturen in der vorliegenden Arbeit wurde ein hoher Anteil Primärdaten verwendet. Diese Daten wurden in persönlichen Interviews bei den Betriebsleitern oder Mitarbeitern der Betriebe erhoben und dann für drei Jahre dokumentiert, da es sich um mehrjährige Kulturen handelte. Zum Teil waren nicht alle Daten innerhalb der Betriebe dokumentiert oder aufgezeichnet und mussten durch Schätzungen rekonstruiert werden. Da diese Schätzungen jedoch auf langjähriger Erfahrung und dem fundierten Wissen der Betriebsleiter beruhte, ist eine hohe Verlässlichkeit gegeben.

Im Speziellen gibt es im Bereich der Stickstoffdüngung und der damit verbundenen Lachgasemissionen große Schwankungen, die von sehr vielen Faktoren abhängig sind. Die Witterung, das Klima, die genaue Bodenbeschaffenheit, die Art der Bearbeitung und die Bepflanzung sind nur einige dieser Faktoren, die in der PCF Analyse keine Berücksichtigung finden konnten. Der Emissionsfaktor für die Lachgasemissionen (0,825% N₂O/kg des applizierten Stickstoffs) wurde so gewählt, dass er den Verhältnissen der betrachteten Anbauregionen sehr nahe kommt (Kuikman et al., 2006). Die Ertragsdaten sind ebensolche meist geschätzten Werte, da keine hinreichend genaue Differenzierungsmöglichkeit zwischen Ausschussware und verkaufsfähiger Ware gegeben war. Außerdem unterliegen diese Daten auch natürlich bedingten jährlichen Schwankungen, die in so einer Analyse kaum betrachtet werden können. Der Stromverbrauch der Kühlhäuser war je nach Außentemperatur unterschiedlich und kann im Einzelfall in gewissem Maße variieren. Außerdem konnten Leckagen, die für Kühlmittelverluste sorgen nicht beziffert werden. Beim Transport könnten Ungenauigkeiten durch die nicht bekannten Grade der Beladung entstehen. Außerdem könnten die Ergebnisse durch Verkehrsbehinderungen und dadurch bedingte Routenänderung variieren. Eine weitere Fehlerquelle sind die Daten für die Use-phase beim Konsumenten, da hier auf Durchschnittswerte zurückgegriffen werden musste. Dadurch, dass der PCF zum Teil zu einem hohen Prozentsatz (Spargel 17-37%, Rhabarber 66-73%, Erdbeeren 33-38%) von der Einkaufsfahrt und dem Umgang mit dem Produkt abhängig war, könnten hier von Person zu Person und je nach persönlichem Verhalten starke Variationen auftreten. Dies gilt auch für die Zubereitung und Lagerung der Produkte zu Hause beim Konsumenten. Das individuelle Verhalten kann auch hier einen enormen Einfluss auf die entsprechenden Ergebnisse haben. Dennoch wurden die Annahmen so realitätsnah wie möglich getroffen.

Bei den Importszenarien wurden die deutschen Anbaudaten durch landesspezifische Erträge ergänzt. Die genaue Praxis vor Ort konnte nicht erfasst werden, und dies kann eine gewisse Ungenauigkeit hervorrufen. Für die Transportdistanzen beim Import wurde aber wieder auf praxisnahe Daten zurückgegriffen. Die Kühlung während des Transportes ist von vielen

externen Faktoren abhängig und dadurch zwar praxisorientiert aber je nachdem wie der Einzelfall aussieht, doch ungenau.

Der Fehler für den gesamten PCF lässt sich durch die hohe Bedeutung der individuellen Umstände des Konsumenten je nach Kultur auf bis zu 35% schätzen. Bei reiner Betrachtung der Anbauphase wird der Fehler mit unter 5 % geschätzt, da hier der hohe Primärdatenanteil die Genauigkeit der Analyse ausmache.

Um Einzelfälle zu analysieren, ist der Carbon Footprint ein sehr geeignetes Werkzeug. Außerdem können die Ergebnisse als Orientierung für ähnliche Lebenszyklen dienen. Um jedoch pauschale Angaben zum Carbon Footprint von Produkten zu treffen, ist die Variabilität innerhalb der Wertschöpfungsketten auch bei einzelnen Produktgruppen zu groß.

7.6 Empfehlungen für den Produzenten und Konsumenten von Obst und Gemüse

In der vorliegenden Arbeit wurde analysiert, was der Produzent im Rahmen seiner Anbaupraktiken und der Konsument an seinem Verhalten ändern könnte, um den Carbon Footprint oder die CO₂e-Emissionen zu reduzieren. Für den Anbauer oder Produzenten von gartenbaulichen Produkten lassen sich folgende allgemeine Empfehlungen für die Reduktion des Carbon Footprints seiner Produkte formulieren (Tab. 77).

Tabelle 77: Empfehlungen für den Produzenten im Gartenbau

1. Bedarfsgerechte und optimierte Düngung (vor allem Stickstoff) wirkt sich durch die Reduktion der indirekten Lachgasemissionen positiv auf den Carbon Footprint aus.
2. Weniger Überfahrten oder die Kombination von Arbeitsschritten.
3. Große Dächer können zur Gewinnung von Sonnenenergie genutzt werden.
4. Verwendung von langlebigeren Materialien bei Folien, Schläuchen und ähnlichem.
5. Sorgsamer Umgang mit Folien und Schläuchen zur Optimierung der Nutzungsdauer.
6. Vermehrter Einsatz von Mehrwegverpackungen (z.B. Europool System).

Bei allen untersuchten gartenbaulichen Kulturen war die Einkaufsfahrt und Use-phase immer ein bedeutender Faktor in der Analyse. Um den persönlichen Carbon Footprint des Konsumenten gering zu halten, könnte er die folgenden Empfehlungen für sein Einkaufsverhalten berücksichtigen (Tab. 78).

Tabelle 78: Empfehlungen für den Konsumenten

1. Kleine Einkäufe wenn möglich mit dem Fahrrad, zu Fuß oder dem ÖPNV erledigen oder ggf. Carsharing-Produkte in Städten nutzen.
2. Wenn man zum Einkaufen mit dem Auto fährt, einen möglichst großen Einkauf tätigen.
3. Einkäufe bei Fahrten erledigen, die man nicht umgehen kann (z.B. auf dem Weg zur Arbeit)
4. Körbe, Jutebeutel und andere Tragehilfen sind immer besser als Plastiktüten.
5. Regionale und saisonale Produkte haben keine weiten Transportwege hinter sich.
6. Da der PCF von Gemüse und Obst wesentlich geringer ist als der von Fleisch, fleischfreie Tage einlegen.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Product Carbon Footprint der gartenbaulichen Kulturen Spargel, Rhabarber und Erdbeeren nach dem neuen Carbon Footprint-Standard für den Gartenbau (PAS 2050-1) ermittelt. Dabei wurden der beheizte und nicht beheizte Spargelanbau eines Großbetriebes in der Nähe von Hürth (Köln) und ein weiteres nicht beheiztes Spargelanbauverfahren eines Nebenerwerbsbetriebes aus Bornheim (Bonn) analysiert. Zusätzlich wurden Szenarien für einen Spargelimport mit dem Schiff und dem Flugzeug aus Peru analysiert. Beim Rhabarber unterschieden sich die beiden Anbauverfahren ebenfalls. In einem Falle erfolgte die Kulturführung unter Einsatz eines Heizsystems, im anderen Falle lag ein unbeheiztes Verfahren vor. Beim Erdbeeranbau konnte einmal der Freilandanbau und der geschützte Anbau unter Haygrove-Folientunneln bezüglich seiner Klimarelevanz bewertet werden. Dabei spielten die unterschiedlich hohe Kunststoffmenge und Energie der Anbauverfahren hinsichtlich der CO₂e-Emissionen eine bedeutende Rolle. Eine hohe Genauigkeit der Analyse wurde damit sichergestellt, dass als Berechnungsgrundlage ca. 80% vor Ort selbst ermittelte Primärdaten dienten, die mit Hilfe von Interviews erhoben wurden. Diese wurden mit Sekundärdaten aus der Literatur ergänzt. Die neue PAS 2050-1 für den Gartenbau und PAS2050:2011 dienten als Regelwerk und Standard für die Berechnung des Product Carbon Footprints. Aufgrund der aktiven Mitwirkung in der Expertengruppe, die die neue PAS 2050-1 speziell für das Erstellen von Carbon Footprints bei gartenbaulichen Kulturen erarbeitete, konnten die Ergebnisse dieser Arbeit auch in das Pilotprojekt zur Erprobung dieser PAS 2050-1 mit einfließen.

Die Systemgrenzen für diese Lebenszyklusanalysen bzw. für den Carbon Footprint wurden so breit wie möglich, von der Jungpflanzenlieferung bis einschließlich zur Verbrauchsphase beim Konsumenten gewählt.

Die funktionelle Einheit war bei allen gartenbaulichen Kulturen einheitlich ein Kilogramm verkaufsfertige Ware. Während der Anbauphase bis zum Verlassen des Hofes (Business to Business) wurde nach der neuen PAS 2050-1 für gartenbauliche Produkte gearbeitet und nach dem Verlassen des Hofes für den Transport und die Verbrauchsphase (Business to Consumer) die PAS 2050:2011 verwendet. Der Land Use Change (LUC) spielte aufgrund der langjährigen Nutzung der Flächen als landwirtschaftliches Ackerland (über 20 Jahre) bei allen Anbauverfahren keine Rolle, nur bei dem Importszenario aus Peru war der LUC von Bedeutung. Ausschuss konnte bei der selektiven Ernte direkt auf dem Feld verbleiben oder wurde nach der Sortierung zurückgeführt.

Spargel wies mit dem unbeheizten Anbauverfahren des Großbetriebes bei Hürth mit 815 g CO₂e/kg Spargel den besten Product Carbon Footprint auf. Den zweitbesten Carbon Footprint hatte der ebenfalls nicht beheizte Spargel des Nebenerwerbsbetriebes mit 1.322 g CO₂e/kg Spargel. Der Unterschied kam durch die energieintensive Kühlung während der Nachernte und

den ungünstigeren Vermarktungsweg bei dem Nebenerwerbsbetrieb zustande. Wie erwartet war der Carbon Footprint des beheizten Anbauverfahrens mit 1.570 g CO₂e/kg Heizspargel auf Grund der wesentlich höheren Kunststoffmenge und des hohen Energieaufwandes für den Betrieb der Warmwasserpumpen am höchsten. Die Heizenergie stammte dabei aus einer nahegelegenen Rußfabrik und konnte kostengünstig als Abwärme bezogen werden. Diese Energie wurde nicht in die Analyse einbezogen, da die Emissionen dafür der Rußfabrik angerechnet wurden. Der Importspargel aus Peru per Schiff hatte im Vergleich zum deutschen Spargel einen fast doppelt so hohen PCF von 2.691 g CO₂e/kg Spargel und der per Luftfracht importierte Spargel, einen ca. vier mal so hohen PCF von 8.042 g CO₂e/kg. Zum Transport kamen dabei noch die durch den Land Use Change in Peru verursachten Emissionen dazu.

Für den extensiven Anbau von Rhabarber betrug der Carbon Footprint beim beheizten Verfahren 375 g CO₂e/kg Heizrhabarber und beim Anbau ohne Bodenheizung 336 g CO₂e/kg Rhabarber. Der Unterschied war hierbei maßgeblich auf die Verwendung einer höheren Kunststoffmenge bei dem Heizsystem zurückzuführen. Wie beim beheizten Spargel konnte auch beim beheizten Rhabarber Abwärme, die sonst keine Verwendung gefunden hätte, als Heizenergie dienen. Bei Rhabarber stammte das warme Wasser aus einem größeren mit Fernwärme versorgten Hochhauskomplex. Diese Energie floss laut PAS 2050:2001 nicht in die Analyse mit ein, weil die aus der Energiegewinnung resultierenden Emissionen bereits der ersten Nutzung angerechnet wurden. Der geschützte Erdbeeranbau mit einem Haygrove-Tunnelsystem lag mit 394 g CO₂e/kg Erdbeeren nur etwa 10% über dem Freilanderdbeeranbau mit 335 g CO₂e/kg Freilanderdbeeren, wobei der einzige Unterschied im höheren Folienaufwand für die Abdeckung der Haygrove-Tunnel lag.

Bei allen drei gartenbaulichen Kulturen spielte die Verbrauchsphase mit der Einkaufsfahrt mit dem Privat PKW, der Lagerung der Ware im häuslichen Kühlschrank und der Zubereitung mit 19-73% eine sehr bedeutende Rolle beim Product Carbon Footprint. Außer beim Heizspargel machte die Anbauphase mit Faktoren wie der Düngung (2-12%), dem Pflanzenschutz (1-5%) etc. nie mehr als 50% der Emissionen aus. Hierdurch wird die große Mitverantwortung der Konsumenten herausgestellt und es konnten Empfehlungen für das Einkaufsverhalten, sowie die Verwendung weniger klimaschädlicher Verkehrsmittel vorgeschlagen werden.

Bei der Betrachtung des Carbon Footprints der in Deutschland angebauten gartenbaulichen Produkte im Kontext mit anderen Nahrungsmitteln wie Fleisch oder Milchprodukten lässt sich deutlich erkennen, dass die in der vorliegenden Schrift behandelten pflanzlichen und unverarbeiteten Produkte wesentlich klimafreundlicher sind als tierische oder verarbeitete Lebensmittel.

9 Literaturverzeichnis

- Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J., Murphy-Bokern, D., Webster, C., and Williams, A. (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050. FCRN-WWF-UK.
- Befve, C. - Camposol - Weltgrößter Spargelexporteur. Spargel und Erdbeerprofi, 2. Ausgabe 09.04.2009.
- Behr, H.-C. (2012): Marktbilanz Gemüse 2012, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH (AMI) (Hrsg.), Bonn.
- Blanke, M. und Burdick, B., 2005, Food (miles) for thought: Energy balance for locally - grown versus imported apple from New Zealand. Environmental Science and Pollution Research 12 (3), 125- 127.
- Blanke, M. und Kirsch, A., 2005, Kompostkompendium. Verband Gartenbau, Bonn-Bad Godesberg, 198 Seiten.
- Blanke, M., Denstedt, C., Eimer, M., Breloh, L., Lünebug-Wolthaus, J., 2009: Carbon Footprint spanischer Früherdbeeren. PCF Workshop, Presseforum Rotes Rathaus Berlin 20. Februar 2009.
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H., 2002. Modelling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. Global Biogeochemical Cycles 16: 1080-1088
- BSI, 2008. PAS 2050: October 2008. Specification for the assessment of life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards. London, England
- BSI, 2010. PAS 2050 Review 2011: Summary of the Changes to PAS 2050 and rationale. Discussion paper of the PAS 2050.
- BSI, 2011. PAS 2050:2011. Specification for the assessment of life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards. London, England
- BSI, 2012. PAS 2050-1:2012: Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products - Supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS 2050. British Standard. London, England
- Buser, J., Lieback, J.U., Gnebner, D., Schumacher, S., 2008. Der Product Carbon Footprint (PCF) - CO₂ Bilanzierung für Produkte. Der Umweltbeauftragte 16. Jahrgang, November 2008, 5-6.

- Dalgaard, T., Halber, N., Porter, R. P., 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87, 51-65.
- Elcock, D., 2007. Life Cycle Thinking for Oil and Gas Exploration and Production Industry. Environmental Science Division, Agronne, National Laboratory.
- Eriksson, E., Karlsson, P., Hallberg, L., Jelse, K., 2010. Carbon Footprints of Cartons in Europe - Carbon Footprint methodology and biogenic carbon sequestration. IVL Swedish Environmental Research Institute. IVL Report B1924
- FAO, 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/corp/statistics/en/> - aufgerufen am 8.12.2011
- Gemis 4.6, Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.6. Öko Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie, 2010. www.gemis.de
- Green, M., 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use In: Helsel, Z. R. (Ed.), *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*, Vol.7. Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-42753-8.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-032-4
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2011: Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- ISO, 2006 a. ISO 14040. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principle and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

- ISO, 2006 b. ISO 14044. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirement and Guidelines, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Klöpffer, W., Grahl, B., 2009. Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim an der Bergstraße
- Kool, A., Marinussen, M., Blonk Milieu Advies, Gouda, 2012. GHG Emissions of N,P and K fertilizer production, Version: D01, 15.2 2012.
- Kuikmann, P.J., van der Hoek K.W., Smit, A., Zwart, K., 2006. Update of emission factors for nitrous oxide from agricultural soils on the basis of measurements in the Netherlands. Alterra report 1217. 40 pp. Alterra cerealis publishers, Wageningen, Niederlande
- Lampert, P. 2013. The consumer`s contribution to the product Carbon Footprint of asparagus. 48. Gartenbauwissenschaftliche Jahrestagung, Bonn. BHGL Schriftenreihe Band 29, 141
- Lillywhite, R., 2008. The environmental footprint: A method to determine the environmental impact of agricultural production. University of Warwick, UK.
- LTZ, 2012 A. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg: Pflanzenproduktion 2012 - Pflanzenschutz im Erwerbsgemüsebau - Informationsschrift, Merkblatt
- LTZ, 2012 B. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg: Pflanzenproduktion 2012 - Pflanzenschutz im Erwerbsobstbau - Informationsschrift, Merkblatt
- Mordini, M., Nemecek, T., Gaillard, G., 2009. Carbon and Water Footprint of Oranges and Strawberries - A Literature Review. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Switzerland
- Nil, M., 2009. Vertrauen schaffen in die Berichterstattung von Klimagasemissionen. UmweltWirtschaftsForum Vol. 17 No. 2, 219-224.
- Owens, J. W., 1997. Life Cycle Assessment. Constraints on Moving from Inventory to Impact Assessment. Journal of Industrial Ecology. Vol.1 No. 1, 37-49.
- PlasticsEurope Eco-Profiles 2008-2011. <http://www.plasticseurope.org/Default.aspx>
Abgerufen am 07.06.2013
- REWE Group, 2009. Fallstudie "Best Alliance". Früherdbeeren der REWE Group. Dokumentation. Fallstudie von M. Blanke im Rahmen des PCF (Product Carbon Footprint) Pilotprojekts Deutschland von Thema1. Accessed 16.09.2009. Verfügbar unter: http://www.pcf-projekt.de/files/1232962839/pcf_rewe_erdbeeren.pdf.
- Schaefer, F., M.M. Blanke, 2012. Farming and marketing system affects carbon and water footprint - a case study using Hokaido pumpkin. J. Cleaner Production 28, 113-119.

- Schmied, M., Knörr, W., 2011. Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik. DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V.
- Staaf, H., 2004. Methodology for calculating N₂O emissions from agricultural soils in Sweden, remarks on national emission factors. Presentation Expert meeting on improving the quality of greenhouse gas emissions for category 4D, 21-22 October 2004, Ispra, Italy
- Stoessel, F., Juraske, R., Pfister, S., Hellweg, S., 2012. Life Cycle Inventory and Carbon and Water Foodprint of Fruits and Vegetables: Application to a Swiss Retailer. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 3253-3262
- The Co-operative Group, 2008. Sustainability Report 2008/09. http://www.co-operative.coop/Corporate/PDFs/sustainability%20report%20200708_final.pdf
Abgerufen am 07.06.2013
- Tarasova, O. A., Koide, H., Dlugokencky, E., Hall, B., Montzka, S. A., Krummel, P., Brunke, E., Scheel, H.-E., 2011. Greenhouse Gas Bulletin - The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere - Based on Global Observations through 2010. EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p.11012
- Tränkner, G., (Hrsg.) 1968. Taschenbuch Maschinenbau - Band 3/II: Verarbeitungsmaschinen. VEB Verlag Technik Berlin 1968
- Tzilivakis J., Warner D.J., May M., Lewis K.A., Jaggard K., 2005. An assessment of energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural Systems 85 (2005) 101-119.
- Venkat K., 2012: Comparison of Twelve Organic and Conventional Farming Systems: A Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Perspective, Journal of Sustainable Agriculture, 36:6, 620-649
- Weiske, A., Benckiser, G., Herbert, T., Ottow, J.C.G., 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4 dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. Biology and Fertility of Soils 34, 109-117.
- Wiedmann, T., Minx, I., 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

- Williams, A., Pell, E., Webb, J., Moorhouse, E. & Audsley, E., 2008. Strawberry and tomato production for the UK compared between the UK and Spain. In: Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain, Nemecek, T. & Gaillard, G. (eds.). Zurich. Agroscope ART, 254-262, Schweiz.
- Yoshikawa, N., Amano, K. & Shimada, K., 2008. Evaluation of Environmental Load on Fruits and Vegetables Consumption and its Reduction Potential. Accessed 04.09.2009. Verfügbar unter: <http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2008EBJ-yoshikawanaoki.pdf>.

Danksagung

Ich bedanke mich bei Dr. Michael Blanke für die kontinuierliche Unterstützung beim Erstellen der Arbeit, die kritischen Kommentare während der kompletten Bearbeitungszeit und die herausragende Betreuung u.a. bei der Vorbereitung verschiedener Konferenzen.

Ein besonderer Dank gilt dem Doktorvater Prof. Georg Noga und dem Korreferenten Prof. Heinrich W. Scherer für die Übernahme des Referates.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts für Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn.

Weiterhin möchte ich der DNV Umweltgutachter und Zertifizierung GmbH für die externe Finanzierung der Dissertation und die Anstellung als Doktorand danken. Die Tätigkeit in diesem Unternehmen hat meine persönliche Entwicklung in den letzten drei Jahren sehr positiv beeinflusst.

Außerdem möchte ich allen Bekannten und Freunden danken, die mir mit Rat und Tat während der gesamten Bearbeitungszeit zur Seite standen.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mich in dieser Zeit sehr unterstützt haben.