

**Hochschule für Technik und Wirtschaft**  
University of Applied Sciences

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften I

## **BACHELORARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Arts

im Studiengang  
Betriebswirtschaftslehre

**PRODUCT CARBON FOOTPRINT:  
THEORIE UND PRAXIS AM BEISPIEL DER FIRMA O.-R. SCHULZE  
HOLZ- UND BAUSTOFFRECYCLING GMBH & Co. KG  
AUF BASIS DER DIN ISO 14067**

Verfasser:	Jessica Schulz Karl-Marx-Allee 88 10243 Berlin
Matrikelnr.:	s0530461
Telefon:	0172 / 4611813
Erstgutachterin:	Prof. Dr. Sabine Spelthahn
Zweitgutachter:	Dipl. Ing. Peter Herger
Ort:	Berlin
Abgabetermin:	7. Juni 2013

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Zielstellung der Arbeit.....	1
1.2 Methodik und Vorgehensweise .....	3
<b>2 Der Product Carbon Footprint – Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>4</b>
2.1 Definition .....	4
2.2 Ziele und Nutzen .....	4
2.3 Ökobilanzen als Basis der CO <sub>2</sub> -Bilanzierung .....	5
2.4 Product Carbon Footprint Standards .....	6
2.4.1 PAS 2050 .....	7
2.4.2 GHG-Protokoll .....	7
2.4.3 DIN ISO 14067 „Carbon Footprint von Produkten“ .....	8
2.4.3.1 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens.....	10
2.4.3.2 Sachbilanz.....	12
2.4.3.3 Wirkungsabschätzung .....	14
2.4.3.4 Auswertung .....	15
2.4.3.5 PCF-Kommunikation.....	16
<b>3 Die Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH &amp; Co. KG .....</b>	<b>18</b>
3.1 Unternehmensporträt.....	18
3.2 Hintergrund und Motivation zum PCF .....	19
<b>4 Das PCF-Berechnungsverfahren nach DIN ISO 14067 .....</b>	<b>20</b>
4.1 Ziel und Untersuchungsrahmen der quantitativen Bestimmung des Product Carbon Footprint.....	20
4.1.1 Ziel der Product Carbon Footprint Studie.....	20

4.1.2	Produktauswahl und die funktionelle Einheit.....	21
4.1.2.1	Charakterisierung „Altholz“ .....	21
4.1.2.2	Charakterisierung „Ersatzbrennstoff“ .....	22
4.1.3	Systemgrenze.....	23
4.1.4	Datenerhebung und Datenqualität .....	25
4.1.5	Festgelegte Annahmen.....	26
4.2	Recyclingprozess: Altholz .....	29
4.2.1	Sachbilanz für den PCF .....	29
4.2.1.1	Aufbereitung .....	29
4.2.1.2	Verwertung im Biomassekraftwerk.....	32
4.2.1.3	Distribution .....	33
4.2.1.4	Gutschrift .....	36
4.2.1.5	Endergebnis CO <sub>2</sub> -Fußabdruck.....	37
4.2.2	Wirkungsabschätzung .....	37
4.2.3	Auswertung .....	38
4.2.3.1	Vollständigkeit, Konsistenz und Datenqualität .....	39
4.2.3.2	Sensitivitätsanalyse .....	40
4.2.3.3	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	42
4.3	Recyclingprozess: Ersatzbrennstoff .....	43
4.3.1	Sachbilanz für den PCF .....	43
4.3.1.1	Aufbereitung .....	44
4.3.1.2	Distribution .....	46
4.3.1.3	Gutschrift .....	49
4.3.1.4	Endergebnis CO <sub>2</sub> -Fußabdruck.....	50
4.3.2	Wirkungsabschätzung .....	50
4.3.3	Auswertung .....	50
4.3.3.1	Vollständigkeit, Konsistenz und Datenqualität .....	52
4.3.3.2	Sensitivitätsanalyse .....	52
4.3.3.3	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	54
4.4	Zusammenfassende Übersicht der PCF-Studien .....	55

---

<b>5</b>	<b>Kommunikation des Product Carbon Footprint.....</b>	<b>56</b>
5.1	Interne Kommunikation .....	56
5.2	Öffentliche Kommunikation .....	57
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>61</b>
	<b>Anhangsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>XXVIII</b>

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung der Bachelorarbeit sowohl fachlich, als auch persönlich unterstützt haben. Ein besonderer Dank geht an meine Betreuer, Frau Prof. Dr. Spelthahn und Herr Herger, an die O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG, für die Möglichkeit meine Bachelorarbeit über dieses aktuelle Thema zu schreiben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und insbesondere bei meinem Freund, Fabian Grelak, für die Unterstützung, die sie mir gegeben haben, bedanken.

## Abkürzungsverzeichnis

AltholzV	Altholzverordnung
BMKW	Biomassekraftwerk
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EBS	Ersatzbrennstoff
EBS-Anlage	Ersatzbrennstoffaufbereitungsanlage
EF	Emissionsfaktor
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EN	Europäische Norm
fE	funktionelle Einheit
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Weltklimarat (en: Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	Internationale Organisation für Normung (en: International Organization for Standardization)
ORS	Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG
PAS	Public Available Specification
PCF	Product Carbon Footprint
PKR	Produktkategorieregeln
SV	Stromverbrauch
TD	Teschendorf
TF	Transportfaktor
THG	Treibhausgas
WD	Wilmersdorf

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Komponenten einer Ökobilanz.....	6
Abb. 2.2	Stoff- und Energieanalyse eines Produktsystems .....	12
Abb. 3.1	Standorte der Firma ORS .....	18
Abb. 4.1	Schematische Darstellung der Systemgrenze für das Recycling von Altholz .....	23
Abb. 4.2	Schematische Darstellung der Systemgrenze für die Herstellung von Ersatzbrennstoff .....	24
Abb. 4.3	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf .....	31
Abb. 4.4	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Altholzaufbereitungsanlage in Wilmersdorf .....	32
Abb. 4.5	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Bilanz der Vorkette der PCF-Studie Altholz (ohne Gutschrift) .....	38
Abb. 4.6	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen in der Distribution der PCF-Studie Altholz .....	39
Abb. 4.7	Auswertung der Sensitivitätsanalyse der PCF-Studie Altholz .....	41
Abb. 4.8	Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe der PCF-Studie Altholz .....	42
Abb. 4.9	Allokation nach Masse in der Hausmüllaufbereitung Berlin Köpenick für die PCF-Studie EBS .....	45
Abb. 4.10	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen der EBS-Anlage der PCF-Studie EBS .....	46
Abb. 4.11	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Bilanz der Vorkette der PCF-Studie EBS (ohne Gutschrift) .....	51
Abb. 4.12	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Bilanz der LKW-Transporte der PCF-Studie EBS (ohne Gutschrift) .....	51
Abb. 4.13	Auswertung der Sensitivitätsanalyse der PCF-Studie EBS .....	53
Abb. 4.14	Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe der PCF-Studie EBS .....	54
Abb. 5.1	Datenblatt Altholz .....	
Abb. 5.2	Datenblatt EBS .....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Treibhauspotential einiger Treibhausgase (Zeithorizont: 100 Jahre) .....	15
Tabelle 4.1	Altholzkategorien nach der AltholzV .....	21
Tabelle 4.2	Zusammenfassung der CO <sub>2</sub> -Emissionen der Biomassekraftwerke der PCF-Studie Altholz.....	33
Tabelle 4.3	Zusammenfassung der CO <sub>2</sub> -Emissionen Distribution (A) und (B) der PCF-Studie Altholz.....	35
Tabelle 4.4	Zusammenfassung des innerbetrieblichen Transports der PCF-Studie Altholz.....	36
Tabelle 4.5	Gutschriftenvergabe der PCF-Studie Altholz .....	37
Tabelle 4.6	Szenarien der Sensitivitätsanalyse für die Vorkette von Altholz.....	40
Tabelle 4.7	Zusammenfassung der CO <sub>2</sub> -Emissionen Distribution (LKW-Transporte) der PCF-Studie EBS.....	48
Tabelle 4.8	Zusammenfassung der CO <sub>2</sub> -Emissionen des innerbetrieblichen Transports der PCF-Studie EBS .....	49
Tabelle 4.9	Gutschriftenvergabe der PCF-Studie EBS .....	50
Tabelle 4.10	Szenarien der Sensitivitätsanalyse für die Vorkette von EBS .....	52
Tabelle 4.11	Zusammenfassende Übersicht der PCF-Studien .....	55



## Glossar

### ALLOKATION

Die Zuordnung der über den Lebensweg auftretenden Treibhausgasemissionen bei Koproduktion, Recycling und Abfallentsorgung.

### BIOMASSE

Material biologischer Herkunft, ausgenommen Material, das in geologische Formationen eingeschlossen ist oder in fossile Brennstoffe umgewandelt wurde, und ausgenommen Torf.

### BIOGENER KOHLENSTOFF

aus Biomasse stammender Kohlenstoff.

### CO<sub>2</sub>-ÄQUIVALENT (CO<sub>2</sub>E)

Einheit zum Vergleich der verstärkten Strahlung eines Treibhausgases mit der von Kohlendioxid.

### EMISSIONSFAKTOR (EF)

Masse eines Treibhausgases, die in Bezug auf einen Input oder Output eines Prozessmoduls abgegeben wird.

### FOSSILER KOHLENSTOFF

in fossilem Material enthaltener Kohlenstoff.

### FUNKTIONELLE EINHEIT (FE)

quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit.

### ÖKOBILANZ

Zusammenstellung und Beurteilung des Inputs und Outputs und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.

### PRIMÄRDATEN

quantifizierter Wert eines Prozessmoduls oder einer Tätigkeit, der sich aus einer direkten Messung oder einer Berechnung auf der Grundlage direkter Messungen an der ursprünglichen Quelle ergibt.

### PRODUCT CARBON FOOTPRINT (PCF)

Summe der Treibhausgasemissionen und des Treibhausgasentzugs in einem Produktsystem, beruhend auf einer Ökobilanz, unter Nutzung der einzelnen Wirkungskategorie Klimawandel.

### PRODUKT

jede Ware oder Dienstleistung.

**PRODUKTKATEGORIEREGELN**

Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien für eine Gruppe von Produkten mit einer gleichwertigen Funktion.

**LEBENSWEG**

aufeinander und miteinander verbundene Stufen des Produktsystems von der Gewinnung oder Erzeugung des Rohstoffs bis zur endgültigen Beseitigung.

**PRODUKTSYSTEM**

Zusammenfassung von Prozessmodulen mit Stoff- und Energieströmen die den Lebensweg eines Produkts modelliert und die eine oder mehrere festgelegte Funktionen erfüllt.

**PROZESSMODUL**

kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den Daten des Input und des Output quantifiziert werden.

**SEKUNDÄRDATEN**

Daten, die sich aus anderen Quellen als einer direkten Messung oder einer Berechnung auf der Grundlage direkter Messungen an der ursprünglichen Quelle innerhalb des Produktsystems ergeben.

**SENSITIVITÄTSANALYSE**

systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse einer PCF-Studie.

**SYSTEMGRENZE**

Satz von Kriterien zur Festlegung, welche Prozessmodule Teil eines Produktsystems sind.

**TREIBHAUSGAS (THG)**

gasförmiger Bestandteil der Atmosphäre, sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs, der die Strahlung bei spezifischen Wellenlängen innerhalb des Spektrums der infraroten Strahlung, die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und den Wolken abgegeben wird, aufnimmt und abgibt.

**TREIBHAUSGASEMISSION (THG-EMISSION)**

Masse eines Treibhausgases, die in die Atmosphäre freigesetzt wird.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Zielstellung der Arbeit

*„Der Mensch ist nicht das Produkt seiner Umwelt -  
die Umwelt ist das Produkt des Menschen.“*

Benjamin Disraeli (1804-81), britischer Politiker und Schriftsteller

Der weltweite Klimawandel ist als globales Umweltproblem stark in den Fokus der Politik, Wirtschaft und Gesellschaft gerückt und stellt die internationale Gemeinschaft vor eine große Herausforderung. Der überhöhte Anstieg der Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Erdatmosphäre<sup>1</sup> ist zum überwiegenden Teil auf anthropogene – durch den Menschen verursachte – Einflüsse zurückzuführen.<sup>2</sup> Die Akkumulation von Treibhausgasen, insbesondere von CO<sub>2</sub>, in der Erdatmosphäre, ist neben dem natürlichen Treibhauseffekt auch durch das Verbrennen von fossilen Energieträgern wie Kohle und Erdöl begründet<sup>3</sup> und führt zur Erwärmung des Klimas. Die negativen Folgen für die Natur, das Klima und auch für die Menschheit sind aufgrund der externen Effekte messbar.

Aus diesem Grund wurden auf politischer Ebene bereits wichtige Ziele vereinbart, die zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen führen sollen. Mit der Klimarahmenkonvention im Jahr 1992 setzte die internationale Klimaschutzpolitik erste Zeichen gegen dieses globale Umweltproblem. Sie wurde von den Vereinten Nationen (UN) verabschiedet. Das Protokoll von Kyoto aus dem Jahr 1997 stellt einen weiteren wichtigen Meilenstein in der Klimapolitik dar. In jenem wurden Verpflichtungen zur Reduktion und Stabilisierung von insgesamt sechs wichtigen Treibhausgasen vereinbart: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/ PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>).<sup>4</sup> Das Protokoll trat am 16. Februar 2005 in Kraft. Insgesamt haben sich 192 Staaten dazu verpflichtet, ihre Treibhausgas-Emissionen im Zeitraum von 2008 bis 2012 gegenüber dem Stand von 1990 um 5,2% zu senken.<sup>5</sup> Auf der Klimaschutzkonferenz 2009 in Kopenhagen wurde eine weitere wichtige Vereinbarung getroffen, welche ein Jahr später als übergreifendes Ziel festgelegt wurde: die Begrenzung der globalen Erderwärmung auf maximal zwei Grad Celsius zu vorindustriellem Niveau. In die-

<sup>1</sup> Vgl. Ströbele, Prof. Dr. Wolfgang; Pfaffenberger, Prof. Dr. Wolfgang; Heuterkes, Dr. Michael (2012): Energiewirtschaft. Einführung in Theorie und Politik. München: Oldenbourg, 3. Aufl., S. 339

<sup>2</sup> Vgl. Bärwaldt, Konstantin; Leimbach, Berthold; Müller, Friedemann (2009): Globaler Emissionshandel. Lösung für die Herausforderungen des Klimawandels? URL: <http://library.fes.de/pdf-files/id/ipa/06287.pdf>, S. 4 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>3</sup> Vgl. Ströbele, Prof. Dr. Wolfgang; Pfaffenberger, Prof. Dr. Wolfgang; Heuterkes, Dr. Michael (2012), S. 339

<sup>4</sup> Vgl. Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen vom 11.12.1997, Anlage A Treibhausgase

<sup>5</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2012): Klimaschutz. Internationale Verträge. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimapolitik/vertraege/index.htm> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

sem Zusammenhang müssen die Vertragsstaaten umfangreiche Maßnahmen entwickeln und ergreifen, die zu Reduzierungen der Emissionen führen, um somit das 2-Grad-Ziel zu erreichen.<sup>6</sup>

Der Übergang zu einer „Low Carbon Economy“ kann durch die Bilanzierung entstehender Treibhausgas-Emissionen bei Produkten und Dienstleistungen anhand eines Product Carbon Footprint (PCF) – zu Deutsch CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Produkten – messbar gemacht werden. Die Analyse der Klimaauswirkung von Produkten und Dienstleistungen sowie von Unternehmen ist eine essentielle Möglichkeit ökologisch, ökonomisch und sozial wirksame Maßnahmen zu entwickeln.<sup>7</sup> Die Verantwortung der Konsumenten gegenüber der Umwelt wird demnach Teil der unternehmerischen Verantwortung, sodass jeder Mensch durch seine Handlungen und Entscheidungen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Insbesondere wird durch das Recycling von Produkten eine Entlastung der Umwelt erreicht, da nicht nur wertvolle und endliche Ressourcen geschont werden, sondern vorwiegend auch CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden können.<sup>8</sup> Vor diesem Hintergrund haben sich bereits einige Initiativen (PCF Pilotprojekt Deutschland, Carbon Trust in Großbritannien, Carbon Footprint of Products Pilot Project in Japan) dieser Thematik gewidmet. Insbesondere wurden Empfehlungen zur Erfassung und Kommunikation des Product Carbon Footprint erarbeitet, da viele Unternehmen und Organisationen vor der Herausforderung standen, ohne einen einheitlichen Leitfaden den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ihrer Produkte zu ermitteln. Die International Standard Organisation (ISO) hat aus diesem Grund die Erstellung einer internationalen Norm vorangetrieben, sodass am 21. Mai 2013 der erste international geltende ISO-Standard zur einheitlichen Bilanzierung und Kommunikation des PCF veröffentlicht werden konnte.

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist die Ermittlung eines vollständigen Product Carbon Footprint für das Recycling von Altholz und die Herstellung von Ersatzbrennstoff am Beispiel des Unternehmens O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG (ORS). Dabei soll eine Berechnungsmethodik auf Basis der DIN ISO 14067 für die Bilanzierung des PCF entwickelt werden, die für weitere Produkte des Unternehmens anwendbar ist. Des Weiteren sollen die sich anschließenden Möglichkeiten der Kommunikation des Bilanzierungsergebnisses auf öffentlicher und nicht-öffentlicher Ebene untersucht werden, sodass eine Kommunikationsstrategie erarbeitet werden kann.

---

<sup>6</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2011): Klimaschutz. Klimapolitik. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimapolitik/index.htm> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>7</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): Produktbezogene Klimaschutzstrategien. Product Carbon Footprint verstehen und nutzen. URL: [http://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pools/Broschueren/KS\\_Strategien\\_barrierefrei.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/KS_Strategien_barrierefrei.pdf), S. 16 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>8</sup> Vgl. Vetter, Michael: Nachhaltigkeit durch Recycling, in Umwelt Magazin, 43. Jg., 2013, H. 4/5, S. 3

## **1.2 Methodik und Vorgehensweise**

Die Methodik zur Erreichung des Ziels dieser Arbeit orientiert sich im Wesentlichen an den Vorgaben der DIN ISO 14067. Vorab wird jedoch das Grundlagenwissen zur Bilanzierung eines Product Carbon Footprint dargestellt und diesbezüglich auf verschiedene Methoden und Standards eingegangen. Die wichtigsten Inhalte der DIN ISO 14067 werden im theoretischen Teil (Kapitel 2) wiedergegeben. Im dritten Teil dieser Arbeit folgt ein kurzes Unternehmensporträt der O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG sowie Hintergründe und die Motivation zur Erstellung einer CO<sub>2</sub>-Bilanz für Altholz und Ersatzbrennstoff. Im Anschluss daran folgt der Praxisteil dieser Bachelorarbeit: die Bilanzierung des Product Carbon Footprint. Das fünfte Kapitel gibt Auskünfte über die Möglichkeiten der öffentlichen und nicht-öffentlichen Kommunikation des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Anschließend rundet das Fazit, welches einen Bezug zur Zielstellung der Arbeit nimmt, diese Bachelorarbeit ab.

## 2 Der Product Carbon Footprint – Theoretische Grundlagen

### 2.1 Definition

Der Begriff „CO<sub>2</sub>-Fußabdruck“ geht auf das Konzept des „Ecological Footprint“ (zu deutsch Ökologischer Fußabdruck) von Rees und Wackernagel aus dem Jahr 1996 zurück. Die gemeinsame Grundlage basiert auf den Treibhausgasen, die durch menschliches Handeln entstanden sind und bedeutenden Einfluss auf das Klima haben.<sup>9</sup> Dabei fokussiert sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf das Treibhausgaspotential (en: Global Warming Potential) einer Ökobilanz.<sup>10</sup> In der einschlägigen Literatur werden verschiedene Definitionen verwendet. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) definiert den Begriff Product Carbon Footprint bzw. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf Basis der ISO-Norm 14067 folgendermaßen:

„Der Product Carbon Footprint bezeichnet die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung und bezogen auf eine definierte Nutzeinheit.“<sup>11</sup>

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird sich nur auf das Treibhausgas (THG) Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bezogen, da die Datenverfügbarkeit weiterer Treibhausgase, die im Protokoll von Kyoto reglementiert sind, nicht gegeben ist. Die funktionelle Einheit wird in den meisten Fällen in Massenmaße wie z.B. Tonnen (t) oder Kilogramm (kg) angegeben.

### 2.2 Ziele und Nutzen

Mit dem Product Carbon Footprint haben Unternehmen die Möglichkeit die Treibhausgasemissionen ihrer Produkte zu identifizieren, um somit mehr Transparenz für die Stakeholder bzw. Anspruchsgruppen zu erzeugen. Die Zielsetzungen eines CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks können sehr unterschiedlich ausfallen und werden vielfach in der Öffentlichkeit diskutiert. Darunter fällt zum Beispiel die quantitative Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Wertes entlang der Wertschöpfungskette, die sowohl die beteiligten Akteure (z.B. Lieferanten und Verbraucher), als auch vor- und nachgelagerte Prozesse berücksichtigen sollte.<sup>12</sup> So wird der Vergleich mit anderen Produkten der gleichen Produktkategorie oder auch unterschiedlicher Güter als weiteres mögliches Ziel benannt. Des Weiteren kann mit dem PCF das Ziel verfolgt werden,

<sup>9</sup> Vgl. Wiedmann, Thomas; Minx, Jan (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'. URL: [http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf), S. 2 (letzter Zugriff: 05.06.2013)

<sup>10</sup> Vgl. Stichnothe, Heinz: Carbon Footprint – Der britische „Standard“ PAS 2050 im Spiegel der Ökobilanz-Methodik und weitere Normierungsbestrebungen, in Feifel, Silke; Walk, Wolfgang; Wursthorn, Sibylle; Prof. Dr. Schebek, Liselotte (Hrsg.): Ökobilanzierung 2009 - Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. Karlsruhe, 2009, S. 43

<sup>11</sup> Zitiert nach BMU (2012), S. 18 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>12</sup> Vgl. PCF Pilotprojekt (2009): Product Carbon Footprinting – Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum? URL: [http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht\\_2009.pdf](http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht_2009.pdf), S. 8 f. (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

Reduktionspotentiale entlang des Lebensweges eines Produkts zu identifizieren, was wiederum den Nutzen hat, dass emissionsreiche Prozesse effizienter gestaltet und optimale Handlungsmöglichkeiten entwickelt werden können.<sup>13</sup>

Neben der mengenmäßigen Erfassung kann auch die Kommunikation der Ergebnisse eine weitere Zielstellung für Unternehmen darstellen. Anhand eines Produkts können diese ihre ökonomische und gesellschaftliche Verantwortung im Bereich des Klimaschutzes darstellen und dem Nachdruck verleihen. Aus Unternehmenssicht gestaltet sich dies in Form einer eigenen Klimastrategie oder durch die aktive Beteiligung an Klimaschutzprojekten zur Kompensierung des eigenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.<sup>14</sup> Diese bewussten Handlungen dienen der Information interessierter Kunden und Investoren und der PCF kann demnach ein Kaufargument sein.

Um die oben genannten Zielstellungen erreichen zu können ist eine einheitliche Methodik für den PCF eine wichtige Grundvoraussetzung. Im folgenden Abschnitt wird dazu Stellung bezogen und die derzeit wichtigen Standards in diesem Bereich dargestellt.

### 2.3 Ökobilanzen als Basis der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung

Die Ökobilanz ist eine Methode, bei der für bestimmte Produkte, Dienstleistungen oder das ganze Unternehmen systematisch alle Stoff- und Energieströme erfasst und deren Wechselwirkungen mit seiner Umwelt zusammengetragen werden. Dabei werden alle Phasen des Lebensweges eines Produkts – also von der Wiege bis zur Bahre – einbezogen.<sup>15</sup> Anhand des Beispiels einer Tafel Schokolade soll dies noch einmal verdeutlicht werden. Von der Wiege bis zur Bahre bedeutet demnach von der landwirtschaftlichen Erzeugung der Rohstoffe (z.B. Kakao) über die Produktion der Schokoladentafel im Unternehmen, bis hin zur Produktnutzung durch den Konsumenten inklusive der Entsorgung des dabei entstehenden Abfalls. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit eine eingeschränkte Ökobilanz aufzustellen, die nur Teilaspekte des Lebensweges betrachtet, z.B. nur die Nutzungsphase. Die internationalen und anerkannten Rahmennormen zur Ökobilanzierung sind die DIN EN ISO 14040, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen* und die DIN EN ISO 14044, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen*. Im Deutschen hat sich der Begriff „Ökobilanz“ als fester Ausdruck etabliert, obwohl die englische Bezeichnung *Life Cycle Assessment* (LCA) ein treffenderer Begriff für die Methode wäre.<sup>16</sup>

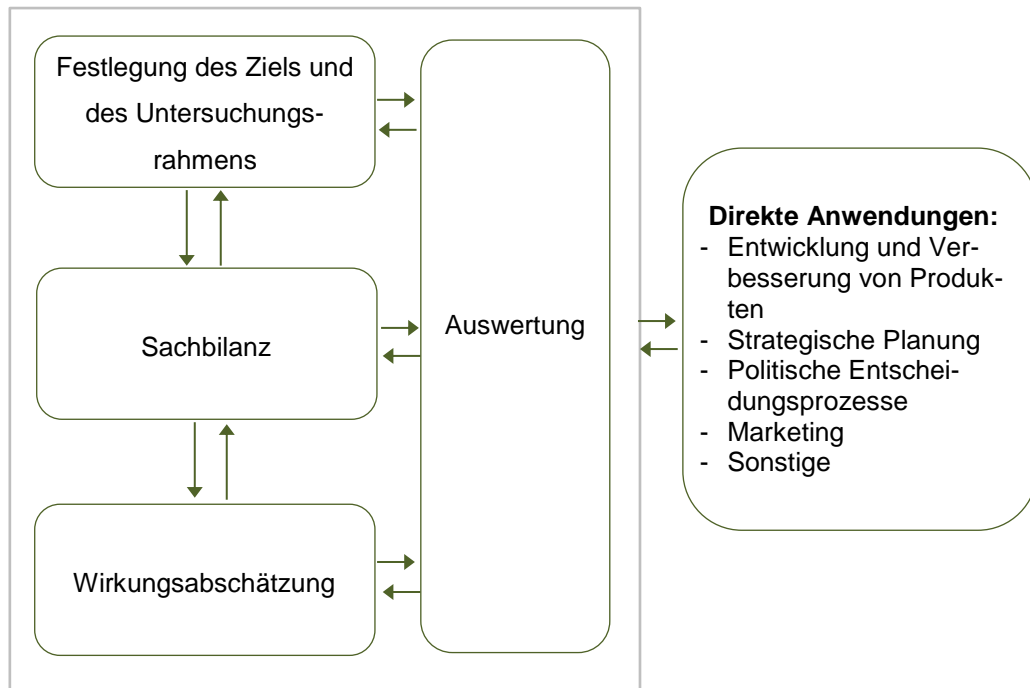
<sup>13</sup> Vgl. BMU (2009): Memorandum Product Carbon Footprint. URL: [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum\\_pcf\\_lang\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_pcf_lang_bf.pdf), S.4 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>14</sup> Vgl. BMU (2012), S. 21 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>15</sup> Vgl. Seuring, Stefan; Pick, Erich; Faßbender-Wynands, Ellen: Ökobilanzierung und Stoffstrommanagement, in: Baumast, Annett; Pape, Jens (Hrsg.): Betriebliches Umweltmanagement. Nachhaltiges Wirtschaften im Unternehmen. Stuttgart (Hohenheim), 2009, S. 117

<sup>16</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: Wiley-VCH, S. 1

Der Aufbau einer Ökobilanz ist durch die ISO-Norm 14040 definiert. Die Struktur ist in der nachstehenden Abbildung 2.1 dargestellt:



**Abb. 2.1** Komponenten einer Ökobilanz

Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009): Ökobilanz (LCA). S. 12

Unternehmen haben vielfältige Motivationen für die Erstellung einer Ökobilanz. Die Möglichkeiten der Anwendbarkeit sind nicht fest vorgeschrieben und immer individuell zu betrachten. Mögliche Einsatzfelder sind die Verbesserung von Produkten oder auch der Einsatz im Marketingbereich. Zunächst muss für ein Produkt, eine Dienstleistung oder ein Unternehmen das entsprechende Ziel (z.B. Identifikation von CO<sub>2</sub>-Reduktions-potenzialen) und der Untersuchungsrahmen der Studie (Produktauswahl, Systemgrenze usw.) festgelegt werden. Darauf aufbauend wird dann die Sachbilanz ermittelt. Hierbei werden alle Inputs und Outputs eines Produktsystems erfasst. Im darauffolgenden Schritt werden diese in Form einer Wirkungsabschätzung bezogen auf deren Umweltwirkung (Klima-änderung, Versauerung usw.) ausgewertet. Der letzte Schritt stellt die Auswertung bzw. Interpretation der Ergebnisse dar. Ein iteratives Vorgehen wird durch die Pfeile zwischen den einzelnen Phasen angedeutet.<sup>17</sup>

## 2.4 Product Carbon Footprint Standards

International existieren verschiedene Ansätze zur Bilanzierung von Treibhausgasemissionen, die jedoch nicht verbindlich sind. Im folgenden Abschnitt soll auf die Möglichkeiten für Unternehmen einen PCF für Produkte oder Dienstleistungen zu erstellen näher eingegangen werden. Dabei sind die Public Available Specification 2050 (PAS 2050), das Greenhouse Gas (GHG) Protokoll und die ISO 14067 von besonderer Bedeutung.

<sup>17</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 12ff.



Das vorliegende Praxisbeispiel der Firma O.R.-Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG wird auf Basis der DIN ISO 14067 erstellt, weshalb diese Norm in besonderem Maße vorgestellt wird. Die weiteren Standards dienen lediglich zur Information.

### 2.4.1 PAS 2050

Die PAS 2050 ist eine Richtlinie zur Abschätzung produktbezogener Treibhausgasemissionen und wurde im Oktober 2008 als britischer Standard veröffentlicht. Initiiert wurde die Methodik durch die British Standard Solution (BSI) in Kooperation mit dem Department for Environment, Food and Rural Affairs (defra) und Carbon Trust (britisches Unternehmen mit Expertise in der Reduktion von Kohlendioxid) und gilt als eine der ersten Anläufe zur Standardisierung der Bilanzierung eines CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks auf nationaler Ebene.<sup>18</sup> Die Grundlage dieser Norm bilden die Ökobilanzstandards ISO 14040 und ISO 14044.<sup>19</sup> Zielsetzung ist es einen Anreiz für Unternehmen zu schaffen ihre Produkte zu bilanzieren und somit ggf. Treibhausgasemissionen zu verringern. Das Engagement wird dahingehend belohnt, dass teilnehmende Unternehmen ihre Produkte mit dem CO<sub>2</sub>-Label „Carbon Label“ zur Kommunikation mit ihren Kunden nutzen können. In der ersten Phase müssen Product Category Rules (PCR) festgelegt bzw. entwickelt werden, da diese Vergleichbarkeit gewährleisten. Die nächste Stufe ist das sogenannte „Scoping“. Hier werden Ziele, Bilanzierungsregeln, die Datenqualität und weitere Aspekte definiert. Die Berechnung ist als abschließende Phase in fünf Schritte aufgegliedert:

1. Prozessübersicht erstellen
2. Systemgrenzen festlegen und Priorisierungen vornehmen
3. Erhebung der Daten
4. Berechnung des Product Carbon Footprint
5. Bewertung der Ergebnisse<sup>20</sup>

### 2.4.2 GHG-Protokoll

Das GHG-Protokoll ist eine Bilanzierungsrichtlinie für unternehmerische Treibhausgase. Eine unternehmensbezogene Bilanzierung umfasst hierbei alle betrieblichen Energie- und Ressourcenströme. Initiiert wurde das Protokoll 1998 durch das Treibhausgas Berichtsprotokoll von British Petroleum (BP) – einem weltweit agierenden Mineralöl- und Energie-Unternehmen. Das GHG-Protokoll orientiert sich an drei Scopes, die sowohl direkte als auch indirekte Emissionen enthalten. Jedem Scope ist eine bestimmte Kategorie zugeordnet. Scope 1 berücksichtigt die direkten Emissionen, die durch das Unternehmen selbst emittiert werden. Diese können z.B. durch die Produktion oder den Transport entstehen. Scope 2

<sup>18</sup> Vgl. BMU (2009), S. 5 f. (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>19</sup> Vgl. Deinert, Christoph; Pape, Jens (2011): Der PCF Product Carbon Footprint. Die Methodik bei Märkisches Landbrot. München: oekom-Verlag. S. 16

<sup>20</sup> Vgl. ebd., S. 22 f.

beinhaltet alle indirekten Emissionen, wie z.B. den Energie- und Wärmebezug und dem Unternehmen direkt zugeordnet werden können. Alle indirekten Emissionen, die in Scope 3 entstehen (z.B. Vorketten der Hilfs- und Betriebsstoffe) liegen außerhalb der Systemgrenze.<sup>21</sup> Die Bilanzierung dieser Daten war bisher fakultativ. Das Außerachtlassen dieser Massenströme kann jedoch einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben.<sup>22</sup> Aus diesem Grund gab das WRI (Washingtoner World Resources Institute) und das WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) im Herbst 2008 den Anstoß, das GHG-Protokoll zu vervollständigen und die bestehenden Mängel zu beheben. Die Änderungen sehen insbesondere die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen entlang des vollständigen Lebensweges eines Produkts mit allen Wertschöpfungsketten vor. Der darauf basierend im Jahr 2011 erschienene Standard „Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard“ soll nun als neue Richtlinie für Unternehmen eine bessere Darstellung des Product Carbon Footprint ermöglichen.<sup>23</sup>

#### 2.4.3 DIN ISO 14067 „Carbon Footprint von Produkten“

Mit der Veröffentlichung des internationalen Norm-Entwurfs *Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation (ISO/DIS 14067.2:2012)*<sup>24</sup> im November 2012 durch die ISO wurden Prinzipien, Anforderungen und Richtlinien bezüglich der Berechnung und Kommunikation des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Produkten und Dienstleistungen festgelegt. Im Jahr 2008 wurde der Grundstein für diese Norm gelegt und seitdem vom Technischen Sub-Komitee ISO/TC 207/SC 7 „Greenhouse Gas Management and related activities“ der ISO erarbeitet und vom Normenausschuss Grundlagen im Umweltschutz vom Deutschen Institut für Normung (DIN) begleitet.<sup>25</sup>

Im Zuge der Erstellung dieser Bachelorarbeit wurde unerwarteter Weise die endgültige Fassung des Standards durch die ISO am 21. Mai 2013 publiziert. Das ursprüngliche Veröffentlichungsdatum war im Mai 2014 angedacht. Nach telefonischer Auskunft des zuständigen Normenausschusses vom DIN, ist die Struktur der ISO 14067:2013 deckungsgleich mit dem Normenentwurf E DIN ISO 14067:2012. Es wurden lediglich die Begriffsdefinitionen und Grafiken überarbeitet und verfeinert, sodass diese Anpassungen keinen bedeutsamen Einfluss auf die vorliegende Bachelorarbeit haben.

Durch die Norm wird die Bilanzierung und Kommunikation von Treibhausgasen über den kompletten Lebensweg eines Produktes geregelt. Dies ermöglicht eine transparente, voll-

<sup>21</sup> Vgl. BMU (2009), S. 7 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>22</sup> Vgl. Neugebauer, Sandra; Schneider, Laura; Ehses, Ulrike; Zepter, Andrea; Finkbeiner, Matthias: Carbon Footprint: Treibhausgasemissionen bilanzieren, in: Umwelt Magazin, 42 Jg., 2012, H. 4/5, S. 68 f.

<sup>23</sup> Vgl. BMU (2012), S. 19 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>24</sup> Siehe DIN ISO 14067

<sup>25</sup> Vgl. BMU (2012), S. 19 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

ständige und angemessene Darstellung des Product Carbon Footprint bezogen auf die einzelne Wirkungskategorie Klimawandel.<sup>26</sup> Der Standard ist in zwei große Abschnitte gegliedert. Der erste Teil umfasst die Quantifizierung des PCF und basiert auf den bestehenden ISO-Normen zur Ökobilanz ISO 14040 und ISO 14044. Demnach umfasst die Erstellung einer PCF-Studie die vier Komponenten einer Ökobilanz, die bereits in Kapitel 2.3 *Ökobilanzen als Basis der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung* dargestellt wurden, d.h. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Der zweite Teil beinhaltet Anforderungen an die Unternehmen und Organisationen für die externe und interne Kommunikation auf der Grundlage der Normen ISO 14020 und ISO 14025. Die in der Norm beschriebenen standardisierten Regelungen und Vorgaben zur Ökobilanzierungen von Treibhausgasen ermöglichen die Anwendbarkeit der Norm auf jedes Produkt. Weitere Parameter wie Flächennutzung oder Wasserverbrauch finden keine Berücksichtigung.<sup>27</sup>

In der ISO 14067 sind 14 Grundsätze formuliert, die die Grundlage für alle Anforderungen in der Norm bilden. Folgende Aufzählung stellt die Grundsätze in aller Kürze dar:

- Fairness: Die PCF-Studie basiert auf der einzelnen Wirkungskategorie Klimawandel und berücksichtigt keine sozialen oder ökonomischen Aspekte bzw. weitere Umweltaspekte. Dies gilt es zu kommunizieren.
- Genauigkeit: Die Berechnung und die Kommunikation des PCF sollen genau, verifizierbar und nicht irreführend sein.
- Iterativer Ansatz: Eine kontinuierliche erneute Bewertung in den Zwischenphasen trägt zur Konsistenz der PCF-Studie bei.
- Kohärenz: Um die Vergleichbarkeit des PCF innerhalb einer Produktkategorie zu verbessern, sind anerkannte Methoden, Normen und Verfahren auszuwählen.
- Konsistenz: Annahmen, Verfahren und Daten müssen eine gleichbleibende Qualität aufweisen und in gleicher Weise genutzt werden, da eine abschließende Schlussfolgerung darauf aufbaut.
- Lebenswegbetrachtung: Alle Abschnitte eines Lebensweges eines Produkts werden bei der Berechnung berücksichtigt.
- Mitwirkung: Bei der Erarbeitung und Umsetzung von PCF-Kommunikationsprogrammen ist ein partizipatorischer Prozess anzuwenden.
- Relativer Ansatz und funktionelle Einheit (fE): Alle Analysen sind auf eine funktionelle Einheit zu beziehen. Die funktionelle Einheit legt den Nutzen eines Produktsystems fest.

<sup>26</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), S. 6 f.

<sup>27</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung (DIN) (2013): Norm definiert Carbon Footprint von Produkten. URL: <http://www.din.de/cmd?level=tpl-artikel&cmstextid=157369&bcrumblevel=1&languageid=de> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

- Relevanz: Es sind die Daten und Verfahren in die Bilanz einzubeziehen, die für die Bewertung der Treibhausgasemissionen von Bedeutung sind.
- Transparenz: Um eine angemessene Auswertung des PCF sicherzustellen ist eine offene, umfassende und verständliche Darstellung der Ergebnisse erforderlich.
- Vermeidung der Doppelzählung: Innerhalb eines Produktsystems soll die Doppelzählung von Treibhausgasemissionen vermieden werden.
- Vollständigkeit: Es sind alle Treibhausgasemissionen, die für die Berechnung des PCF wichtig sind, miteinzubeziehen.
- Wissenschaftlicher Ansatz: Naturwissenschaftlichen Erkenntnissen ist bei Entscheidungen innerhalb einer Ökobilanz stets der Vorzug zu gewähren.<sup>28</sup>

Der Ablauf der quantitativen Bestimmung des Product Carbon Footprint wird im nächsten Kapitel genauer beschrieben. Die Inhalte stützen sich vorwiegend auf die DIN ISO 14067.

#### **2.4.3.1 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens**

Die eigentliche Quantifizierung des PCF erfordert wesentliche Vorüberlegungen, die wichtige Voraussetzungen für eine effektive Erfassung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks sind.

Auf der Grundlage folgender Fragestellungen haben Unternehmen als ersten Schritt die Möglichkeit, konkrete Ziele der PCF-Studie zu formulieren:

- Was wird untersucht?
- Was sind die Gründe für die Durchführung der PCF-Studie?
- An wen richtet sich die PCF-Kommunikation und wie wird das Ergebnis kommuniziert?<sup>29</sup>

Basierend auf der eingangs formulierten Zielstellung wird anschließend der Untersuchungsrahmen festgelegt. Dabei sollten die anschließend gelisteten Punkte berücksichtigt werden:

- das zu untersuchende Produktsystem und dessen Funktionen;
- die funktionelle Einheit;
- die Systemgrenze;
- Verfahren für den Umgang mit Themen im Zusammenhang mit spezifischen Produktkategorien, z. B. CO<sub>2</sub>-Speicherung;
- spezifische THG-Emissionen und entzogene THG-Mengen aufgrund z.B. einer Landnutzungsänderung;
- Anforderungen an Daten und Datenqualität;
- Allokationsverfahren;

<sup>28</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 5

<sup>29</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.3.1

- zeitliche Begrenzung der Daten;
- Annahmen, die speziell für die Abschnitte Anwendung und Ende des Produktlebens gelten;
- Einschränkungen der PCF-Studie.<sup>30</sup>

Zunächst gilt es, das zu untersuchende Produktsystem und dessen Funktionen (der Nutzen) eindeutig zu beschreiben. Nach der Auswahl der Produkte muss die funktionelle Einheit festgelegt werden. Dies erfolgt auf Basis der Funktion des Produktsystems und wird in Form eines messbaren Referenzwerts bestimmt. Im Wesentlichen dient sie dazu, einen Bezug in der Sachbilanz zu schaffen. Bei Vergleichen zwischen Systemen müssen die Funktionen identisch sein und demnach auch die gleiche funktionelle Einheit aufweisen.<sup>31</sup> Beispielsweise kann als funktionelle Einheit im Bereich der Süßwarenindustrie eine Tafel Schokolade definiert werden.

Die Systemgrenze stellt den Anwendungsbereich eines Produktsystems dar. Hier wird bestimmt, welche Prozesse (Input und Output) in die PCF-Studie mit einbezogen werden und welche nicht. Es sollten jedoch möglichst alle Phasen des Lebensweges eines Produkts berücksichtigt werden, siehe hierzu auch *Kapitel 2.3 Ökobilanzen als Basis der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung*. Das Vernachlässigen von Lebenswegabschnitten (z.B. Entsorgung), Prozessen oder bestimmten Materialströmen und –mengen sollte nur dann erfolgen, wenn die Aussagekraft des Product Carbon Footprint nicht wesentlich verändert wird. Dies kann unter anderem im Zusammenhang mit sogenannten Abschneiderregeln stehen. In jedem Fall müssen die Gründe für das Auslassen, sowie deren Auswirkungen immer dargestellt werden.<sup>32</sup>

Die Datenverfügbarkeit hat maßgeblichen Einfluss auf eine PCF-Studie. Nach Möglichkeit sind standortspezifische Daten für die jeweiligen Prozessmodule zu nutzen, diese können z.B. Materialeinsatz, Energie oder Transporte sein. Sekundär- und Primärdaten dürfen nur für Input verwendet werden, bei dem keine lokalen Daten abrufbar sind. Sowohl aus der Literatur als auch aus öffentlichen Datenbanken können solche Daten stammen und darüber hinaus eigene Schätzwerte enthalten. Die Datenqualität basiert auf diversen Anforderungen: Vollständigkeit, Konsistenz, Repräsentativität und Präzision der Daten. Des Weiteren legt die Norm fest, dass der Zeitraum, für den der Product Carbon Footprint repräsentativ ist, anzugeben und zu begründen ist. Getroffene Annahmen im Rahmen der PCF-Studie müssen dokumentiert werden.<sup>33</sup>

---

<sup>30</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.3.2

<sup>31</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.3.3

<sup>32</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.3.4

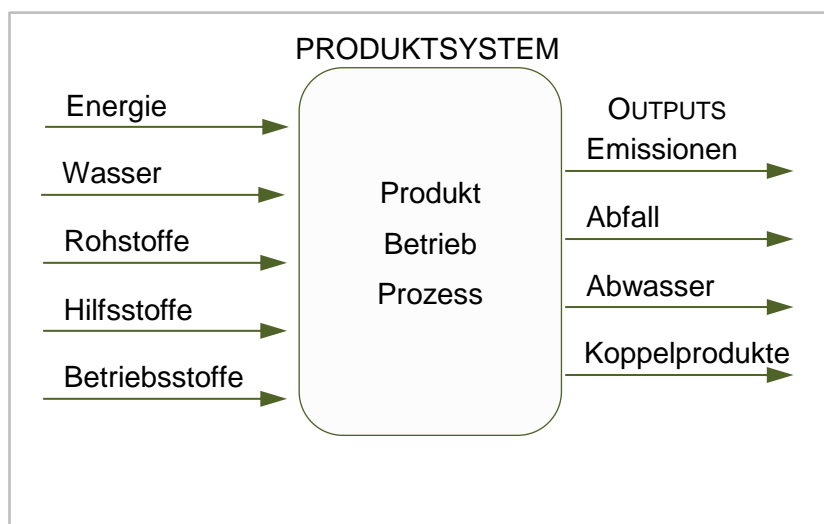
<sup>33</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.3.5, 6.3.6, 6.3.7

Insgesamt unterliegt die erste Phase „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“ der Bilanzierung des Product Carbon Footprints zu diesem Zeitpunkt keinem Anspruch auf Detailtiefe. Die Methodik des iterativen Vorgehens ermöglicht weitere Spezifikationen und Anpassungen in späteren Phasen (Sachbilanz, Wirkungsabschätzung, Auswertung).<sup>34</sup>

#### 2.4.3.2 Sachbilanz

Die internationale Norm ISO 14067 definiert die Sachbilanz als „die Phase der Ökobilanz, die das Zusammentragen und die quantitative Bestimmung der Inputs und Outputs für ein Produkt im Verlauf seines Lebensweges umfasst.“<sup>35</sup>

Daraus folgt, dass die Sachbilanz die Phase der Stoff- und Energieflussanalyse ist und jegliche Input- und Outputströme innerhalb der vorher festgelegten Systemgrenze erfasst werden. Die hierfür benötigten Daten können entweder gemessen, berechnet, geschätzt oder aus öffentlichen Quellen entnommen werden. In jedem Fall sind Daten, die innerhalb der Unternehmensstruktur zum Beispiel im Rahmen eines Umweltmanagementsystems direkt erfasst werden, zu bevorzugen, da sie die realen standort- und anlagenspezifischen Bedingungen wiedergeben.<sup>36</sup> Diese sind sogenannte Primärdaten. Sekundärdaten hingegen beziehen sich auf externe Messungen außerhalb des Produktsystems und sind weniger spezifisch. Primärdaten sollten nach Möglichkeit bevorzugt ermittelt werden und bei der Berechnung zum Einsatz kommen. Die Gewährleistung der Datenqualität kann durch den Abgleich mit Sekundärdaten gegeben sein.<sup>37</sup> Folgende Abb. 2.2 veranschaulicht die Wechselwirkungen eines Produktsystems mit seiner Umwelt:



**Abb. 2.2** Stoff- und Energieanalyse eines Produktsystems  
Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Klöpffer, Walter; Grahl, Brigitte (2009): Ökobilanz (LCA). S.11

<sup>34</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 52

<sup>35</sup> Zitiert nach DIN ISO 14067 (2012), 3.1.5.6

<sup>36</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4.2

<sup>37</sup> Vgl. BMU (2012), S. 33 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

Auf der Inputseite wird untersucht, welche Ressourcen der Umwelt für das Produkt, den Betrieb oder einen Prozess entnommen werden (Energie, Wasser, Rohstoffe usw.). Die Outputseite hingegen betrachtet die entstehenden Emissionen (z.B. in die Luft), Abfälle, Abwasser, Koppelprodukte usw.<sup>38</sup> Bei der Bilanzierung der Sachbilanz gilt der Energie- und Massenerhaltungssatz, welcher besagt, dass innerhalb der Systemgrenze keine Stoff- oder Energieströme verloren gehen dürfen, da die Bilanz sonst nicht mehr ausgewogen ist.<sup>39</sup>

In dieser sehr aufwendigen Phase können an verschiedenen Stellen Veränderungen gegenüber den Vorüberlegungen und -analysen auftreten. Insbesondere die Anpassung der Systemgrenze wird auf Basis des iterativen Prozesses verfeinert. Durch die Erfassung aller Inputs und Outputs für jedes Prozessmodul, ergibt sich ein differenziertes Systemfließbild. Die in der Sachbilanz ermittelten Massenströme können darin integriert werden.<sup>40</sup> Entscheidungen hinsichtlich der Vernachlässigung oder der Aufnahme von Lebenswegabschnitten, Prozessmodulen, Inputs und Outputs sollten auf einer Sensitivitätsanalyse beruhen und signifikant für das Ergebnis sein.<sup>41</sup> Eine Sensitivitätsanalyse ist ein „systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse“<sup>42</sup> einer Product Carbon Footprint Studie.

Die Datenerhebung erfordert demnach viel Präzision und die bereits erwähnten Anforderungen an die Qualität der Daten sind stets einzuhalten. Im Rahmen der PCF-Studie können Annahmen zu verschiedenen Abschnitten getroffen werden. Diese sollten schriftlich dokumentiert und eindeutig hervorgehoben sein, da ein Vergleich verschiedener Product Carbon Footprints innerhalb einer Produktkategorie nur auf einer transparenten und nachvollziehbaren Bilanzierung erfolgen kann. Des Weiteren sollte ein konsequentes Berechnungsverfahren angestrebt werden.<sup>43</sup>

Die eigentliche Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks entspricht der Summe aller Input- und Outputströme bezogen auf Energie, Masse und Abfall eines Produktsystems. Diese werden mit dem entsprechenden Emissionsfaktor multipliziert.<sup>44</sup> Als Beispiel: Die Menge an verbrauchtem Dieseldieselkraftstoff (Massenstrom) für eine Fahrt wird mit einem Emissionsfaktor der Einheit CO<sub>2</sub>/l Diesel multipliziert. Somit ergeben sich dann die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die entsprechende Menge Dieseldieselkraftstoff, was zum Beispiel einer Fahrt vom Produktionsstandort zum Verkaufsstandort entsprechen könnte (Einheit CO<sub>2</sub>/Fahrt). Zur Berechnung können Un-

---

<sup>38</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4

<sup>39</sup> Vgl. Seuring, Stefan; Pick, Erich; Faßbender-Wynands, Ellen (2009), S. 121

<sup>40</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 161 f.

<sup>41</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4.5

<sup>42</sup> Zitiert nach DIN ISO 14067 (2012), 3.1.5.7

<sup>43</sup> Vgl. DIN EN ISO 14044 (2006), 4.3.3.1

<sup>44</sup> Vgl. BMU (2012), S. 35 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

ternehmen bereits dafür programmierte Software nutzen, jedoch auch alternativ auf ein Tabellenkalkulationsprogramm zurückgreifen.

Allokation ist ein wichtiges Verfahren der Ökobilanzierung und findet auch Einzug bei der Bilanzierung des PCF. Es beschreibt die Zuordnung der über den Lebensweg auftretenden Treibhausgasemissionen bei Koppelproduktion, Recycling und Abfallentsorgung. Verschiedene Verfahren bei Multi-Output-Prozessen bieten die Möglichkeit, dem Produktsystem die gerechten Anteile der Input- und Outputflüsse zuzuweisen (allozieren).<sup>45</sup> Die am häufigsten angewandte Methode ist die Allokation nach Masse. Hierbei werden die Massenströme entsprechend dem Verhältnis der entstehenden Koppelprodukte zugeordnet. Ein weiteres Verfahren ist die Allokation über den wirtschaftlichen Wert.<sup>46</sup> Eine weitere Methode stellt die Systemerweiterung dar. Demnach verlassen die Koppelprodukte das System nicht, sondern verbleiben darin. Daran schließt sich eine vertiefende Analyse der Lebenswege der jeweiligen Koppelprodukte an, da diese nun zum Produktsystem dazugehören.<sup>47</sup>

Die ISO 14067 weist auf spezifische methodische Empfehlungen bei der Bilanzierung bestimmter Treibhausgasemissionen hin, die bei der Sachbilanz zu berücksichtigen sind. Die Erstellung des Product Carbon Footprints kann je nach Ansatz zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Erwähnt werden die Behandlung von fossilem und biogenem Kohlenstoff, die Behandlung von Strom, Landnutzungsänderung, CO<sub>2</sub>-Speicherung in Produkten, THG-Emissionen durch Luftfahrt und weitere.<sup>48</sup>

### 2.4.3.3 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung bezieht sich nur auf die Wirkungskategorie „Klimawandel“ und bewertet keine weiteren potentiellen Umweltauswirkungen (Versauerungspotential, Ressourcenverbrauch, Eutrophierung usw.) eines Produktsystems. Der spezielle Fokus auf Treibhausgase ist durch die Norm vorgeschrieben. Die in der Sachbilanz ermittelten Treibhausgase (Masse) werden mit dem vom Weltklimarat (IPCC) angegebenen Treibhauspotential bzw. Global Warming Potential (GWP) „GWP<sub>100</sub>“ multipliziert.<sup>49</sup>

In der nachstehenden Tabelle 2.1 sind die GWP<sub>100</sub>-Werte aus dem Jahr 2007 für die wichtigsten Treibhausgase – bezogen auf das Protokoll von Kyoto – für den Zeitraum von 100 Jahren zusammengestellt.<sup>50</sup>

<sup>45</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 94

<sup>46</sup> Vgl. ebd., S. 97 f.

<sup>47</sup> Vgl. ebd., S. 99 f.

<sup>48</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4.9

<sup>49</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.5

<sup>50</sup> Siehe Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Tabelle 2.14. URL: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14) (letzter Zugriff am: 30.05.2013)



**Tabelle 2.1** Treibhauspotential einiger Treibhausgase (Zeithorizont: 100 Jahre)

Industrielle oder gebräuchliche Bezeichnung	Chemische Formel	GWP für den Zeithorizont von 100 Jahren (zum Zeitpunkt der Veröffentlichung)
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	1
Methan	CH <sub>4</sub>	25
Stickoxid	N <sub>2</sub> O	298
Fluorchlorwasserstoff HFC-23	CHF <sub>3</sub>	14.800
Perfluorierte Verbindung PFC-14	CF <sub>4</sub>	7.390
Schwefelhexafluorid	SF <sub>6</sub>	22.800

Die GWP<sub>100</sub>-Werte geben die CO<sub>2</sub>e-Menge an, die ein Treibhausgas zum Treibhauseffekt beiträgt. An einem Beispiel erklärt, entspricht ein Kilogramm Stickoxid (N<sub>2</sub>O) einer Masse von 298 Kilogramm Kohlendioxid. Dieses Verfahren ermöglicht eine Normierung verschiedener Werte, sodass die Vergleichbarkeit gegeben ist.<sup>51</sup> In der ISO 14067 wird darauf hingewiesen, bei der Berechnung des Product Carbon Footprint immer den aktuellsten IPCC-Bericht zu nutzen.

#### 2.4.3.4 Auswertung

Im Anschluss an die Wirkungsabschätzung folgt die letzte Phase: die Auswertung. Ziel ist es Schlussfolgerungen zu ziehen und Empfehlungen auszusprechen, die in engem Zusammenhang mit den zuvor festgelegten Zielen der PCF-Studie und dem Untersuchungsrahmen stehen. Bestandteil der Auswertung sind die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung.<sup>52</sup> Die Auswertungsphase erfordert folgende Vorgehensweise:<sup>53</sup>

Identifizierung der signifikanten Themen: Auf der Grundlage der Ergebnisse des PCF sollen signifikante Themen ermittelt werden. Bedeutende Parameter gehen aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung hervor.

Beurteilung: Durch eine Beurteilung soll ein klarer und leicht verständlicher Überblick der PCF-Studie ermöglicht werden. Eine Interpretation der Ergebnisse soll durch die drei folgenden Methoden ergänzt werden: Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzüberprüfung. Mit der Vollständigkeitsprüfung soll analysiert werden, ob alle notwendigen Informationen für bedeutende Parameter ermittelt wurden. Ist dies nicht der Fall und es bestehen Informationslücken, dann sollte entweder die Sachbilanz bzw. die Wirkungsabschätzung wiederholt werden (iterativer Prozess), oder der Untersuchungsrahmen angepasst werden. Die Sensitivi-

<sup>51</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 254 f.

<sup>52</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S.355

<sup>53</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.6

tätsanalyse hat zum Ziel, Unsicherheiten von Ergebnissen einzuschätzen. Diese Unsicherheiten können durch die Datenqualität, Abschneidekriterien oder durch die Wahl der Allokationsmethode entstehen. Hierfür werden verschiedene Szenarien entwickelt, die auf dem Basiszenario beruhen. So entstehen diverse Werte, die den Einfluss auf das Endergebnis darstellen sollen. Anhand der Konsistenzprüfung soll herausgefunden werden, ob sich die in der Sachbilanz ermittelten Daten in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen befinden.<sup>54</sup>

Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen: Dieser Schritt stellt die finale Darstellung der PCF-Studie dar. Es werden Schlussfolgerungen gezogen und eingeschätzt, ob das zuvor formulierte Ziel erreicht wurde. Des Weiteren können an dieser Stelle Optimierungsvorschläge bzw. Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.<sup>55</sup>

Ein Bericht zur PCF-Studie soll nachweislich dazu dienen, dass die Bestimmungen der DIN ISO 14067 erfüllt wurden. An dieser Stelle legt die Norm viele Aspekte fest, die in den Bericht aufzunehmen sind. Die Art und das Format sind jedoch schon zu Beginn der PCF-Studie zu formulieren.<sup>56</sup>

#### **2.4.3.5 PCF-Kommunikation**

Mit der ISO 14067 soll vor allem auch die Ebene der Kommunikation mit den Verbrauchern erleichtert werden, sodass die Glaubwürdigkeit, Verständlichkeit, Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit des PCF in den Fokus gerückt wird.<sup>57</sup> Demnach bietet die Norm mehrere Optionen zur Kommunikation des Product Carbon Footprint, die sowohl für eine öffentliche, als auch für eine nicht öffentliche Kommunikation verwendet werden können.<sup>58</sup>

##### **1) Öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation**

Der öffentliche PCF-Bericht zur Kommunikation muss auf dem Bericht zur PCF-Studie basieren. Dabei sind diverse Anforderungen bzw. Inhalte zu erfüllen. Darunter zählen z.B. die Kontaktinformationen, Name und Beschreibung des untersuchten Produkts, funktionelle Einheit, Beschreibung der Abschnitte des Lebensweges, Systemgrenze, Zeitgrenze für die Daten, Beschreibung der Primär- und Sekundärdaten, Ergebnisse der Sachbilanz und Auswertung usw. Des Weiteren sollte der PCF-Bericht zur Kommunikation durch graphische Darstellungen (der Lebenswege, Ergebnisse usw.) erweitert werden.<sup>59</sup>

---

<sup>54</sup> Vgl. Klöpffer, Walter; Grahl, Birgit (2009), S. 360 f.

<sup>55</sup> Vgl. ebd., S. 378

<sup>56</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 7

<sup>57</sup> Vgl. BMU (2012), S. 40 ff. (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>58</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1

<sup>59</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1.2

## 2) PCF-Leistungsverfolgebungsbericht

Der Leistungsverfolgebungsbericht für den PCF wird dann genutzt, wenn ein Vergleich desselben Produkts derselben Firma über einen gewissen Zeitraum bezogen auf den ursprünglichen oder vorhergehenden CO<sub>2</sub>-Fußabdruck dargestellt werden soll. Die festgelegten Anforderungen der Norm für die Leistungsverfolgung sind hier einzuhalten: identische funktionelle Einheit und ein identisches Berechnungsverfahren.<sup>60</sup> Bei Änderungen des Product Carbon Footprint müssen die Gründe hierfür eindeutig hervorgehoben werden. Kein Grund im Sinne der Norm stellt die Leistungsänderung des PCF aufgrund von saisonalen Bedingungen oder dem Verwenden von besseren Sekundärdaten dar.<sup>61</sup>

## 3) PCF-Kennzeichnung

Die Kennzeichnung von Produkten mit einem CO<sub>2</sub>-Label ist der öffentlichen PCF-Kommunikation zuzuordnen. Hierfür ist ein Kommunikationsprogramm obligatorisch, da hier spezifische Verfahren und Anforderungen festgelegt werden, auf die die PCF-Kennzeichnung basiert. Eine genaue, eindeutige und verifizierte Kommunikation für den PCF ist von essentieller Bedeutung. Die Anforderungen an das Kommunikationsprogramm sind ausführlich in der Norm beschrieben. Wichtig bei der PCF-Kennzeichnung ist, dass eindeutig darauf hingewiesen werden muss, dass der Fokus nur auf dem Klimawandel liegt und keine Umweltkennzeichnung des Typ I (z.B. Blauer Engel) vorliegt.

## 4) PCF-Deklaration

Die PCF-Deklaration (quantitative Aussage über den PCF) basiert auf Produktkategorieregeln (PKR). PKR sind Zusammenstellungen spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien für eine Gruppe von Produkten mit einer gleichwertigen Funktion, z.B. für die einzubeziehenden Lebenswege einer Tafel Schokolade. Hierbei sind spezielle Festlegungen für die quantitative Bestimmung des PCF gemeint.<sup>62</sup> Die Kommunikation der PCF-Deklaration kann öffentlich oder nicht öffentlich erfolgen.<sup>63</sup>

---

<sup>60</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4.7

<sup>61</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1.3

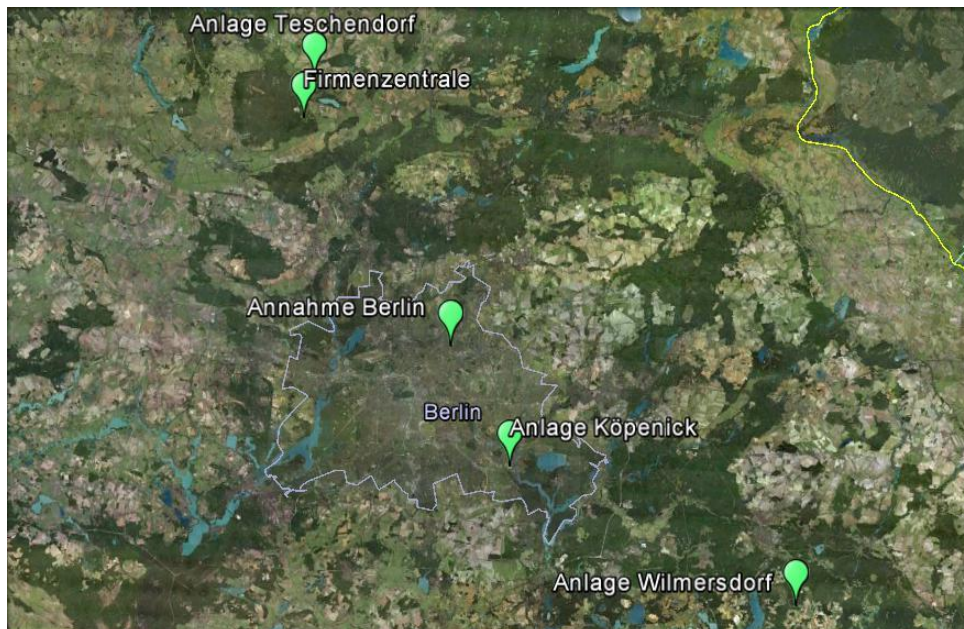
<sup>62</sup> Siehe DIN ISO 14067 (2012), 3.1.4.10 und 3.1.4.11

<sup>63</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1.5

### 3 Die Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG

#### 3.1 Unternehmensporträt

Die Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG wurde im Jahr 1990 als Familienunternehmen gegründet. Geschäftsführer ist Herr Otto-Rüdiger Schulze. Zu den Hauptgeschäftsfeldern der Firma gehören das Recycling von Altholz, Bauabfällen, Kunststoffen, Sperrmüll und Gewerbeabfällen, die Herstellung von Ersatzbrennstoffen und Containerdienste. Im Jahr 2012 lag der Jahresumsatz bei 27,5 Mio. Euro. Insgesamt beschäftigt das Unternehmen derzeit 225 Mitarbeiter. Ihre Firmenzentrale befindet sich in Neuendorf im Landkreis Oberhavel, weitere Standorte sind Teschendorf (Landkreis Oberhavel), Berlin-Weißensee, Berlin-Köpenick und Wilmersdorf (Landkreis Oder-Spree), die noch einmal in folgender Karte (Abb. 3.1) dargestellt sind.



**Abb. 3.1** Standorte der Firma ORS

Quelle: Google Inc. (2013): Google Earth Version 7.1.1.1580 (beta)

#### Neuendorf/Teschendorf

An diesem Standort befindet sich zum einen der Verwaltungssitz (Neuendorf) und zum anderen der Anlagenstandort zum Recycling von Altholz und Baumischabfällen (Teschendorf). Insgesamt sind dort 118 Personen beschäftigt.

#### Berlin-Weißensee

Der Anlagenstandort Berlin-Weißensee (=Annahme Berlin) dient als Sammel- und Umschlagplatz für Altholz und Bauabfälle, die an den Standorten in Teschendorf und in Wilmersdorf zur Gewinnung von wieder verwertbaren Materialien weiterbehandelt werden. Hier sind derzeit 14 Personen beschäftigt.

### Berlin-Köpenick

Der Standort Berlin-Köpenick hat eine Anlage zur mechanischen Behandlung von Hausmüll und zur Behandlung von Bau- und Abbruchabfall. An diesem Standort sind 36 Mitarbeiter beschäftigt.

### Wilmersdorf

Auf dem Betriebsgelände befinden sich Anlagen zur Aufbereitung von Altholz, Kunststoff (Regranulierung) und Ersatzbrennstoff. Des Weiteren wurde dort im Jahr 2004 ein Biomassekraftwerk errichtet, in dem Altholz verstromt wird. Insgesamt sind dort 57 Personen beschäftigt.

## **3.2 Hintergrund und Motivation zum PCF**

Für ORS gehört nachhaltiges, verantwortungsvolles und energiesparendes Handeln zu den alltäglichen Aufgaben. Aus diesem Grund nimmt das Unternehmen bereits seit 1996 freiwillig am europäischen Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EMAS III) teil. Die kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes wird an allen vier Standorten durch regelmäßige Audits überprüft und die Ergebnisse in der jährlich erscheinenden Umwelterklärung veröffentlicht.<sup>64</sup> Neben dem etablierten europäischen Standard werden an allen Standorten die Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem entsprechend der DIN EN ISO 14001:2005 und des Qualitätsmanagementsystems gemäß DIN EN ISO 9001:2008 erfüllt, weshalb sie zusätzlich nach diesen Standards zertifiziert sind. Die ORS hat ihre Umweltleistung an allen Standorten im Laufe der letzten Jahre aufgrund des starken Nachhaltigkeitsgedanken stetig verbessern können. So konnte durch effiziente Energieeinsparmaßnahmen der Energieverbrauch in den vergangenen fünf Jahren um ca. 22% an allen Standorten gesenkt werden.

Recycling ist eine Tätigkeit, die einen Beitrag zur Entlastung der Umwelt leistet. Aus diesem Grund ist die Motivation sich aktiv dem Umweltschutz zu widmen allein durch die Unternehmenstätigkeit gegeben. Die Thematik des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks hat aufgrund von Kundenanfragen aus der Baubranche bei der Firma an Bedeutung gewonnen. Der Product Carbon Footprint soll für zwei Produkte des Unternehmens ermittelt werden: Altholz und Ersatzbrennstoff. Die Entscheidung für diese Geschäftsfelder wurde aufgrund der Bedeutsamkeit für das Unternehmen getroffen. Die Kommunikation der Ergebnisse gegenüber den Kunden (Entsorger und Anwender) soll die Umweltstrategie des Unternehmens weiter stärken und mehr Transparenz schaffen.

---

<sup>64</sup> ORS (2012): Umwelterklärung 2012. URL: [http://www.ors-recycling.de/download/2012/UER\\_2012.pdf](http://www.ors-recycling.de/download/2012/UER_2012.pdf) (letzter Zugriff am: 04.06.2013)

## 4 Das PCF-Berechnungsverfahren nach DIN ISO 14067

Die PCF-Studien wurden durch die Firma O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG in Auftrag gegeben und werden auf Basis der DIN ISO 14067 erstellt. Da eine externe Kommunikation des Ergebnisses angestrebt ist, wird die PCF-Studie durch die GUT Unternehmens- und Umweltberatung GmbH begleitet.

Die Studie setzt sich folgendermaßen zusammen: In der ersten Phase wird die *Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens* gemeinsam für beide zu untersuchende Produkte (Altholz und Ersatzbrennstoff) vorgenommen, da die Vorüberlegungen sehr ähnlich und zum Teil auch identisch sind. Die Phase der *Sachbilanz*, der *Wirkungsabschätzung* und die *Auswertung* werden jeweils individuell beschrieben und getrennt voneinander dargestellt.

Für die Durchführung der Berechnungen wurde das Tabellenkalkulationsprogramm von Microsoft Excel 2010 genutzt.

### 4.1 Ziel und Untersuchungsrahmen der quantitativen Bestimmung des Product Carbon Footprint

Im Folgenden wird die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der PCF-Studie auf das Praxisbeispiel bezogen dargestellt. Die erste Phase der Ökobilanzierung des Product Carbon Footprint umfasst die Formulierung des Ziels der PCF-Studie, gibt Auskünfte über die Produktauswahl und die funktionelle Einheit und beschreibt die Systemgrenzen der Produktauswahl. Weiterhin wird die Datenerhebung und Datenqualität beschrieben sowie festgelegte Annahmen zusammengefasst erläutert. Die vorliegende Bachelorarbeit entspricht dem Bericht zur PCF-Studie.

#### 4.1.1 Ziel der Product Carbon Footprint Studie

Was wird untersucht?

Einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz kann die Recyclingbranche leisten, da eine Entlastung der Umwelt durch die Wiederverwertung von Ressourcen möglich ist, die zu Einsparungen fossiler Ressourcen beiträgt. Um diesen Beitrag messbar zu machen, wurde seitens der Firma ORS entschieden, den Product Carbon Footprint für zwei signifikante Produkte zu berechnen. Das Ziel der PCF-Studie besteht darin, die Treibhausgasemissionen, die durch den Recyclingprozess (Aufbereitung der Abfälle), die Distribution und die Weiterverarbeitung entstehen, zu ermitteln. Die zu untersuchenden Prozesse sind

- das Recycling von **Altholz** der Kategorien I bis IV nach der Altholzverordnung
- die Aufbereitung kalorischer Abfälle zu **Ersatzbrennstoff**.



Was sind die Gründe für die Durchführung der PCF-Studie?

Mit den Ergebnissen soll eine höhere Transparenz für die Kunden geschaffen werden. Dabei sollen die Entsorger (z.B. Hausbesitzer) und Anwender (z.B. Betreiber eines Biomassekraftwerks) Möglichkeiten erhalten, ihr Engagement in Bezug auf Umweltthemen zu stärken und sich gegebenenfalls aktiv am Klimaschutz zu beteiligen, indem sie die Abfälle dem Recyclingprozess zuführen. Daher liegt eine weitere Zielstellung darin, zu dokumentieren, das Recycling einen Beitrag zum Umweltschutz leistet. Die ursprüngliche Motivation für die Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks geht auf die Baubranche zurück. Es gibt verschiedene Gebäude-Zertifizierungssysteme (LEED, DGNB, BREEAM), die die Nachhaltigkeit von Gebäuden bewerten. Hiernach werden neben anderen ökologischen Aspekten auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet.<sup>65</sup> Demnach gab es bei ORS Anfragen bezüglich der Ausweisung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Recycling von z.B. Baumischabfällen. Dieses Thema wurde beim Überwachungsaudit im vergangenen Jahr aufgegriffen und als umzusetzende Maßnahme vereinbart: Im Rahmen einer Bachelor-Arbeit sollte der Carbon-Footprint ermittelt werden (Struktur aufbauen, Systematik und Berechnung).

An wen richtet sich die PCF-Kommunikation und wie wird das Ergebnis kommuniziert?

Die PCF-Kommunikation ist sowohl intern als auch extern (öffentlich) ausgerichtet. Interessierte Kunden sollen die Möglichkeit bekommen, sich über die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen informieren zu können. Diesbezüglich soll eine Kurzdarstellung (Datenblätter) der PCF-Studien in Form eines öffentlichen PCF-Berichts zur Kommunikation erstellt werden. Eine Veröffentlichung wird auf der Internetseite angestrebt. Auf interner Ebene sollen Reduktionspotenziale erkannt und ein allgemeines Verständnis für die Relevanz dieser Thematik erreicht werden.

#### 4.1.2 Produktauswahl und die funktionelle Einheit

##### 4.1.2.1 Charakterisierung „Altholz“

Das zu untersuchende Material „Altholz“ wird nach der Altholzverordnung (AltholzV) in Gebrauchtholz oder Industrierestholz unterschieden. Dabei wird es in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung in vier Altholzkategorien (A I bis A IV) unterteilt, siehe hierzu Tabelle 4.1.<sup>66</sup>

**Tabelle 4.1** Altholzkategorien nach der AltholzV

Altholz-kategorie	Eigenschaft	Beispiele
A I	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwen-	Paletten aus Vollholz, Obst- und Gemüseboxen, Massivholzmö-

<sup>65</sup> Vgl. o.V. (o.J.): DGNB-Zertifizierung. URL: [http://www.ifes-frechen.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=88&Itemid=93](http://www.ifes-frechen.de/index.php?option=com_content&view=article&id=88&Itemid=93) (letzter Zugriff am: 31.05.2013)

<sup>66</sup> § 2 AltholzV, Anhang II AltholzV

Altholz-kategorie	Eigenschaft	Beispiele
	Altholz, das nicht mehr als unerheblich mit holz-fremden Stoffen verunreinigt wurde	Altholz usw.
A II	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	Altholz aus dem Abbruch und Rückbau (Dielen, Türblätter), Bauspanplatten usw.
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Paletten mit Verbundmaterialien, Gebrauchtmöbel mit PVC Beschichtung usw.
A IV	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I bis A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz	Bahnschwellen, Leitungsmasten, Fenster, Außentüren, imprägnierte Bauhölzer usw.

Die Altholzaufbereitungsanlagen in Teschendorf und Wilmersdorf können Altholz der Kategorien I bis IV nach AltholzV verwerten. Für die jeweiligen Anlagen liegen Entsorgungsfachbetriebszertifikate vor, in denen die genehmigten Abfallstoffe nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV-Schlüsselnummer) aufgelistet sind.<sup>67</sup> Der Heizwert des aufbereiteten Altholzes liegt bei durchschnittlich 14 MJ/kg.

Als funktionelle Einheit (fE) wird **1 Tonne Altholz** definiert.

#### 4.1.2.2 Charakterisierung „Ersatzbrennstoff“

Ersatzbrennstoffe (EBS) sind Brennstoffe, die aus Abfall gewonnen werden und als Substitutionsprodukt in beispielsweise Zement-, Kalk- und Braunkohlekraftwerken eingesetzt werden. Hochkalorische Sortierfraktionen aus Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall, nicht-recyclebare Kunststoffe sowie Sperrmüll sind Grundstoffe zur Herstellung von EBS. Auch als Sekundärbrennstoff bezeichnet, ersetzt das Material in der Regel fossile Brennstoffe wie Braun- oder Steinkohle.<sup>68</sup> Seine Zusammensetzung kann sehr unterschiedlich sein, da es keine gesetzlichen Vorgaben gibt. Jedoch müssen die eingesetzten Materialien einen Heizwert von mindestens 11 MJ/kg aufweisen, sodass die Anforderungen der Kunden erfüllt werden können. Der Ersatzbrennstoff von ORS besteht zu ca. 50 % aus biogenem Material wie Papier und Holz, 35% Folie, 10% Gewebe und 5% anderen Stoffen. Der unternehmensspezifische Heizwert von Ersatzbrennstoff liegt bei 14 MJ/kg.

Die funktionelle Einheit wird als **1 Tonne Ersatzbrennstoff** definiert.

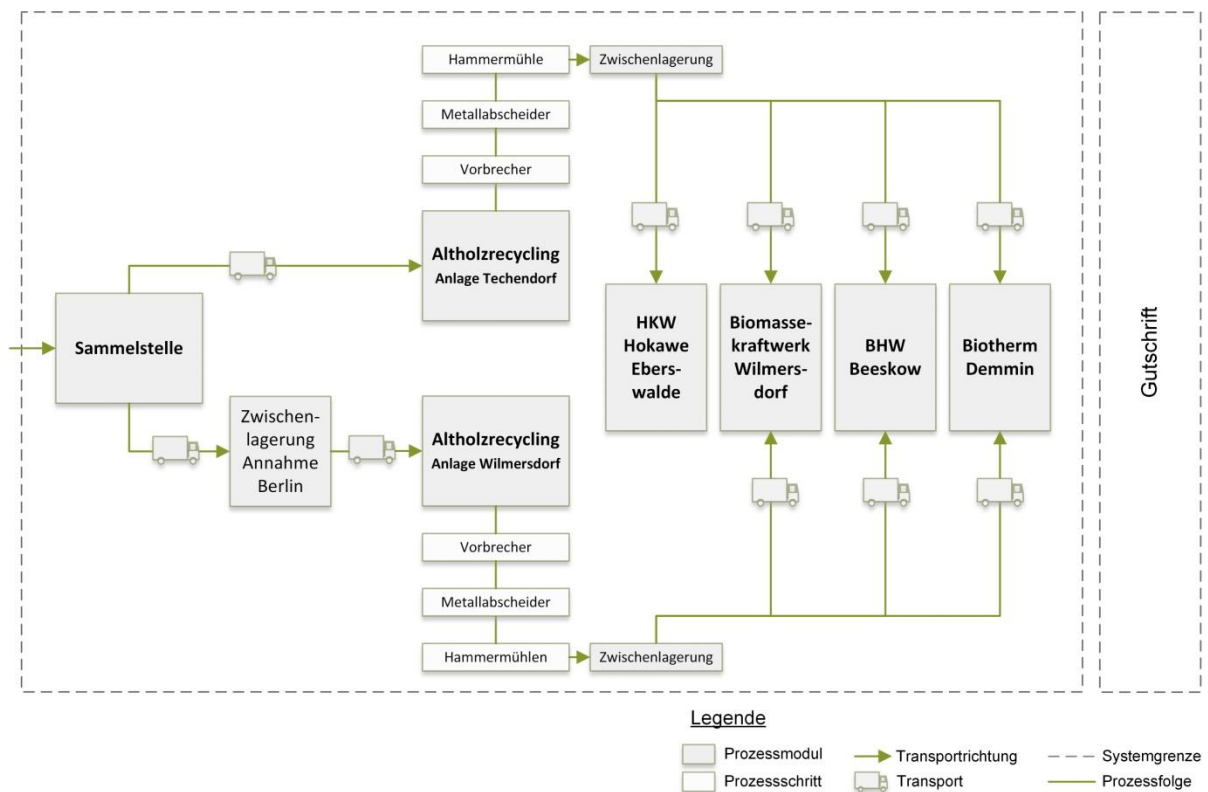
<sup>67</sup> Siehe ORS (o.J.): Geschäftsfelder: Recycling von Altholz. URL: <http://www.ors-recycling.de/index.php?lang=de&media=on&p=c81e728d9d4c2f636f067f89cc14862c&s=c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b&t=c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>68</sup> Vgl. Sita Deutschland GmbH (o.J.): Ersatzbrennstoffe. URL: <https://www.sita-deutschland.de/kompetenzen/rohstoffe/ersatzbrennstoffe.html> (letzter Zugriff am: 20.05.2013)



### 4.1.3 Systemgrenze

Die PCF-Studie basiert auf festgelegten Systemgrenzen, die wiederum im Einklang mit den zuvor beschriebenen Zielen stehen sollten. Nach Möglichkeit soll hier der gesamte Lebensweg des Produktes betrachtet werden einschließlich der entsprechenden Prozessmodule. In der nachstehenden Abb. 4.1 ist das zu betrachtende Produktsystem und die Systemgrenze für das Altholzrecycling dargestellt:



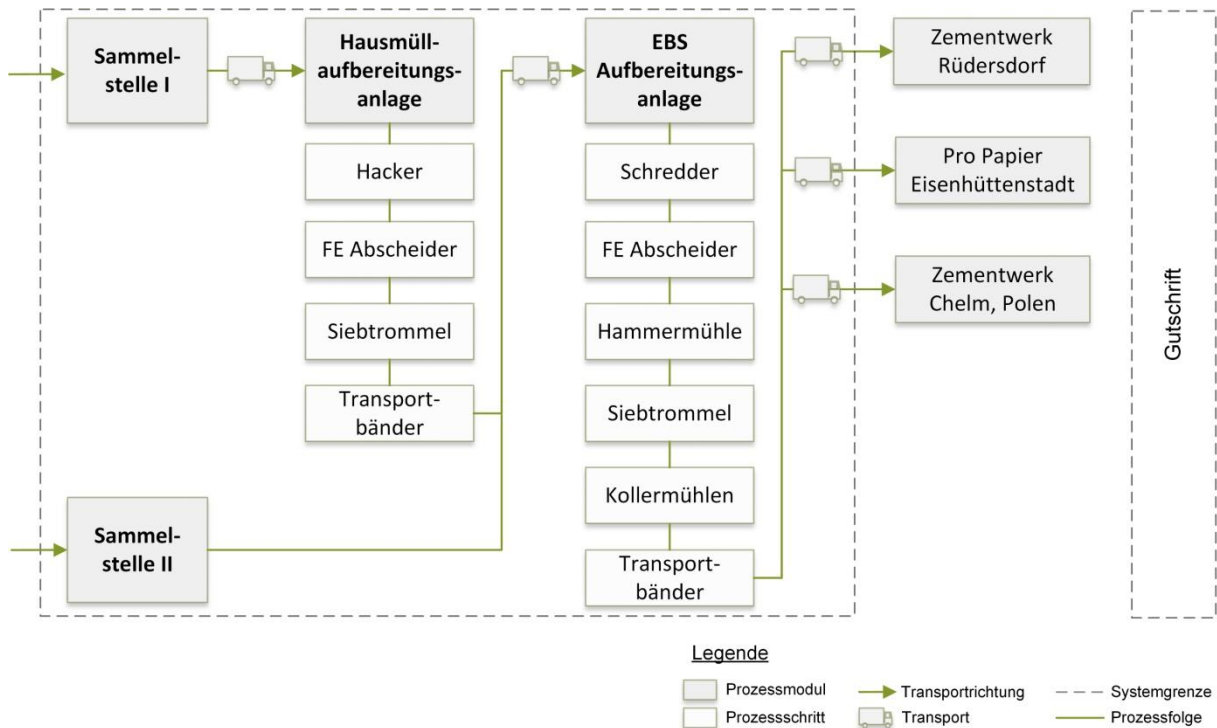
**Abb. 4.1** Schematische Darstellung der Systemgrenze für das Recycling von Altholz

Quelle: Eigene Darstellung

Grundsätzlich werden für das Recycling von Altholz die folgenden Teilprozesse und die dabei entstehenden Treibhausgasemissionen berücksichtigt:

- Transport des Altholzes von der Sammelstelle nach Annahme Berlin zur Zwischenlagerung
- Transport des Altholzes von Annahme Berlin zur Aufbereitung nach Wilmsdorf
- Transport des Altholzes von der Sammelstelle zur Aufbereitung nach Teschendorf
- Altholzrecycling in Teschendorf und Wilmsdorf (Altholz wird zu Holzhackschnitzel verarbeitet)
- Zwischenlagerung und innerbetrieblicher Transport in Teschendorf und Wilmsdorf
- Transport der Holzhackschnitzel zu den Biomassekraftwerken (BMKW) Wilmsdorf (gleicher Standort), HKW Hokawe Eberswalde, GHP Beeskow und Biotherm Demmin
- Thermische Verwertung in den jeweiligen Biomassekraftwerken

Die Systemgrenze für die Aufbereitung kalorischer Abfälle zu EBS ist in der folgenden Abb. 4.2 dargestellt:



**Abb. 4.2** Schematische Darstellung der Systemgrenze für die Herstellung von Ersatzbrennstoff  
Quelle: Eigene Darstellung

Innerhalb der Systemgrenze werden nachstehende Teilprozesse bilanziert:

- Transport des Hausmülls von der Sammelstelle I zur Hausmüllaufbereitungsanlage nach Berlin Köpenick
- Aufbereitung des Hausmülls in Berlin Köpenick (Siebung der hochkalorischen Fraktion)
- Transport der hochkalorischen Fraktion nach Wilmersdorf zur Weiterverwertung als Ersatzbrennstoff
- Transport von der Sammelstelle II zur EBS-Aufbereitungsanlage (EBS-Anlage) nach Wilmersdorf
- Anlage zur Aufbereitung von Ersatzbrennstoff
- Zwischenlagerung und innerbetrieblicher Transport am Standort Berlin Köpenick und Wilmersdorf
- Transport zum Zementwerk Rüdersdorf, ProPapier Eisenhüttenstadt, Zementwerk nach Chelm (Polen)

Grundsätzlich ist angestrebt, den gesamten Lebensweg der Produkte – wie hier von der Sammelstelle bis zur Verwertung dargestellt - miteinzubeziehen und mit entsprechenden

Prozessmodulen abzubilden. Wichtig ist, dass die ergebnisrelevanten Prozesse berücksichtigt werden bzw. etwaige Lücken transparent dargestellt sind.

Bei beiden Systemen werden die Teilprozesse, die vor dem Prozessschritt „Sammelstelle“ liegen, wie z.B. der Abriss des Hauses, Herstellung der Hölzer, Produktion der Güter usw. nicht bilanziell berücksichtigt, da sich keine einheitliche Quelle der Entstehung herausarbeiten lässt. Weitere gemeinsame nicht zu berücksichtigende Prozesse sind die Produktion der Anlagen, die Verwaltung, die Anschaffung des Fuhrparks und die Entsorgung von Produktionsresten (z.B. Asche).

In beiden Fällen wird eine Gutschrift am Ende der Sachbilanz berechnet. Altholz ersetzt den fossilen Rohstoff Braunkohle und Ersatzbrennstoff substituiert Steinkohle. Die genaue Berechnung ist in der Sachbilanz dargestellt.

#### **4.1.4 Datenerhebung und Datenqualität**

Die Datenerhebung erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Peter Schröder (Leiter Entsorgungsmanagement) bei ORS. In der Regel wurden die Daten als Primärdaten erfasst. Insbesondere gilt dies für signifikante Prozessmodule im Produktsystem. Daten, welche nicht direkt zur Verfügung stehen, werden aus der aktuellen Datenbank „Globales Emissions-Modell integrierter Systeme“ (*GEMIS Version 4.81*) bzw. Studien entnommen und liegen dann als Sekundärdaten vor. Jegliche Sekundärdaten werden in der PCF-Studie deutlich hervorgehoben, sodass eine klare Differenzierung möglich ist.

*Zeitbezogener Erfassungsbereich:* Die verwendeten Daten bezüglich der Mengenströme stammen aus dem Zeitraum Januar 2012 bis März 2013. Für die Berechnung benötigte Emissionsfaktoren haben einen unterschiedlichen zeitbezogenen Erfassungsbereich (2009-2012).

*Geographischer Erfassungsbereich:* Zu erfassende Daten, wie z.B. der Emissionsfaktor für Strom, beziehen sich nur auf Deutschland.

*Technologischer Erfassungsbereich:* Die an den jeweiligen Standorten eingesetzten Technologien sind die Bezugsbasis für die aufgenommen Daten.

Weitere zu untersuchende Anforderungen an die Datenqualität sind eine Überprüfung der Vollständigkeit, Repräsentativität und der Konsistenz der Daten. Insgesamt ist der Anteil an Primärdaten relativ hoch (ca. 70%), wodurch die Datenrepräsentativität als qualitativ hochwertig eingestuft werden kann. Die restlichen Daten (ca. 30%) umfassen Schätzwerte und Datenbankinformationen, die z.T. auf Basis der Primärdaten erhoben wurden.

#### 4.1.5 Festgelegte Annahmen

Innerhalb der PCF-Studie sollen die für die Berechnung getroffenen Annahmen eindeutig dokumentiert und erläutert werden. Getroffenen Annahmen im Rahmen dieser Studie werden im Folgenden näher beschrieben, sodass die in der Sachbilanz errechneten Werte transparent und nachvollziehbar sind. Eine übersichtliche Zusammenfassung der Annahmen sind dem Anhang 1 (Altholz) und Anhang 2 (EBS) zu entnehmen.

##### Annahmen: Altholz

Das Bezugsjahr für die PCF-Studie ist 2012. Die zu anderen Zeitpunkten erhobenen Daten stehen repräsentativ für das Jahr 2012 (dies betrifft Stromverbrauch und -erzeugung des BMKW in Wilmersdorf). ORS bezieht seinen Strom von der E.ON edis Vertrieb GmbH. Die Stromkennzeichnung gemäß §42 Energiewirtschaftsgesetz basiert auf den Daten von 2011. Aufgrund dessen liegt der spezielle CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor bei 415 g/kWh<sup>69</sup>, der für die gesamte Firma gültig ist. In 2012 lag der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland bei 576 g/kWh<sup>70</sup> und wird für die Bilanzierung der BMKW genutzt. Die Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf hat keinen extra Stromzähler, weshalb hier ein Schätzwert auf Basis der Gesamtnennleistung der Anlage sowie des Stromverbrauchs der Altholzaufbereitungsanlage in Wilmersdorf getroffen wurde, da die Anlagen sehr ähnlich sind. Des Weiteren lagen keine Primärdaten für das HKW Hokawe in Eberswalde vor, weshalb auch hier Annahmen bezüglich der Input- und Outputströme getroffen wurden (weitere Details hierzu im Anhang 1). Zudem ist eine Tonne Altholz gleichzusetzen mit einer Tonne Holzhackschnitzel, dem Output nach dem Recyclingprozess, da keine Allokation nach Masse vorgenommen wird und die Inputmenge gleichzusetzen ist mit der Outputmenge.

In der Distribution werden die LKW-Transporte und der innerbetriebliche Transport getrennt erfasst. Insgesamt gilt jedoch, dass ein Liter Diesel zu 2,63 Kilogramm CO<sub>2</sub> verbrennt (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor)<sup>71</sup>. Der Ort der Sammelstelle wurde auf Unter den Linden 1 in Berlin festgelegt. Für die LKW-Transporte gilt immer eine 100%ige Auslastung, jedoch je nach Transportweg ein unterschiedlicher Dieselvebrauch und unterschiedliche Zuladungen:

- Sammelstelle nach Teschendorf bzw. Annahme Berlin: Verbrauch von 22,5 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 3 Containern à 8 Tonnen (= 24 Tonnen)

<sup>69</sup> E.ON edis Vertrieb GmbH (2013): Stromkennzeichnung gemäß §42 EnWG auf Basis von Daten 2011.

URL: [https://www.eon.de/de/edis/pk/services/Rechtliches\\_Veroeffentlichungspflichten/Energiemix/index.htm](https://www.eon.de/de/edis/pk/services/Rechtliches_Veroeffentlichungspflichten/Energiemix/index.htm) (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>70</sup> Umweltbundesamt (2013): Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den Strommix in Deutschland in den Jahren 1990 – 2012, zitiert nach de.statista.com URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>71</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2009): Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe. URL: [http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug\\_app000006?SID=1062796996&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu\\_klima\\_00022,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29,S.40](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000006?SID=1062796996&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu_klima_00022,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29,S.40) (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

- Teschendorf nach Wilmersdorf: Verbrauch von 30 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 23 Tonnen (Schubbodenfahrzeug)
- Annahme Berlin nach Wilmersdorf: Verbrauch von 22,5 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 30 Tonnen Altholz (2 Container à 15 Tonnen)
- Für die restlichen Transporte gilt folgendes: Verbrauch von 30 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 33 Tonnen.

Für den innerbetrieblichen Transport wurde am Standort Wilmersdorf ermittelt, dass pro Schicht ca. 120 Liter Diesel verbraucht werden. Eine Schicht entspricht acht Stunden und ein Arbeitsjahr 300 Tagen. Demnach ergibt sich die Annahme, dass in 2012 für den innerbetrieblichen Transport am Standort Wilmersdorf 36.000 Liter Diesel verbraucht wurden. Am Standort Teschendorf liegt ebenfalls kein genauer Verbrauch vor, weshalb ein Schätzwert auf Basis der Inputmenge Altholz und des Dieselmotorkraftstoffverbrauchs am Standort Wilmersdorf ermittelt wurde. Daraus ergibt sich ein Verbrauch für Teschendorf von ca. 18.761 Liter Diesel für das Jahr 2012.

Bezüglich der Gutschrift wird angenommen, dass Altholz Braunkohle substituiert. Die Wahl hierfür ist auf den Anteil an der gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland zurückzuführen. Braunkohle machte im Jahr 2011 ca. 24% der Nettostromerzeugung aus.<sup>72</sup> Für die Berechnung gelten folgende CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren:

- Altholz direkt: 0 gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>73</sup>
- Braunkohle direkt: 957,680 gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>74</sup>
- Braunkohle Vorkette: 15,640 gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>75</sup>

#### Annahmen: Ersatzbrennstoff

Hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für Strom sind die Annahmen, die für die Aufbereitung von Altholz getroffen wurden, hier analog zu verwenden. Demnach liegt der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor bei 415 gCO<sub>2</sub>/kWh. Bezüglich der Hausmüllaufbereitungsanlage in Berlin Köpenick musste eine Annahme über den Stromverbrauch der Anlage getroffen werden, da der Standort keine spezifischen Verbräuche erfasst. Auf Basis der Gesamtnennleistung (355 kW) der Hausmüllaufbereitungsanlage wurde der Schätzwert ermittelt. Die Anlage läuft an 300 Arbeitstagen im Jahr, sowie acht Stunden pro Arbeitsschicht. Angenommen wird ein Einschichtsystem. Demnach ergibt sich ein Verbrauch von 852 MWh für 2012. Die Biofilter-

<sup>72</sup> Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2013): Nettostromerzeugung nach Energieträger, zitiert nach [de.statista.com](http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75405/umfrage/stromerzeugung-in-deutschland-seit-2008/) URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75405/umfrage/stromerzeugung-in-deutschland-seit-2008/> (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>73</sup> GEMIS Version 4.81, Suchwort: Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2010

<sup>74</sup> GEMIS Version 4.81, Suchwort: Braunkohle-KW-DT-DE-2010-Lausitz

<sup>75</sup> Ebd.

anlage gehört zur Hausmüllaufbereitungsanlage hinzu, wird jedoch extra erfasst. Der Stromverbrauch hierfür basiert ebenfalls auf der Nennleistung der Anlage (112 kW). Jedoch wird von einer Auslastung der Biofilteranlage von 50 % ausgegangen, sodass die Nennleistung bei 56 kW liegt. Die Anlage läuft ebenfalls an 300 Arbeitstagen im Jahr, jedoch 24 Stunden am Tag. Dies bedeutet, der Anlage wird ein Stromverbrauch von 403,2 MWh zugerechnet. Des Weiteren wird für die Anlage Berlin Köpenick angenommen, dass 46% des Hausmülls bzw. hausmüllähnlichem Gewerbeabfall Ersatzbrennstoff ist, was wiederum wichtig für die Allokation nach Masse ist. Die EBS-Anlage bezieht auch Strom von der E.ON edis Vertriebs GmbH.

Die Distribution ist ebenfalls in LKW-Transporte und den innerbetrieblichen Transport unterteilt. Auch hier gilt der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 2,63 Liter Diesel pro 100 Kilometer für Dieselmotorkraftstoff.<sup>76</sup> Die Ersatzbrennstoffaufbereitungsanlage in Wilmersdorf bezieht ihre Inputmengen von zwei verschiedenen Sammelstellen (I und II). Der Ort für die Sammelstelle I ist Unter den Linden 1 in Berlin. Der Abfall von dort wird jedoch vorsortiert in Berlin Köpenick (Hausmüllaufbereitungsanlage) und nur der hochkalorische Abfall wird nach Wilmersdorf zur Weiterverarbeitung transportiert. Für die Sammelstelle II wird eine durchschnittliche Entfernung von 150 Kilometern angenommen, da der Abfall von verschiedenen Orten kommt, deren Ermittlung und Zuordnung sehr komplex ist. Für die LKW-Transporte gelten folgende Annahmen:

- Sammelstelle I nach Anlage Berlin Köpenick: Verbrauch von 22,5 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 20 Tonnen (2 Container à 10 Tonnen) sowie eine 100%ige Auslastung
- Alle restlichen Transporte: Verbrauch von 30 Liter Diesel / 100 Kilometer und eine Zuladung von 22 Tonnen (Schubbodenfahrzeug) sowie eine 100%ige Auslastung

Der innerbetriebliche Transport am Standort Wilmersdorf setzt sich zusammen aus zwei Radladern, einem Teleskopstapler und einem Bagger. Am Anlagenstandort in Berlin Köpenick kommen ein Radlader sowie ein Bagger zum Einsatz. In Berlin Köpenick wird der Dieselmotorkraftstoffverbrauch für den Fuhrpark nicht explizit erfasst, weshalb hier ein Schätzwert ermittelt wurde. Dieser leitet sich von den Primärdaten aus Wilmersdorf ab, sodass von einem Dieselmotorkraftstoffverbrauch von ca. 30.00 Litern ausgegangen werden kann.

Für die Gutschrift wird angenommen, dass der erzeugte Ersatzbrennstoff ein Substitutionsgut für Steinkohle ist, da die Verwendung von Steinkohle im Zementwerk Rüdersdorf (ein

---

<sup>76</sup> Siehe LfU (2009), S. 40 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

Kunde von ORS) mit 20,1% im Jahr 2011 einen bedeutenden Anteil ausmacht.<sup>77</sup> Die zur Berechnung verwendeten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren sind Informationen der Datenbasis von *GEMIS Version 4.81*:

- Steinkohle direkt: 12,65 gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>78</sup>
- Steinkohle Vorkette: 338,40 gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>79</sup>

Eine Übersichtliche Zusammenfassung der festgelegten Annahmen für EBS ist dem Anhang 2 zu entnehmen.

## 4.2 Recyclingprozess: Altholz

An dieser Stelle wird die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung der PCF-Studie nur für **Altholz** vorgenommen.

### 4.2.1 Sachbilanz für den PCF

Zunächst werden alle relevanten Stoff- und Energieströme innerhalb der zuvor festgelegten Systemgrenze erhoben, sodass daraufhin die CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet werden können. Die verwendeten Primärdaten stammen direkt von ORS und zum Teil von den Betreibern der Biomassekraftwerke an den anderen Standorten (Demmin, Beeskow und Eberswalde). Die Sekundärdatenquellen sind zum einen die Datenbank *GEMIS 4.81* und zum anderen Schätzwerte und Annahmen, die vorwiegend auf den Primärdaten basieren.

Die Berechnung der jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird immer auf die funktionelle Einheit **1 Tonne Altholz** bezogen dargestellt. Eine Übersicht der getroffenen Annahmen befindet sich im Anhang 1, diese werden zum Teil jedoch auch wiederholt wiedergegeben.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ist für jedes Prozessmodul im Produktsystem beschrieben.

#### 4.2.1.1 Aufbereitung

Das Prozessmodul *Aufbereitung* des Altholzes beinhaltet im Wesentlichen das Recycling des Altholzes an den Standorten Teschendorf und Wilmersdorf in den Altholzaufbereitungsanlagen, sowie die thermische Verwertung der produzierten Holzhackschnitzel in den Biomassekraftwerken zur Erzeugung von Strom. Der Transport zu den Standorten, der innerbetriebliche Transport, sowie der Weitertransport nach der Aufbereitung wird unter Punkt 4.2.1.3 Distribution dargestellt. Dem Anhang 3.1 und 3.2 sind die spezifischen Massen- und Ener-

---

<sup>77</sup> CEMEX (2013): Gemeinsame Umwelterklärung 2013. Zementwerke Beckum und Rüdersdorf. URL: [http://www.cemex.de/Userfiles/PDF/Homepage/uwe\\_2013\\_deutsch.pdf](http://www.cemex.de/Userfiles/PDF/Homepage/uwe_2013_deutsch.pdf), S. 35 (letzter Zugriff am: 21.05.2013)

<sup>78</sup> GEMIS Version 4.81, Suchwort: Wärme-Prozess-Zement-Steinkohle (Endenergie)-2010

<sup>79</sup> GEMIS Version 4.81, Suchwort: Wärme-Prozess-Zement-Steinkohle (Endenergie)-2010

gieströme für die Bilanzierung zu entnehmen. Hier werden ausschließlich die bilanzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt und erläutert, wie das Berechnungsschema ist.

### (A) Anlage Teschendorf

Die Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf besteht aus einem Vorbrecher, einer Hammermühle, einem Metallabscheider und Transportbändern. Ein Radlader beschickt die Altholzaufbereitungsanlage mit Altholz zur Weiterverarbeitung. Zunächst werden die groben und sperrigen Holzteile zerkleinert (Vorbrecher) und anschließend zu Holzhackschnitzel verarbeitet (Hammermühle). Mittels Transportbändern werden diese automatisch befördert. Ein Metallabscheider sorgt für die Aussortierung von Metallen, sodass die Verwertungsquote steigt.

Die Grundlage für die Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bilden der Energieverbrauch und die eingesetzte Altholzmenge, sowie der spezifische Emissionsfaktor. Hinsichtlich des Energieverbrauchs für die Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf wird der Wert auf Basis der standortspezifischen Daten von Wilmersdorf geschätzt (siehe Annahmen Altholz im Anhang 1). Eine standortspezifische Angabe ist die Inputmenge Altholz für das Jahr 2012.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich aus dem Verhältnis von Stromverbrauch (SV) und dem Emissionsfaktor (EF) zu Inputmenge Altholz in Tonnen. Eine Umrechnung von Gramm in Kilogramm muss noch erfolgen. Demgemäß setzt sich die Formel wie folgt zusammen:

$$\frac{\text{Stromverbrauch} * \text{Emissionsfaktor}}{\text{t Altholz}} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t Altholz}} \right]$$

Mit SV: 298.226 kWh (Quelle: Schätzwert)

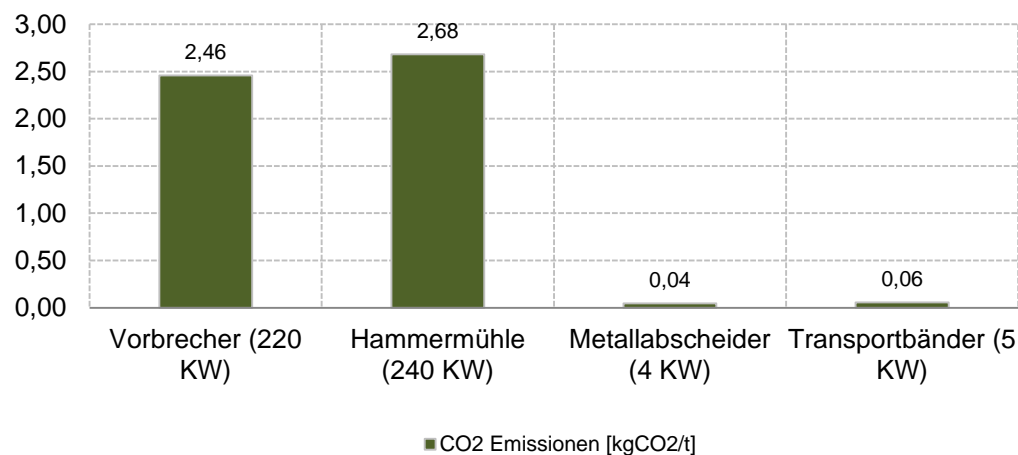
EF: 415 gCO<sub>2</sub>/kWh (Quelle: E.ON Edis)

Inputmenge Altholz: 23.601 t (Quelle: ORS)

Insgesamt entstehen durch die Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf **5,24 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz**. Die spezifische Menge an CO<sub>2</sub> der einzelnen Prozessschritte der Anlage wird auf Basis des prozentualen Anteils an der Gesamtnennleistung (469 kW) ermittelt. Das Ergebnis ist folgendem Diagramm (Abb. 4.3) zu entnehmen.



## Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf



**Abb. 4.3** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf  
Quelle: Eigene Darstellung

**(B) Anlage Wilmersdorf**

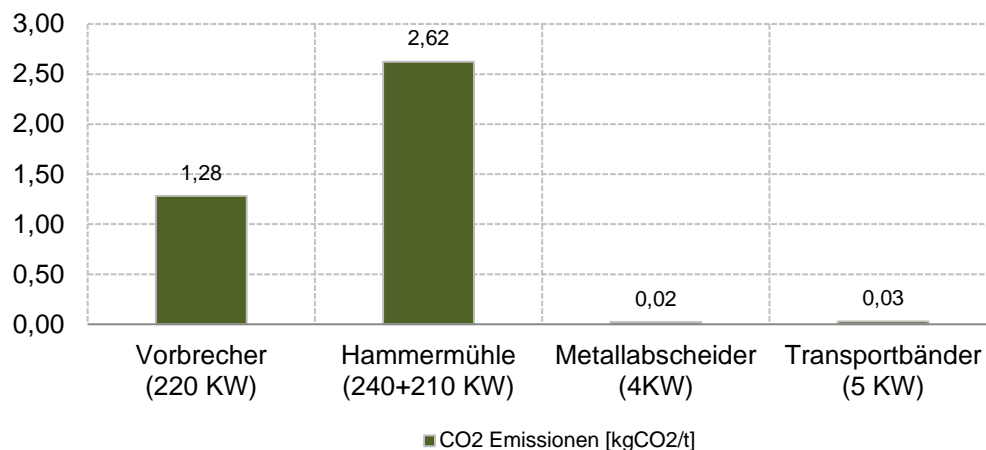
In Wilmersdorf ist die Altholzaufbereitungsanlage ähnlich wie in Teschendorf aufgebaut. Mit einer zusätzlichen Hammermühle erhöht sich die Gesamtnennleistung auf 679 kW im Vergleich zu Teschendorf. Die zur Berechnung verwendeten Inputdaten sind Primärdaten. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt analog zu den Berechnungsschritten für die Anlage in Teschendorf:

Mit SV:	431.760 kWh	(Quelle: Schätzwert)
EF:	415 gCO <sub>2</sub> /kWh	(Quelle: E.ON Edis)
Inputmenge Altholz:	45.287 t	(Quelle: ORS)

Am Standort Wilmersdorf wird durch die Altholzaufbereitungsanlage eine Gesamtmenge von **3,96 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz** emittiert. Eine Zuordnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die jeweiligen Prozessschritte erfolgt in gleicher Weise wie bei der Anlage Teschendorf über eine prozentuale Aufteilung hinsichtlich der Gesamtnennleistung (679 kW).

Folgende Abb. 4.4 stellt das Ergebnis dar.

## Altholzaufbereitungsanlage in Wilmersdorf



**Abb. 4.4** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Altholzaufbereitungsanlage in Wilmersdorf  
Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.2.1.2 Verwertung im Biomassekraftwerk

Die Bilanzierung der Biomassekraftwerke hat den Hintergrund, dass möglichst alle signifikanten Prozesse bei der PCF-Studie berücksichtigt werden sollen. Die Firma ORS betreibt seit 2004 ein eigenes Biomassekraftwerk am Standort Wilmersdorf, in dem das am Standort recycelte Altholz verstromt wird. Weitere zu bilanzierende BMKW sind das HKW Hokawe in Eberswalde, Biotherm Demmin und BHW Beeskow Holzwerkstoffe, da diese ebenfalls Holzhackschnitzel der Firma ORS zur thermischen Verwertung einsetzen.

Vom BMKW Wilmersdorf, Beeskow und Demmin liegen Primärdaten vor. Für das BMKW in Eberswalde mussten Schätzwerte ermittelt werden, da keine Primärdaten veröffentlicht und auf direkte Nachfrage keine herausgegeben wurden. Bei der Berechnung wird eine Tonne Altholz mit einer Tonne Holzhackschnitzel gleichgesetzt, da der Anteil an abgetrennten Metallen und sonstigen Störstoffen aufgrund der geringen Mengen vernachlässigt werden kann (siehe hierfür auch die Annahmen der PCF-Studie Altholz im Anhang 1).

Das Berechnungsverfahren ist in ähnlicher Weise durchzuführen, wie für die Anlagen in Teschendorf und Wilmersdorf bereits dargestellt. Bilanzuell wird nur die Inputmenge an Holzhackschnitzel berücksichtigt, die direkt von der Firma ORS stammen, wodurch die Formel folgendermaßen erweitert wird:

$$\frac{\text{Stromverbrauch} \cdot \text{Emissionsfaktor}}{\text{t Holzhackschnitzel}} \cdot \% \text{-Anteil Altholz von ORS} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t Altholz}} \right]$$

Am Beispiel des BMKW in Wilmersdorf wird die Berechnung anschaulich dargestellt:

Mit SV:	4.662 MWh	(Quelle: Schätzwert)
EF:	415 gCO <sub>2</sub> /kWh	(Quelle: E.ON Edis)

Inputmenge Holzhackschnitzel: 39.670 t (Quelle: ORS)

Anteil Holz von ORS: 100% (Quelle: ORS)

Es ergibt sich ein Ergebnis von **48,8 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz** für das BMKW Wilmersdorf.

Analog zur eben dargestellten Rechenmethode sind in folgender Tabelle die Ergebnisse der weiteren Biomassekraftwerke übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 4.2** Zusammenfassung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Biomassekraftwerke der PCF-Studie Altholz

Biomassekraftwerk	Ausgangswert [kWh/t]	Emissionsfaktor [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionen absolut [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil Altholz von ORS an der Gesamtinputmenge [%]	CO <sub>2</sub> -Emissionen relativ [kgCO <sub>2</sub> /t]
Biomassekraftwerk Wilmersdorf	117,52	415	48,8	100%	<b>48,8</b>
Biotherm Demmin	83,20	576	47,9	22,2%	<b>10,6</b>
BHW Beeskow Holzwerkstoffe	121,87		70,2	36,0%	<b>25,3</b>
HKW Hokawe Eberswalde	125,00		72,0	4,0%	<b>2,9</b>

\* 415 gCO<sub>2</sub>/kWh = EF E.ON Edis 2011

\* 576 gCO<sub>2</sub>/kWh = EF Strommix Deutschland 2012

Beim direkten Verbrennen von Altholz im Biomassekraftwerk entstehen keine zu bilanzierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen (Emissionsfaktor für Altholz gleich 0 kgCO<sub>2</sub>/kWh).<sup>80</sup> Insgesamt ergibt sich für die CO<sub>2</sub>-Bilanz eine Menge von **87,6 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz** für die Verwertung der Holzhackschnitzel in den Biomassekraftwerken.

#### 4.2.1.3 Distribution

Um den Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den jeweiligen Transporten zu ermitteln, wird für eine bessere Darstellung der Ergebnisse eine Aufteilung vorgenommen:

- (A) Transportkette über Teschendorf, dazu gehört der Transport von
- der Sammelstelle nach Anlage Teschendorf
  - der Anlage Teschendorf nach BMKW Wilmersdorf
  - der Anlage Teschendorf nach Biotherm Demmin
  - der Anlage Teschendorf nach HKW Hokawe Eberswalde
  - der Anlage Teschendorf nach BHW Beeskow Holzwerkstoffe
- (B) Transportkette über Wilmersdorf, dazu gehört der Transport von
- der Sammelstelle nach Anlage Wilmersdorf
  - der Anlage Wilmersdorf nach HKW Hokawe Eberswalde

<sup>80</sup> GEMIS Version 4.81, Suchwort: Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2010

- der Anlage Wilmersdorf nach BHW Beeskow Holzwerkstoffe
- (C) Innerbetrieblicher Transport am Standort Teschendorf und Wilmersdorf

Die bereits in Kapitel 4.1.5 festgelegten Annahmen werden zur Berechnung herangezogen. Des Weiteren werden standortspezifische Daten zur Quantifizierung genutzt.

#### Transportkette (A) und (B)

Das folgende Berechnungsverfahren ist auf alle LKW-Transporte bei (A) und (B) anzuwenden, parallel wird dies am Beispiel „Transport von der Anlage Teschendorf nach Biotherm Demmin“ erläutert:

1. Transportweg untersuchen, indem die Entfernung von Standort ‚X‘ bis Standort ‚Y‘ in Kilometern ermittelt wird (z.B. mithilfe von Google Maps<sup>81</sup>).

*Beispiel:* Die Entfernung vom Standort Teschendorf nach Biotherm Demmin beträgt 142 Kilometer.

2. Der Transportfaktor (TF) ist der verbrauchsspezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß des LKWs pro gefahrenen Kilometer und wird mithilfe folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{Dieselverbrauch pro 100 km}}{100} * \text{Emissionsfaktor} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} \right]$$

Der Emissionsfaktor (EF) ist dabei immer konstant 2,63 kgCO<sub>2</sub>/l Diesel<sup>82</sup>, da die Fahrzeuge in der PCF-Studie ausschließlich Diesel verbrennen.

*Beispiel:* Dieselverbrauch: 30 l/100km (Quelle: ORS)

EF: 2,63 kgCO<sub>2</sub>/l (Quelle: LfU)

Der Transportfaktor liegt demnach bei 0,79 kgCO<sub>2</sub>/km.

3. Anschließend wird der CO<sub>2</sub>-Wert bezogen auf die funktionelle Einheit ermittelt. Dazu wird der errechnete CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Kilometer mit der Gesamtkilometeranzahl der zurückgelegten Strecke multipliziert und auf eine Tonne Altholz normiert:

$$\frac{\text{Transportfaktor} * \text{Entfernung}}{\text{Beladung}} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t Altholz}} \right]$$

*Beispiel:* TF: 0,79 kgCO<sub>2</sub>/km (Quelle: eigene Berechnung)

Entfernung: 142 km (Quelle: Google Maps)

Beladung: 33 t (Quelle: ORS)

<sup>81</sup> Siehe <https://maps.google.de/>

<sup>82</sup> Vgl. LfU (2009), S. 40 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

Im hier angezeigten Beispiel errechnet sich eine CO<sub>2</sub>-Menge von **3,40 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz** für die Strecke vom Standort Teschendorf nach Biotherm Demmin.

Analog hierzu werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen für jede zurückgelegte Strecke ermittelt.

Folgende Tabelle 4.3 gibt einen Überblick der Ergebnisse:

**Tabelle 4.3** Zusammenfassung der CO<sub>2</sub>-Emissionen Distribution (A) und (B) der PCF-Studie Altholz

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]	Transportfaktor [kgCO <sub>2</sub> / km]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t]
<b>(A) Transportkette über Teschendorf</b>					
Sammelstelle >> Anlage Teschendorf	50	22,5	24	0,59	<b>1,23</b>
Anlage Teschendorf >> BHKW Wilmersdorf	130	30	23	0,79	<b>4,46</b>
Anlage Teschendorf >> Biotherm Demmin	142	30	33	0,79	<b>3,40</b>
Anlage Teschendorf >> HKW Hokawe Eberswalde	47,4	30	33	0,79	<b>1,13</b>
Anlage Teschendorf >> BHW Beeskow Holzwerkstoffe	137	30	33	0,79	<b>3,28</b>
<b>Summe</b>					<b>13,50</b>

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]	Transportfaktor [kgCO <sub>2</sub> / km]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t]
<b>(B) Transportkette über Wilmersdorf</b>					
Sammelstelle >> Annahme Berlin	9	22,5	24	0,59	<b>0,22</b>
Annahme Berlin >> Anlage Wilmersdorf	88	22,5	30	0,59	<b>1,74</b>
Anlage Wilmersdorf >> BHW Beeskow Holzwerkstoffe	19,9	30	33	0,79	<b>0,48</b>
Anlage Wilmersdorf >> Biotherm Demmin	289	30	33	0,79	<b>6,91</b>
<b>Summe</b>					<b>9,34</b>

Für die Transportkette über Teschendorf (A) ergibt sich eine Gesamtsumme von **13,50 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz**. Die Summe der CO<sub>2</sub> Emissionen der Transportkette Wilmersdorf (B) ergibt einen Wert von **9,34 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz**.

Innerbetrieblicher Transport (C)

Für den innerbetrieblichen Transport werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen gesondert berechnet, da die Daten ein anderes Rechenverfahren erfordern, was auf die Datenlage zurückzuführen ist. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$\frac{\text{Dieselverbrauch}}{\text{Durchsatz}} * \text{Emissionsfaktor} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t Altholz}} \right]$$

Der Emissionsfaktor für Diesel ist 2,63 kgCO<sub>2</sub>/l Diesel.<sup>83</sup> Folgende Tabelle 4.4 fasst die Daten und die Ergebnisse zusammen:

**Tabelle 4.4** Zusammenfassung des innerbetrieblichen Transports der PCF-Studie Altholz

	Diesel- verbrauch [l]	Durchsatz [t]	Diesel- faktor [l/t]	CO <sub>2</sub> - Emissio- nen [kgCO <sub>2</sub> /t]
innerbetrieblicher Transport Teschendorf	18.761 * <sup>1</sup>	23.601	0,79	<b>2,09</b>
innerbetrieblicher Transport Wilmsdorf	36.000	45.287	0,79	<b>2,09</b>
<b>Summe</b>				<b>4,18</b>

\*<sup>1</sup> Schätzwert auf Basis des Dieselverbrauchs in Wilmsdorf

Durch den innerbetrieblichen Transport werden insgesamt **4,18 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz** emittiert.

#### 4.2.1.4 Gutschrift

Dem Produktsystem wird eine Gutschrift angerechnet, da Altholz zur Erzeugung von klimafreundlichem Strom im BMKW eingesetzt wird. Das bei der direkten Verbrennung frei werdende CO<sub>2</sub> wurde zuvor im Holz durch Photosynthese gebunden und wird demnach in der CO<sub>2</sub>-Bilanz als biogener Kohlenstoff behandelt und mit Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen von null bilanziert. Anerkannt wird dieses Verfahren durch die DIN ISO 14067.<sup>84</sup> Die Gutschriftenvergabe erfolgt für das Substitutionsprodukt Braunkohle, als eine mögliche Alternative zur Erzeugung von Strom. Die benötigten Emissionswerte zur Berechnung der Gutschrift wurden der Datenbank *GEMIS Version 4.81* entnommen bzw. sind eigene Berechnungen. Die durch die Altholzverwertung entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen erhalten eine Gutschrift in Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Produktsystems Braunkohle. Hierbei werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen beim direkten Verbrennen der Brennstoffe, sowie die Vorketten (Transport, Verarbeitung usw.) betrachtet.

<sup>83</sup> Siehe LfU (2009), S. 40 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>84</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 6.4.9.2

In der nachstehenden Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse tabellarisch dargestellt:

**Tabelle 4.5** Gutschriftenvergabe der PCF-Studie Altholz

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vorkette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]
Altholz	0	165,100	165,100
Braunkohle	957,680	15,640	973,320
<b>Summe</b>	<b>-957,680</b>	<b>149,460</b>	<b>-808,220</b>

Das Ergebnis von -808,220 gCO<sub>2</sub>/kWh sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Einsatz von Altholz eingespart werden.

#### 4.2.1.5 Endergebnis CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Das derzeitige Zwischenergebnis von -808,220 gCO<sub>2</sub>/kWh wird nun bezogen auf die funktionelle Einheit (fE=1t Altholz) angepasst. Im Jahr 2012 wurden insgesamt 62.334 Tonnen Altholz verwertet und dadurch 47.462 MWh Strom erzeugt. Daraus ergibt sich eine Gesamtersparnis von **605,92 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz**. Bezogen auf das gesamte Jahr hat die Firma O.-R. Schulze Holz und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG durch die Verwertung von Altholz rund 37.770 Tonnen Kohlendioxid eingespart.

#### 4.2.2 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung für diese PCF-Studie bezieht sich nur auf die Wirkungskategorie „Klimawandel“. Des Weiteren erfolgt die Berechnung ausschließlich für das Treibhausgas CO<sub>2</sub> und nicht für CO<sub>2</sub>-Äquivalente, weshalb das Treibhauspotential weiterer Treibhausgase, die im Protokoll von Kyoto festgeschrieben sind (Methan, Stickoxid usw.), nicht berücksichtigt werden kann, da keine Daten hierzu ermittelt wurden. Kohlendioxid hat ein Treibhauspotential von GWP=1.<sup>85</sup> Im Ergebnis erschließt sich der gleiche Wert (CO<sub>2</sub>-Emissionen \* GWP), sodass keine Anpassung vorgenommen wird und eine Ersparnis von -605,92 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz beibehalten wird.

Eine genauere Betrachtung der Risiken, die durch den Klimawandel für den Menschen und die Umwelt entstehen, zeigt, dass insbesondere der Gletscherschwund, Anstieg des Meeresspiegels, Wetterextreme, die Ausbreitung von Krankheiten und die negativen Auswirkungen auf Ökosysteme daraus resultieren können.<sup>86</sup> Durch die Wiederverwertung von Altholz können die genannten Risiken abgeschwächt werden, da eine mögliche Option zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung die Substitution fossiler Brennstoffe ist.<sup>87</sup>

<sup>85</sup> Siehe IPCC (2007) (letzter Zugriff am: 30.05.2013)

<sup>86</sup> Vgl. Sturm, Bodo; Vogt, Carsten (2011): Umweltökonomik. Eine anwendungsorientierte Einführung. Heidelberg: Physica Verlag. S. 139 ff.

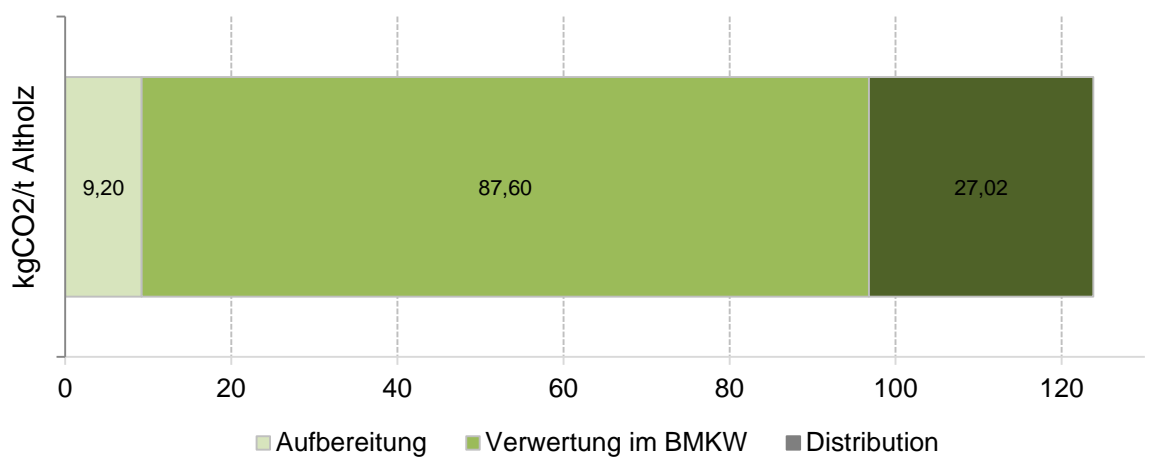
<sup>87</sup> Vgl. ebd., S. 148

### 4.2.3 Auswertung

Das Ziel der Auswertung besteht zum einen darin, einen Bezug zur Phase „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“ zu nehmen (siehe Kapitel 4.1). Zum anderen werden die in der Sachbilanz ermittelten Ergebnisse zusammenhängend präsentiert und signifikante Parameter identifiziert. Daran schließen sich Analysen hinsichtlich der Vollständigkeit und Konsistenz der Daten, sowie eine Sensitivitätsanalyse und eine abschließende Schlussfolgerung einschließlich der Formulierung von Empfehlungen.

Mit der PCF-Studie wird gezeigt, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Altholz eine **Einsparung von rund 605,92 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz** bewirkt. Dieses Ergebnis ist sehr positiv zu werten, da je verwertete Tonne Altholz ein positiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird. Zudem ist das Ziel erreicht, den PCF zu quantifizieren und zu zeigen, dass Recycling CO<sub>2</sub>-Emissionen einspart. Um jedoch einen Überblick der Hauptemissionen des untersuchten Produktes zu erhalten und gegebenenfalls Reduktionspotentiale aufzudecken, wird das Ergebnis zunächst ohne die Gutschrift ausgewertet. In folgender Abb. 4.5 sind die Anteile der jeweiligen Prozessmodule des Produktsystems dargestellt:

CO<sub>2</sub>-Bilanz der Vorkette (ohne Gutschrift)



**Abb. 4.5** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Vorkette der PCF-Studie Altholz (ohne Gutschrift)

Quelle: Eigene Darstellung

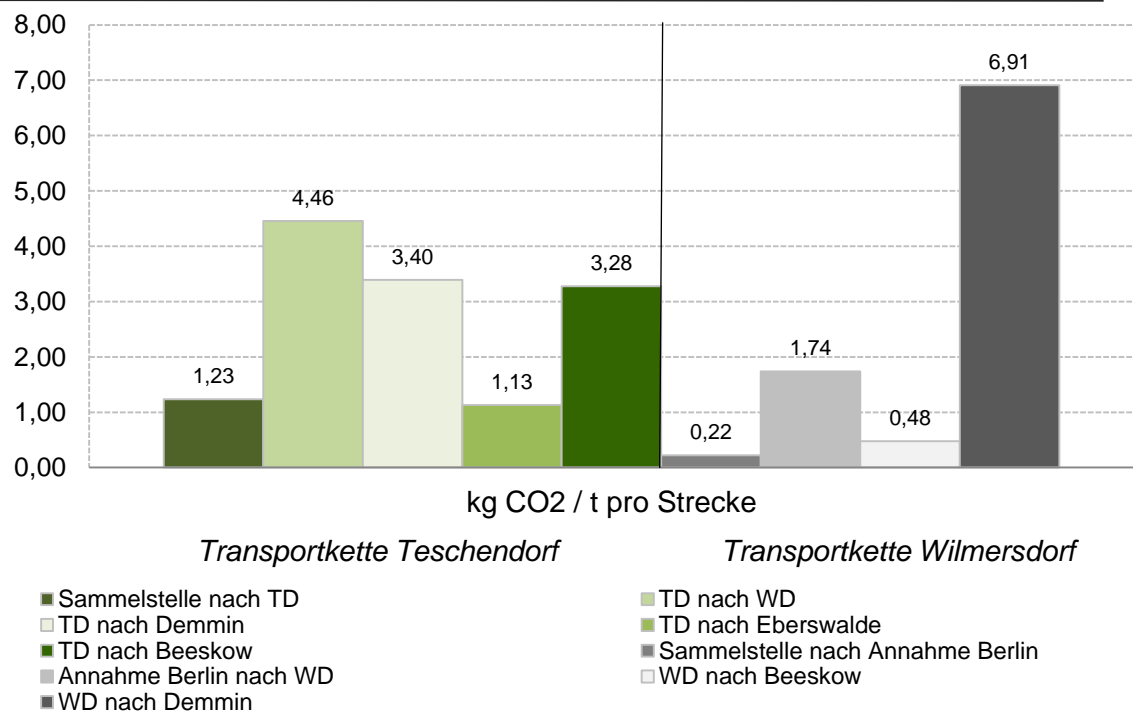
Insgesamt entstehen durch die Vorkette 123,82kgCO<sub>2</sub>/t Altholz. Es hebt sich deutlich hervor, dass die *Verwertung im BMKW* den bedeutendsten Anteil am CO<sub>2</sub>-Gesamtergebnis hat (87,60 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz). Darauf folgt die *Distribution* mit 27,02 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz. Weniger signifikant ist der Prozessschritt *Aufbereitung* des Altholzes (9,20 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz). Eine tiefergehende Auswertung des Prozessmoduls *Verwertung im BMKW* zeigt, dass das eigene Biomassekraftwerk in Wilmersdorf 48,8 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz emittiert und somit rund 40% am Gesamtoutput des PCF beiträgt. Der Grund liegt darin, dass der Eigenstrombedarf sehr hoch ist und das Kraftwerk zu 100% bilanziell berücksichtigt wird, da die gesamte Inputmenge Altholz



von ORS stammt. Die anderen BMKW haben zum Teil einen signifikanten Einfluss auf das Endergebnis, lassen sich jedoch nicht weiter beeinflussen, da die Betreiber der BMKW Externe sind.

In der *Distribution* fallen bei genauerer Betrachtung (siehe Abb. 4.6) der Transport von Teschendorf nach Wilmersdorf (4,46 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz) sowie der Transport von Wilmersdorf nach Demmin (6,91 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz) besonders auf, da sie den höchsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursachen. Das liegt vor allem an der zurückgelegten Entfernung, die bei beiden Fällen über 140 Kilometer liegt.

#### CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Distribution



**Abb. 4.6** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Distribution der PCF-Studie Altholz  
Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.2.3.1 Vollständigkeit, Konsistenz und Datenqualität

Die für die Auswertung dieser PCF-Studie gesammelten Daten und Informationen lagen im Wesentlichen vor. Insbesondere die von ORS gelieferten standortspezifischen Daten weisen eine sehr hohe Datenqualität auf. In Bezug auf die getroffenen Annahmen für nicht vorhandene Daten, wurde in den meisten Fällen eine Ableitung auf Basis der Primärdaten vorgenommen. Dies gilt speziell für die Informationen des Biomassekraftwerks in Eberswalde, für den Stromverbrauch der Altholzaufbereitungsanlage in Teschendorf sowie für die Angaben zum Dieselverbrauch und der Beladung der LKW-Transporte zu den BMKW. Um die Aussagekraft der getroffenen Annahmen zu untersuchen, werden im Folgenden Sensitivitätsanaly-

sen für jedes Prozessmodul durchgeführt. Der iterative Ansatz, wie er hier verfolgt wurde, stützt die Konsistenz der Daten.

#### 4.2.3.2 Sensitivitätsanalyse

In der Sensitivitätsanalyse werden Parameter, die zum Teil mit Unsicherheiten behaftet (z.B. getroffene Annahmen) oder einen signifikanten Einfluss auf den Product Carbon Footprint haben, variiert.

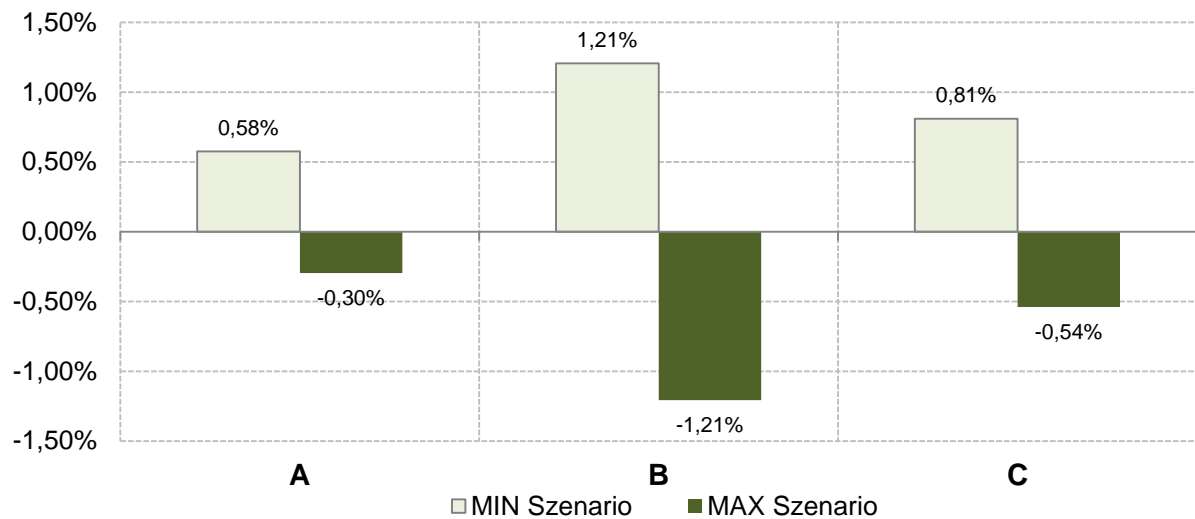
Dabei werden für jedes Prozessmodul innerhalb der Systemgrenze Annahmen (A, B und C) bezüglich eines Minimum-Szenarios (MIN Szenario) und eines Maximum-Szenarios (MAX Szenario) formuliert, die folgender Tabelle 4.6 zu entnehmen sind.

**Tabelle 4.6** Szenarien der Sensitivitätsanalyse für die Vorkette von Altholz

An- nahme	Prozessmodul	Beschreibung	MIN Szenario	Basis- annahme	MAX Szenario	Einheit
<b>A</b>	Aufbereitung	Stromverbrauch in Teschendorf	100.000	298.226	400.000	kWh
			609,41	605,92	604,13	kgCO <sub>2</sub> /t
<b>B</b>	Verwertung im BMKW	Eigenstrombedarf BMKW in Wil- mersdorf	3963	4662	5361	kgCO <sub>2</sub> /kWh
			613,23	605,92	598,61	kgCO <sub>2</sub> /t
<b>C</b>	Distribution	Dieselverbrauch LKW pro 100 km	22,5	30	35	l/100km
			610,83	605,92	602,65	kgCO <sub>2</sub> /t

Des Weiteren enthält die Tabelle 4.6 bereits die Resultate der Sensitivitätsanalyse, die jedoch zur besseren Darstellung grafisch ausgewertet werden (siehe Abb. 4.7):

## Auswertung der Sensitivitätsanalyse



**Abb. 4.7** Auswertung der Sensitivitätsanalyse der PCF-Studie Altholz

Quelle: Eigene Darstellung

Die mittlere Linie stellt die Basisannahmen dieser PCF-Studie dar. Ausgehend davon erhöht (= MIN Szenario) oder verringert (MAX Szenario) sich das Gesamtergebnis um die jeweiligen Prozente.

Die genaue Erfassung des Stromverbrauchs für die Aufbereitung des Altholzes in Teschendorf (siehe **Annahme A**) hat keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe des CO<sub>2</sub>-Wertes. Dies zeigt sich sowohl im MIN Szenario (+0,58%), als auch im MAX Szenario (-0,30%). Somit kann daraus geschlossen werden, dass die exakte Erfassung des Stromverbrauches in Teschendorf für die PCF-Studie nicht von hoher Relevanz ist, aber dennoch die Datenqualität insgesamt erhöhen würde.

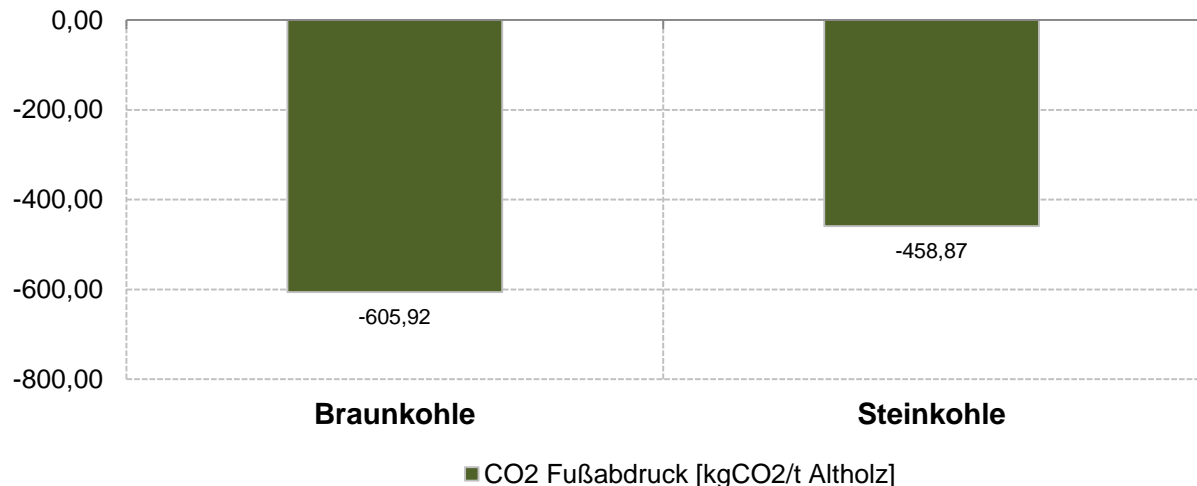
Aus den Daten für die **Annahme B** ergibt sich, dass die Senkung des Eigenstrombedarfs um 10% für das BMKW in Wilmersdorf einen bedeutenden Einfluss auf den Product Carbon Footprint hat. Gleiches gilt auch, wenn der Stromverbrauch höher wäre. Daraus ergeben sich verschiedene Reduktionspotenziale.

In der letzten **Annahme C**, in der Distribution, ergibt sich durch die Senkung des Dieselmotorenkraftstoffverbrauchs der LKWs auf 22,5 l/100km eine Steigerung der CO<sub>2</sub>-Bilanz um 0,81%. Im direkten Vergleich zu den anderen Ergebnissen, ist die Signifikanz für das Endergebnis nur zum Teil gegeben.

Es sollte darüber hinaus untersucht werden, inwieweit die Wahl der Gutschriftenmethode - hier Braunkohle - einen ergebnisrelevanten Einfluss hat. Diesbezüglich wird erneut eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die jedoch nur den Bereich der Gutschriftenvergabe abdeckt. Im Vergleich zur Basisannahme wird untersucht, wie sich das Endergebnis bei der

Wahl von z.B. Steinkohle verändert. Die dafür benötigten Informationen entstammen der Datenbank *GEMIS Version 4.81* und sind dem Anhang 3.7 zu entnehmen. Folgende Abb. 4.8 zeigt die Auswirkungen bei der Wahl des Szenarios, dass Steinkohle statt Braunkohle bei der Gutschriftenvergabe verwendet wird:

#### Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe



**Abb. 4.8** Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe der PCF-Studie Altholz  
Quelle: Eigene Darstellung

Es ist eine deutliche Differenz zwischen den jeweiligen Ergebnissen zu erkennen. Die Umweltentlastung fällt bei Braunkohle deutlich höher aus als bei Steinkohle. Die Ersparnis je Tonne Altholz sinkt prozentual um ca. 24% bei der Wahl von Steinkohle statt Braunkohle.

#### 4.2.3.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Insgesamt lässt sich erkennen, dass die eingesparte Menge an Kohlendioxid (605,92 kgCO<sub>2</sub>) bereits als sehr positiv zu bewerten ist. Im Branchenvergleich zeigt sich, dass z.B. bei der Alba Group unter annähernd gleichen Voraussetzungen je Tonne Altholz rund 380 kgCO<sub>2</sub> eingespart werden.<sup>88</sup> Bei der Interseroh AG liegt die Einsparsumme im Recyclingprozess bei 770 kgCO<sub>2</sub> je Tonne Altholz.<sup>89</sup> Somit gliedert sich das Ergebnis der vorliegenden PCF-Studie im Markt ein und weist keine signifikante Abweichung auf. Dennoch sind weitere Reduktionspotentiale des Product Carbon Footprint möglich, sodass die Entlastung des Klimas und somit der Umwelt weiterhin vorangetrieben wird. Diesbezüglich zeigt die Sensitivitätsanalyse deutlich, an welchen Stellen das Unternehmen Ansatzpunkte findet. Insbesondere die Senkung des Eigenstrombedarfs im BMKW Wilmersdorf würde einen entscheidenden Beitrag zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks (betrachtet ohne Gutschrift) leisten. Dazu können

<sup>88</sup> Siehe Alba Group plc & Co. KG (2011): Recycling für den Klimaschutz. Treibhausgase reduzieren – Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen zeigen. URL: [http://www.albagroup.de/fileadmin/media/Co2\\_Studie/ALBA\\_Group\\_CO2\\_2.11.11/20120929\\_Brosch%C3%BCre\\_Treibhausgase.pdf](http://www.albagroup.de/fileadmin/media/Co2_Studie/ALBA_Group_CO2_2.11.11/20120929_Brosch%C3%BCre_Treibhausgase.pdf), S. 20 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>89</sup> Siehe Fraunhofer-Institut für Umwelt Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT); Interseroh AG (2008): Recycling für den Klimaschutz. URL: [http://www.regensburg.de/sixcms/media.php/121/broschuere\\_recycling\\_fuer\\_den\\_klimaschutz.pdf](http://www.regensburg.de/sixcms/media.php/121/broschuere_recycling_fuer_den_klimaschutz.pdf), S. 8 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

Faktoren wie vermeidbare Gleichzeitigkeit oder der Bezug von Eigenstrom in Betracht gezogen werden.<sup>90</sup> Eine weitere Möglichkeit wäre die genaue Ermittlung der bisher nur geschätzten Daten, daraus könnten sich ggf. neue Maßnahmen ableiten. Dies ist vor allem auf den Standort Teschendorf bezogen, wobei auch die Verbräuche (Strom und Inputmaterial) der anderen BMKW genauer erfasst werden sollten. Weitere mögliche Handlungsfelder für Optimierungen liegen in der Distribution, da es ca. 22% der Kohlendioxidemissionen ausmacht. Ansatzpunkte für die ORS könnten eine Routenoptimierung (sparsamste Strecke wählen), Start-Stopp-Funktion (Senkung des Kraftstoffverbrauchs) oder alternative Treibstoffe (Biodiesel hat 60% weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen als fossile Kraftstoffe) sein.<sup>91</sup> Diese Maßnahmen könnten zu einem effizienteren Güterverkehr beitragen. In besonderem Maße hat jedoch die Wahl der Gutschriftenmethode einen kritischen Einfluss auf den PCF. Dies stellt aber nicht die errechnete Umweltentlastung in Frage, sondern fordert zu einer transparenten und nachvollziehbaren Kommunikation des Ergebnisses auf.

### 4.3 Recyclingprozess: Ersatzbrennstoff

Im Folgenden wird die PCF-Studie für die Aufbereitung von **Ersatzbrennstoff** dargestellt. Die formulierten Ziele und der festgelegte Untersuchungsrahmen, welche in Kapitel 4.1 definiert wurden, gelten hier für die Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung.

#### 4.3.1 Sachbilanz für den PCF

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des Product Carbon Footprint für Ersatzbrennstoff erfolgt auf ähnlicher Weise, wie bereits für Altholz in Kapitel 4.2 beschrieben wurde. Die hier verwendeten Daten stammen zum überwiegenden Teil direkt von ORS, sodass ein hoher Anteil an Primärdaten vorliegt. Weitere Daten, die nicht direkt vorlagen, wurden von den Primärdaten abgeleitet bzw. sind Informationen von der Datenbank *GEMIS Version 4.81*, sodass die Bilanz vollständig aufgestellt werden konnte. Die formulierten Annahmen sind dem Anhang 2 als Gesamtübersicht zu entnehmen. Die Ergebnisse werden stets in Bezug auf die funktionelle Einheit dieser PCF-Studie - **1 Tonne Ersatzbrennstoff** - dargestellt.

Bezogen auf die bereits beschriebene Systemgrenze für die Aufbereitung von Ersatzbrennstoff werden die jeweiligen Prozessmodule individuell bilanziert und im Folgenden genauer untersucht. Dabei ist eine gezielte Zuordnung der Material- und Energieflüsse auf das zu untersuchende Produktsystem anzuwenden.<sup>92</sup> Für diese PCF-Studie wird eine Allokation

<sup>90</sup> Vgl. Schnatterbeck, M. (2010): Wirtschaftliche Optimierung von Biomassekraftwerken. URL: [http://www.saegeindustrie.de/downloads/dynamisch/839/schnatterbeck\\_seeger.pdf](http://www.saegeindustrie.de/downloads/dynamisch/839/schnatterbeck_seeger.pdf), S. 18 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>91</sup> Vgl. Koch, Susanne (2012): Logistik. Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit. Berlin: Springer Vieweg. S. 307 ff.

<sup>92</sup> Vgl. FRoSTA AG (2009): Fallstudie Tagliatelle Wildlachs. URL: [http://www.pcf-projekt.de/files/1257258154/pcf\\_frosta\\_tagliatelle\\_update.pdf](http://www.pcf-projekt.de/files/1257258154/pcf_frosta_tagliatelle_update.pdf), S. 15 (letzter Zugriff am 05.06.2013)

nach Masse gewählt. Das Allokationsverfahren wird entsprechend bei der Aufbereitung von EBS in den Anlagen und in der Distribution angewandt.

#### 4.3.1.1 Aufbereitung

Die Herstellung von Ersatzbrennstoff erfolgt durch intensive Sortierung und mehrfache Zerkleinerung. Die Inputmenge kommt zu ca. 30% bereits vorsortiert in Wilmersdorf zur Weiterverarbeitung an. Hierbei erfolgt die Vorsortierung am Standort Berlin Köpenick in der Aufbereitungsanlage für Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall (= mechanische Abfallbehandlung). Die restlichen 70% sind Sortierreste verschiedener Herkunft (Baumischabfälle, Sperrmüll, Zigaretten, Bitumenpappe, Gewerbeabfälle usw.). Die Distribution wird wiederum gesondert dargestellt und in Kapitel 4.3.1.2 erläutert. Die Datenbasis für die nachfolgenden Berechnungen sind dem Anhang 4.1 zu entnehmen, da an dieser Stelle nur die Bilanzierung bzw. das Berechnungsschema der CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt wird.

##### (A) Hausmüllaufbereitung in Berlin Köpenick

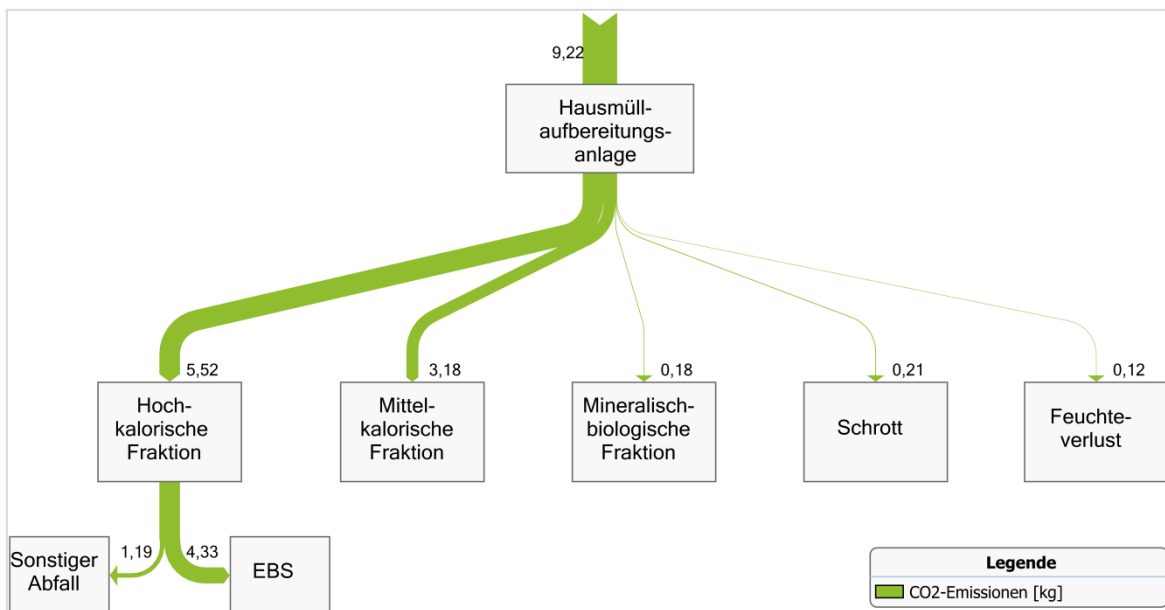
Durch die Hausmüllaufbereitung in Berlin Köpenick werden ca. 30% des Inputmaterials für die EBS-Anlage in Wilmersdorf produziert. Die mechanische Abfallbehandlung ist folgendermaßen aufgebaut: Nach Annahme, Sichtung und ggf. Aussortierung von Störstoffen wird der Abfall zerkleinert (Hacker). Ein Magnetabscheider trennt Metalle vom restlichen Abfall, sodass diese weiterverwertet werden können. Anschließend wird der zerkleinerte Abfall mittels Transportbändern in eine Siebtrommel gegeben. Dabei werden drei Fraktionen getrennt bzw. gesiebt: hochkalorische Fraktion, mittelkalorische Fraktion und die mineralisch-biologische Fraktion (Rotte). Lediglich ersteres wird zu EBS weiterverarbeitet. Die entstehenden Gerüche bzw. die Hallenluft wird durch eine Biofilteranlage gereinigt.

Die Input- und Outputmengen der Anlage sind direkt erhobene Daten. Die Energieverbräuche für die Aufbereitungsanlage und die Biofilteranlage wurden nicht spezifisch erfasst, sodass Annahmen diesbezüglich getroffen werden mussten.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich aus dem Verhältnis von Stromverbrauch (SV) und dem Emissionsfaktor (EF) zu Inputmenge Abfall in Tonnen.

	<b><math>\frac{\text{Stromverbrauch} * \text{Emissionsfaktor}}{\text{t Abfall}}</math></b>	<b><math>\left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{tEBS}} \right]</math></b>
Mit SV:	1.291 MWh	(Quelle: Schätzwert, ORS)
EF:	415 gCO <sub>2</sub> /kWh	(Quelle: E.On Edis)
Inputmenge Abfall:	58.137 t	(Quelle: ORS)

Insgesamt verursacht die Hausmüllaufbereitung Gesamtemissionen von 9,22 kgCO<sub>2</sub>/t Abfall. Bezogen auf den Anteil, der zur Weiterverarbeitung nach Wilmersdorf transportiert wird (hochkalorische Fraktion), wird angenommen, dass ca. 46% der entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen dem Ersatzbrennstoff zugewiesen werden können. Demnach ergibt sich bei Allokation nach Masse ein Ergebnis von **4,33 kgCO<sub>2</sub>/t EBS**, was in folgendem Stoffflussdiagramm (Abb. 4.9) noch einmal dargestellt wird:



**Abb. 4.9** Allokation nach Masse in der Hausmüllaufbereitung Berlin Köpenick für die PCF-Studie EBS  
Quelle: Eigene Darstellung

### (B) Ersatzbrennstoffaufbereitung in Wilmersdorf

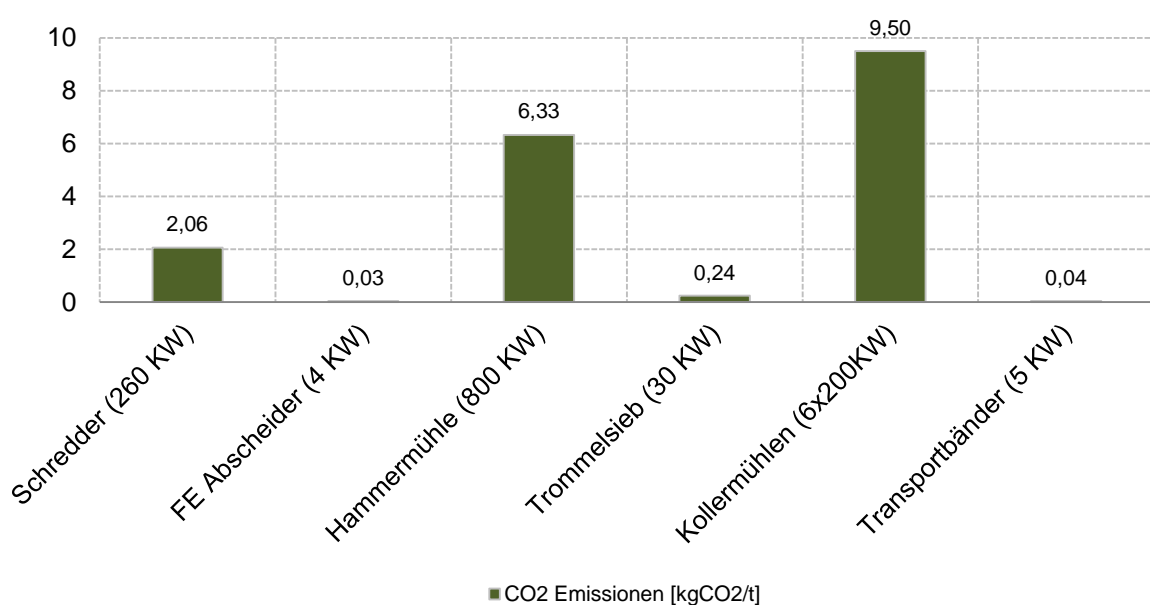
Der Verfahrensablauf für die Aufbereitung von hochkalorischem Abfall in der EBS-Anlage ist folgendermaßen aufgebaut. Zunächst wird der Abfall auf einer Sortierfläche vorsortiert, wobei Stör- und Wertstoffe (Metalle, Altholz usw.) abgetrennt werden. Die EBS-Fraktion wird dann mittels Transportbändern vollautomatisch durch eine dreistufige Zerkleinerung befördert. Hammermühlen zerkleinern den Abfall zunächst grob, sodass diese zum Trommelsieb weiterbefördert werden können. Durch die Siebung werden weitere Fraktionen abgetrennt. Im letzten Zerkleinerungsschritt wird das Material in den Kollermühlen wie bei einem Mühlstein zermahlen und anschließend durch ein 18mm Sieb gepresst. Wahlweise besteht auch die Möglichkeit den EBS daraufhin zu pelletieren.

Das Berechnungsschema zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist analog zur Hausmüllaufbereitungsanlage durchzuführen. Die für die Berechnung verwendeten Daten sind Primärdaten von ORS.

Mit SV:	4.510 MWh	(Quelle: ORS)
EF:	415 gCO <sub>2</sub> /kWh	(Quelle: E.ON Edis)
Inputmenge Abfall:	102.854 t	(Quelle: ORS)

Es ergibt sich ein Gesamtergebnis von 18,20 kgCO<sub>2</sub>/t Abfall. Auch hier wird wieder das Allokationsverfahren nach Masse angewendet, um einen verursachergerechten PCF zu ermitteln. Insgesamt wurden 102.854 Tonnen Abfall verwertet. Davon sind 78,4% zu Ersatzbrennstoff aufbereitet worden, sodass demnach die allozierte Menge an CO<sub>2</sub> bei **14,26 kgCO<sub>2</sub> je Tonne EBS** liegt. Die Zuordnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die jeweiligen Verfahrensschritte bzw. Anlagenteile erfolgt über eine prozentuale Aufteilung hinsichtlich der Gesamtnennleistung von 2.299 kW. Folgende Abb. 4.10 stellt das Ergebnis bezogen auf die funktionelle Einheit dar:

Ersatzbrennstoffaufbereitungsanlage in Wilmersdorf



**Abb. 4.10** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen der EBS-Anlage der PCF-Studie EBS  
Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.3.1.2 Distribution

In der Distribution erfolgt eine Aufteilung der Transportwege nach

- (A) LKW-Transport und
- (B) innerbetrieblichem Transport (Radlader, Bagger).

Die zur Berechnung verwendeten Daten sind zum größten Teil Primärdaten, sodass von einer hohen Datenqualität ausgegangen werden kann. Alle Annahmen für das Prozessmodul Distribution sind im Anhang 2 zu finden.



(A) LKW-Transport

Der LKW-Transport umfasst folgende Strecken:

- Sammelstelle I nach Anlage Berlin Köpenick
- Anlage Berlin Köpenick nach Anlage Wilmersdorf
- Sammelstelle II nach Anlage Wilmersdorf
- Anlage Wilmersdorf nach Rüdersdorf
- Anlage Wilmersdorf nach Eisenhüttenstadt
- Anlage Wilmersdorf nach Chelm, Polen

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen für diese Transportstrecken zu bestimmen erfolgt die Berechnung analog zu Kapitel 4.2.1.3 Distribution (Altholz). Parallel wird dies am Beispiel „Transport von Anlage Berlin Köpenick nach Anlage Wilmersdorf“ erläutert:

1. Die Entfernung zwischen den jeweiligen Standorten wird ermittelt (z.B. mithilfe von GoogleMaps<sup>93</sup>).

*Beispiel:* Zwischen der Anlage Berlin Köpenick und Wilmersdorf liegen 68 Kilometer.

2. Zur weiteren Berechnung muss der Transportfaktor (TF) ermittelt werden. Dieser gibt den verbrauchsspezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß des LKWs pro gefahrenen Kilometer wieder. Folgende Formel wird dazu verwendet:

$$\frac{\text{Dieselverbrauch pro 100 km}}{100} * \text{Emissionsfaktor} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} \right]$$

*Beispiel:* Dieselverbrauch: 30 l/100km (Quelle: ORS)

EF: 2,63 kgCO<sub>2</sub>/l (Quelle: LfU)

Der Transportfaktor (TF) liegt demnach bei 0,79 kgCO<sub>2</sub>/km.

3. Mit dem Transportfaktor kann daraufhin die CO<sub>2</sub>-Menge je Tonne EBS ermittelt werden:

$$\frac{\text{Transportfaktor} * \text{Entfernung}}{\text{Beladung}} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t EBS}} \right]$$

*Beispiel:* TF: 0,79 kgCO<sub>2</sub>/km (Quelle: eigene Berechnung)

Entfernung: 68 km (Quelle: Google Maps)

Beladung: 22 t (Quelle: ORS)

Im hier angezeigten Beispiel errechnet sich eine CO<sub>2</sub>-Menge von 2,44 kgCO<sub>2</sub>/t Abfall für die Strecke „Anlage Wilmersdorf nach Rüdersdorf“. Die Allokation nach Masse

<sup>93</sup> Siehe <https://maps.google.de/>

findet auch in der Distribution Berücksichtigung, sodass die Menge an CO<sub>2</sub> auf die funktionelle Einheit bezogen wird. Diesbezüglich wird das eben errechnete Zwischenergebnis mit dem prozentualen EBS-Anteil multipliziert (2,44 kgCO<sub>2</sub>/t Abfall \* 78,4%). Dabei ergibt sich ein alloziertes Ergebnis von **1,91 kgCO<sub>2</sub> je Tonne EBS**.

Die folgende Tabelle 4.7 gibt einen Überblick der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in der LKW-Distribution insgesamt entstehen, wobei die mengenmäßige Allokation berücksichtigt wird:

**Tabelle 4.7** Zusammenfassung der CO<sub>2</sub>-Emissionen Distribution (LKW-Transporte) der PCF-Studie EBS

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100km]	Beladung [t]	Transportfaktor [kg CO <sub>2</sub> /100km]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /km]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t Abfall]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t EBS]
<b>Außerbetrieblicher Transport</b>							
Sammelstelle >> Anlage Köpenick	19	22,5	20	0,59	11,24	0,56	<b>0,26</b> <sup>*2</sup>
Anlage Köpenick >> Anlage Wilmersdorf	68	30	22	0,79	53,65	2,44	<b>1,91</b>
Sammelstelle >> Anlage Wilmersdorf <sup>*1</sup>	150	30	22	0,79	157,80	7,17	<b>4,22</b>
Anlage Wilmersdorf >> Rüdersdorf	60	30	22	0,79	47,34		<b>2,15</b>
Anlage Wilmersdorf >> Eisenhüttenstadt	53	30	22	0,79	41,82		<b>1,90</b>
Anlage Wilmersdorf >> Chelm (Polen)	745	30	22	0,79	587,81		<b>26,72</b>
<b>Summe</b>							<b>37,16</b>

<sup>\*1</sup> Annahme: Ø Strecke 150km; <sup>\*2</sup> Annahme: ca. 46% des Abfalls in Berlin Köpenick sind EBS

#### (B) Innerbetrieblicher Transport

Der innerbetriebliche Transport umfasst die Be- und Entladung der Anlagen. Die Berechnung erfolgt auf Basis des verbrauchten Dieselkraftstoffs im Verhältnis zur durchgesetzten Abfallmenge:

$$\frac{\text{Dieselverbrauch}}{\text{Durchsatz}} * \text{Emissionsfaktor} \quad \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t EBS}} \right]$$

Der Emissionsfaktor liegt bei 2,63 kgCO<sub>2</sub>/l Diesel.<sup>94</sup> Folgende Tabelle 4.8 fasst die Daten und die Ergebnisse für den innerbetrieblichen Transport zusammen:

**Tabelle 4.8** Zusammenfassung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des innerbetrieblichen Transports der PCF-Studie EBS

	Diesel- verbrauch [l]	Durchsatz [t]	Diesel- faktor [l/t]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /t Abfall]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /t EBS]
<b>Innerbetrieblicher Transport</b>					
innerbetrieblicher Transport Köpenick	30.000	58.137	0,52	1,36	<b>0,62</b> <sup>*1</sup>
innerbetrieblicher Transport Wilmsdorf	99.000	102.854	0,96	2,53	<b>1,98</b>
<b>Summe</b>					<b>2,61</b>

<sup>\*1</sup> Annahme: ca. 46% des Abfalls in Berlin Köpenick sind EBS

Es ergibt sich durch den innerbetrieblichen Transport ein Ergebnis von **2,61 kgCO<sub>2</sub> je Tonne EBS** für die Gesamtbilanz der PCF-Studie.

#### 4.3.1.3 Gutschrift

Ersatzbrennstoffe werden u.a. zur Wärmeerzeugung in Zementwerken eingesetzt und schonen dabei natürliche Ressourcen. Primärbrennstoffe wie Steinkohle oder Braunkohle werden dadurch substituiert. So konnten z.B. im Zementwerk Rüdersdorf (ein Kunde der ORS) 73,8% der benötigten Wärme für die Zementklinkerproduktion durch EBS abgedeckt werden.<sup>95</sup> Die Gutschrift erfolgt für diese PCF-Studie auf Basis von Steinkohle. Die bereits berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen für EBS stellen das Ergebnis der Vorkette dar (Aufbereitung in den Anlagen und die Distribution). Zur Darstellung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beim direkten Verbrennen von EBS im Zementwerk, ist eine gesonderte Berechnung von Nöten, da sich der Emissionsfaktor durch die jeweilige Zusammensetzung des EBS ergibt und ein verallgemeinerter Wert nicht die Realität widerspiegelt. Zu diesem Zweck wurde eine ausführliche Berechnung durchgeführt. Diese ist dem Anhang 4.5 zu entnehmen. Die für die Gutschrift benötigten Informationen über Steinkohle stammen von der Datenbasis *GEMIS Version 4.81*. In der folgenden Tabelle 4.9 sind die jeweiligen Daten für Ersatzbrennstoff und Steinkohle dargestellt:

<sup>94</sup> Siehe LfU (2009), S. 40 (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

<sup>95</sup> CEMEX (2013), S. 34 (letzter Zugriff am: 21.05.2013)

**Tabelle 4.9** Gutschriftenvergabe der PCF-Studie EBS

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vorkette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]
Ersatzbrennstoff	173,63	15,01	188,63
Steinkohle	338,40	12,65	351,05
<b>Summe</b>	<b>-164,77</b>	<b>2,36</b>	<b>-162,42</b>

Das Ergebnis von -162,42 gCO<sub>2</sub>/kWh ergibt sich aus der Subtraktion von EBS mit Steinkohle. Demnach gibt der errechnete CO<sub>2</sub>-Wert die eingesparte Menge an Kohlendioxid je erzeugter Kilowattstunde durch EBS wieder.

#### 4.3.1.4 Endergebnis CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Schließlich soll der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bezogen auf die funktionelle Einheit dargestellt werden. Um eine Umrechnung von Kilowattstunde auf Megajoule zu erhalten, wird das in Kapitel 4.3.1.3 errechnete Zwischenergebnis von -162,42 gCO<sub>2</sub>/kWh durch den Faktor 3,6 geteilt. Anschließend wird das Ergebnis mit dem Heizwert des EBS multipliziert (14 MJ/kg), sodass sich ein CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von **631,62 Kilogramm eingespartem CO<sub>2</sub> je Tonne Ersatzbrennstoff** ergibt. Im Jahr 2012 konnten durch die Aufbereitung von 102.854 Tonnen hochkalorischem Abfall zu Ersatzbrennstoff rund 51.000 Tonnen Kohlendioxid eingespart werden.

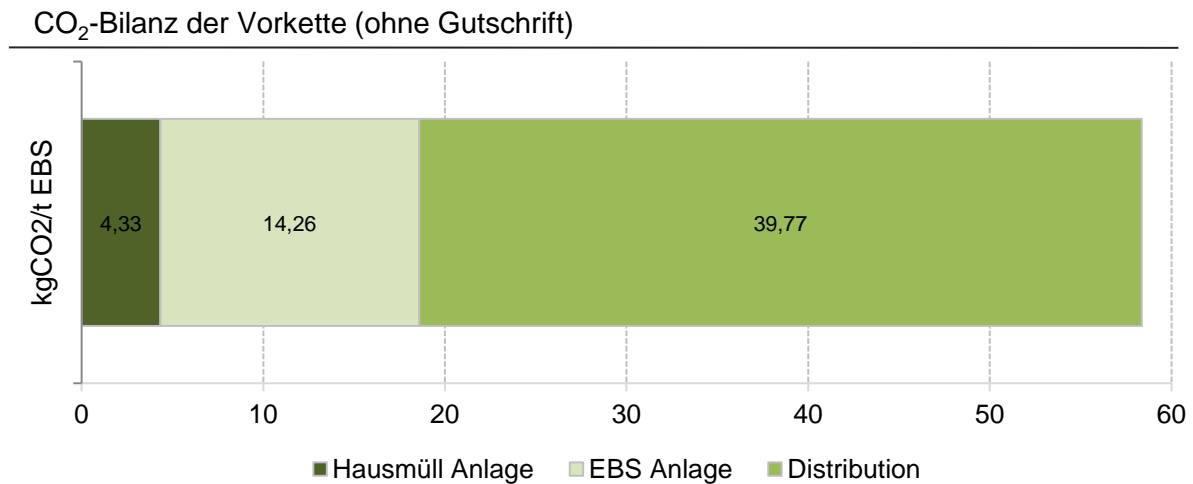
#### 4.3.2 Wirkungsabschätzung

Analog zur Wirkungsabschätzung der PCF-Studie für Altholz (siehe Kapitel 4.2.2), gelten an dieser Stelle die gleichen Voraussetzungen: nur die Wirkungskategorie „Klimawandel“ sowie das Treibhausgas CO<sub>2</sub> werden hier berücksichtigt. Aufgrund dessen, dass CO<sub>2</sub> ein Treibhauspotenzial mit dem Faktor 1 hat, bleibt das Endergebnis ohne weitere Veränderungen erhalten. Die Auswirkungen auf den Klimawandel werden mit einer Ersparnis von 631,62 kgCO<sub>2</sub>/t EBS positiv gewertet.

#### 4.3.3 Auswertung

Bezugnehmend auf die gesetzte Zielstellung in der ersten Phase wurde durch die Berechnung des Product Carbon Footprint gezeigt, dass durch Ersatzbrennstoffe bzw. das Recycling von Abfällen zu EBS die Umwelt entlastet wird. Insgesamt werden pro Tonne Ersatzbrennstoff rund 632 kgCO<sub>2</sub> eingespart, womit auch das Ziel der Berechnung des PCF erreicht ist. Die Auswertung soll noch einmal zeigen, an welchen Stellen des Produktsystems der CO<sub>2</sub>-Ausstoß ohne Darstellung der Gutschrift besonders hoch ist und Informationen über die Vollständigkeit, Konsistenz und Qualität der Daten liefern. Mögliche Szenarien werden in einer Sensitivitätsanalyse genauer untersucht, um unsichere Information bzw. Annahmen, die getroffen wurden, auf ihre Signifikanz hin zu beurteilen. Eine abschließende Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen runden die Auswertung ab.

Die folgende Abb. 4.11 gibt einen Überblick der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Vorkette von EBS ohne die Gutschrift:

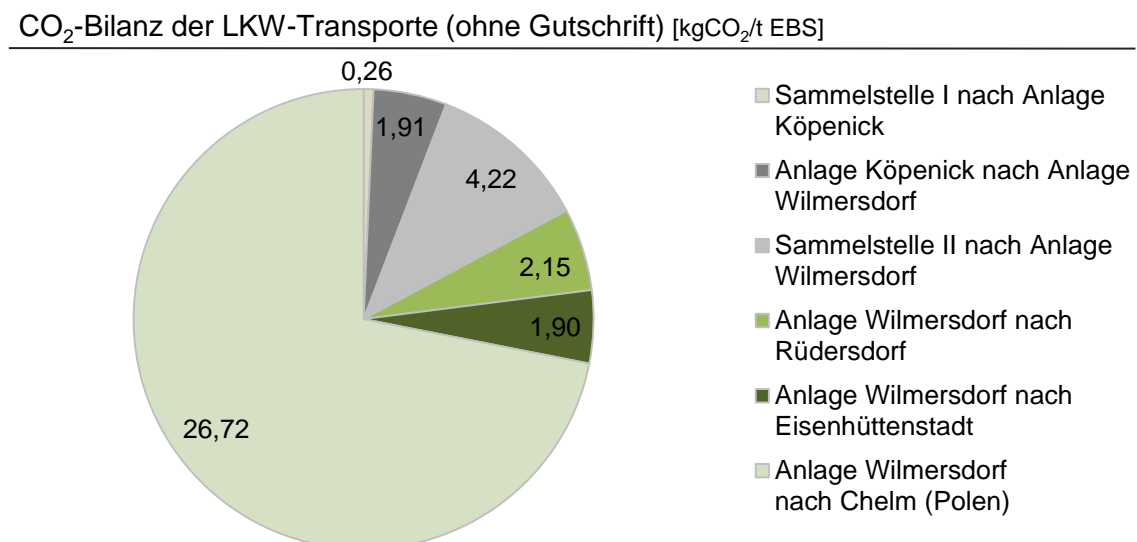


**Abb. 4.11** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Vorkette der PCF-Studie EBS (ohne Gutschrift)

Quelle: Eigene Darstellung

An der Abb. 4.11 lässt sich erkennen, dass die *Distribution* mit rund 68% den höchsten Anteil an der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Vorkette von EBS ausmacht. Die *EBS-Anlage* emittiert insgesamt 14,26 kgCO<sub>2</sub>/t EBS. Weniger signifikant ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der *Hausmüllaufbereitungsanlage* in Berlin Köpenick. Insgesamt entstehen durch die Vorkette 58,36 kgCO<sub>2</sub>/t EBS.

Ein genauerer Blick auf das Prozessmodul *Distribution* soll eine bessere Auswertung dessen ermöglichen (siehe Abb. 4.12):



**Abb. 4.12** Übersicht der CO<sub>2</sub>-Bilanz der LKW-Transporte der PCF-Studie EBS (ohne Gutschrift)

Quelle: Eigene Darstellung

Das Kreisdiagramm zeigt deutlich, dass die Fahrt von der Anlage Wilmersdorf nach Chelm (Polen) den höchsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursacht (26,72 kgCO<sub>2</sub>/t EBS). Der Grund dafür liegt an der weiten Entfernung zwischen den Standorten. Die anderen Routen bzw. Transporte sind im Ergebnis tendenziell gleichwertig und haben keinen großen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz.

#### 4.3.3.1 Vollständigkeit, Konsistenz und Datenqualität

Die in dieser PCF-Studie genutzten Daten zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks weisen eine hohe Qualität auf, da diese zum größten Teil primär erhoben wurden. Insbesondere alle Input- und Outputdaten vom Standort Wilmersdorf sind standortspezifisch, weshalb hier keine Annahmen getroffen werden mussten. Für andere Bereiche getroffene Annahmen bzw. Schätzwerte wurden z.T. auf Basis von Primärdaten definiert. Dies gilt speziell für den Strom- und Dieselmotorkraftstoffverbrauch am Standort Berlin Köpenick sowie für den Dieselmotorkraftstoffverbrauch und die Zuladung der LKW-Transporte. Wo dies nicht möglich war, wurde auf Informationen der Datenbank *GEMIS Version 4.81* bzw. Studien zu diesem Thema zurückgegriffen. Um die getroffenen Annahmen auf ihre Aussagekraft bzw. Unsicherheiten hin zu untersuchen, werden im Folgenden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Durch den iterativen Charakter der PCF-Studie, ist die Konsistenz der Daten und das daraus resultierende Ergebnis gegeben.

#### 4.3.3.2 Sensitivitätsanalyse

In diesem Abschnitt wird eine Sensitivitätsanalyse für die Vorkette von EBS (Hausmüllaufbereitung in Berlin Köpenick und Distribution) und die Wahl der Gutschrift durchgeführt. Das Verfahren ist in gleicher Weise wie für die PCF-Studie für Altholz anzuwenden. Aus diesem Grund wird hier auf das Kapitel 4.2.3.2 verwiesen. Nachfolgend werden ausschließlich die Ergebnisse der Analyse dargestellt.

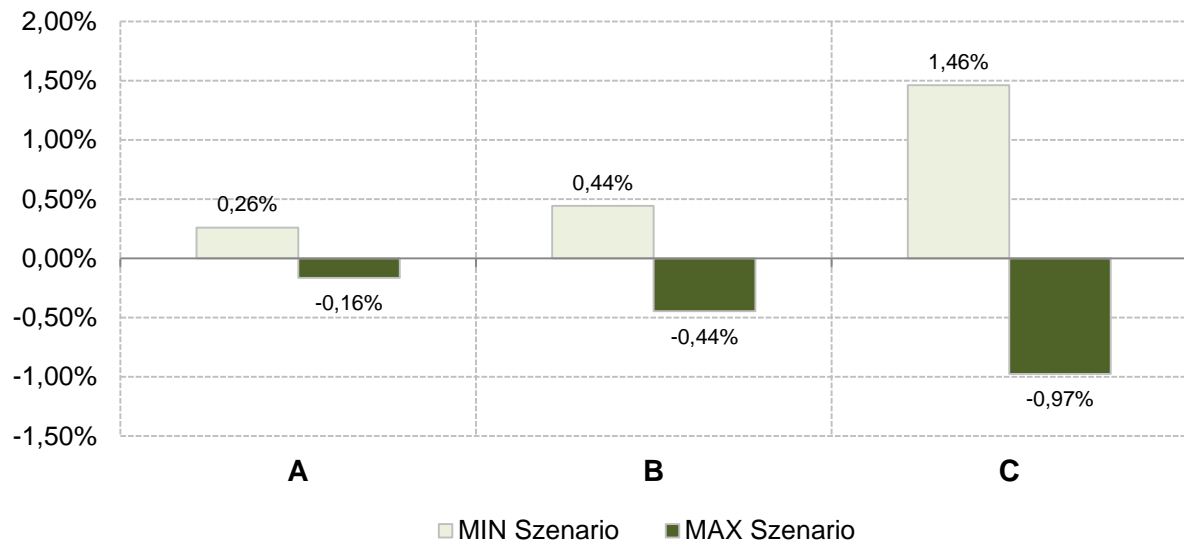
Die folgende Tabelle 4.10 gibt einen Überblick der untersuchten Szenarien:

**Tabelle 4.10** Szenarien der Sensitivitätsanalyse für die Vorkette von EBS

An-nahme	Prozessmodul	Beschreibung	MIN Szenario	Basis-annahme	MAX Szenario	Einheit
<b>A</b>	Hausmüllan-lage Köpenick	Stromverbrauch insge-samt (Biofilter- und Hausmüllaufberei-tungsanlage)	800	1.291	1.600	MWh
			633,27	631,62	630,58	kgCO <sub>2</sub> /t
<b>B</b>	Distribution	Sammelstelle II Ent-fernung	50	150	250	km
			634,43	631,62	628,81	kgCO <sub>2</sub> /t
<b>C</b>	Distribution	Dieselmotorkraftstoffverbrauch LKW pro 100km	22,5	30	35	l/100km
			640,85	631,62	625,47	kgCO <sub>2</sub> /t

Die Tabelle enthält neben den Szenarien bereits die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Um die Auswirkungen der jeweiligen Szenarien bewerten zu können, werden diese in einer Grafik (siehe Abb. 4.13) dargestellt:

#### Auswertung der Sensitivitätsanalyse



**Abb. 4.13** Auswertung der Sensitivitätsanalyse der PCF-Studie EBS

Quelle: Eigene Darstellung

Die **Annahme A** (Hausmüllaufbereitungsanlage in Berlin Köpenick) zeigt sowohl im MIN Szenario, als auch im MAX Szenario keine signifikanten Einflüsse auf das Endergebnis, so dass eine exakte Ermittlung des Stromverbrauchs der Biofilter- und der Hausmüllaufbereitungsanlage nicht von Bedeutung für den PCF ist.

Mit der **Annahme B** soll festgestellt werden, ob die Entfernung der Sammelstelle signifikant für den PCF ist. Es hat sich gezeigt, dass es kaum Unterschiede macht, ob die Sammelstelle 50 Kilometer oder 250 Kilometer entfernt ist, da die Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck nur geringfügig sind.

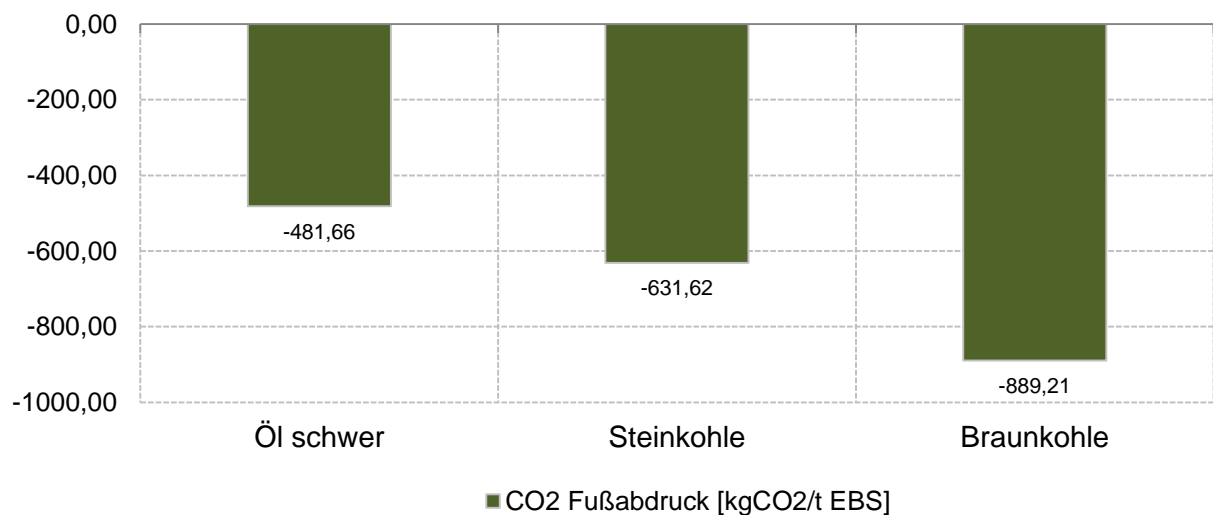
Mit der dritten **Annahme C**, die ebenfalls für die Distribution getroffen wurde, ergibt sich im direkten Vergleich eine hohe Signifikanz des Dieserverbrauchs. Ein geringerer Verbrauch auf 100 Kilometer würde eine Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von 1,46% bewirken, sodass die Gutschrift auf 640,85 kgCO<sub>2</sub> je Tonne EBS ansteigen würde.

Mit dieser Sensitivitätsanalyse wurde der Bereich der Vorkette untersucht. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Wahl der Gutschriftenmethode ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Tonne Ersatzbrennstoff hat. Aus diesem Grund soll ermittelt werden inwieweit das Endergebnis sich verändert. Untersucht wird die Gutschriftenvergabe auf der Grundlage der Basisannahme (Steinkohle) für Braunkohle und schweres Öl. Die dafür

benötigten Informationen zum Emissionsfaktor des jeweiligen Brennstoffs stammen von der Datenbank *GEMIS Version 4.81* und sind dem Anhang 4.8 zu entnehmen.

In der Konsequenz zeigt sich, dass die Wahl des fossilen Brennstoffs, welches dem Produktsystem Ersatzbrennstoff gutgeschrieben wird, einen bedeutenden Einfluss auf die Höhe des Product Carbon Footprint hat (siehe Abb. 4.14). Die Ersparnis je Tonne Ersatzbrennstoff erhöht sich prozentual um weitere 40% bei der Wahl von Braunkohle (da höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen) und sinkt prozentual um rund 24% wenn die Gutschrift für schweres Öl erfolgt (da geringerer CO<sub>2</sub>-Ausstoß). Dies hat zur Folge, dass die Wahl des Primärbrennstoffs einen relativ hohen Unsicherheitsfaktor aufweist und das Ergebnis deshalb transparent kommuniziert werden sollte, sodass die Wahl der Gutschrift nachvollziehbar ist.

#### Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe



**Abb. 4.14** Auswertung der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe der PCF-Studie EBS  
Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.3.3.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen zeigen, dass die getroffenen Annahmen das Ergebnis nicht kritisch in Frage stellen, sondern an einigen Stellen im Produktsystem sogar noch weitere Einsparpotenziale vorliegen. Insgesamt ist das Ergebnis somit als sehr positiv zu werten, da durch den Einsatz von Ersatzbrennstoff ein kontinuierlicher Beitrag zum Schutz der Umwelt geleistet wird. Ein Vergleich des Ergebnisses mit anderen Unternehmen derselben Branche ist an dieser Stelle nur schwer möglich, da die Herstellung von Ersatzbrennstoff sehr unterschiedlich sein kann, da es keine einheitliche gesetzliche Regelung bezüglich dessen gibt, wie denn eigentlich Ersatzbrennstoff zu definieren ist. Um jedoch eine Vorstellung davon zu bekommen in welcher Relation das Ergebnis steht, soll dies am Beispiel der Kohlendioxid-Bindung von einem Hektar eines deutschen Waldes dargestellt werden. Dem Waldbericht 2009 zu Folge wird die jährliche Kohlendioxidaufnahme auf rund 80 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> geschätzt. Bei einer Waldfläche von ca. 11,1 Millionen Hektar ergibt





## 5 Kommunikation des Product Carbon Footprint

Ein wesentlicher Bestandteil der DIN ISO 14067 ist die Kommunikation des Product Carbon Footprint. Wie bereits in Kapitel 2.4.3.5 PCF-Kommunikation dargestellt, bieten sich vier Optionen der Kommunikation auf öffentlicher und nicht öffentlicher (interner) Ebene:

- öffentlicher PCF-Bericht zur Kommunikation,
- PCF-Leistungsverfolgebungsbericht,
- PCF-Kennzeichnung
- und die PCF-Deklaration.<sup>97</sup>

Im Folgenden soll auf die Möglichkeiten der Einbettung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in die Umwelt-Strategie der O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG genauer eingegangen werden. Das Unternehmen ist bereits seit 1996 erfolgreich nach EMAS III validiert sowie zusätzlich nach der DIN ISO 14001 zertifiziert. Vor diesem Hintergrund sollen die Ergebnisse vor allem auch öffentlich kommuniziert werden, da die O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG ihre ökologischen Tätigkeiten noch transparenter darstellen möchte. Für die Erarbeitung der Kommunikationsmaßnahmen wird eine Separierung der internen und externen Kommunikation vorgenommen, da der Anspruch der Zielgruppe und die Maßnahmen zum Teil etwas voneinander abweichen.

### 5.1 Interne Kommunikation

Die Kommunikation der Bilanzierungsergebnisse auf interner (nicht öffentlicher) Ebene ist vorwiegend an zwei Adressatengruppen gerichtet: an Projektbeteiligte und an den Geschäftsführer bzw. an Führungskräfte.<sup>98</sup> Jedoch sind auch alle Mitarbeiter angesprochen, sodass eine Sensibilisierung für das Thema im gesamten Unternehmen erfolgt.

Projektbeteiligte sollten intensiv über die Verfahrensweise zur Ermittlung des PCF informiert werden. Hierfür bietet sich ein ausführlicher Bericht zur PCF-Studie an. Die Inhalte des Ergebnisberichts sind durch die ISO 14067 definiert und im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit (Kapitel 4) abgedeckt.<sup>99</sup> Eine anschließende Diskussion der Ergebnisse und der Verfahrensweise oder ein Treffen zum Klären von offenen Punkten mit den Projektteilnehmern trägt zum erfolgreichen Abschluss des Projektes bei.

Des Weiteren sollte eine kurze Präsentation der Ergebnisse gegenüber der Geschäftsführung und Führungskräften, wie z.B. den Betriebsleitern, erfolgen. Dabei ist es wichtig, vor

---

<sup>97</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1

<sup>98</sup> Vgl. Dierks, Stefan: Product Carbon Footprint: Einführung und Umsetzung am Beispiel der Tchibo GmbH, in: Gleich, Ronald; Bartels, Peter; Breisig, Volker (Hrsg.): Nachhaltigkeitscontrolling. Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung. Freiburg; München, 2012, S. 197

<sup>99</sup> Siehe DIN ISO 14067 (2012), 7

allem auf den Nutzen des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks für das Unternehmen einzugehen und wesentliche Details zur Veröffentlichung der Ergebnisse zu besprechen, d.h. in welchem Rahmen eine Veröffentlichung erfolgen kann. Hierbei sollten insbesondere auch die Möglichkeiten, der in den PCF-Studien ermittelten Handlungsmaßnahmen, diskutiert und auf Ihre Realisierbarkeit hin untersucht werden. Angenommen es wird entschieden das bestimmte Maßnahmen ergriffen werden, sollten diese möglichst in das Umweltprogramm aufgenommen werden.

## 5.2 Öffentliche Kommunikation

Die öffentliche Kommunikation des Product Carbon Footprint gegenüber relevanten Stakeholdern soll vordringlich den Nutzen erbringen, dass die Entsorger und Anwender durch ihre Entscheidung, den Abfall bei der Firma ORS zu entsorgen und recyceln zu lassen, einen effektiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Wichtige Grundanforderungen der Kommunikation wurden vom PCF-Pilotprojekt Deutschland erarbeitet und sind Glaubwürdigkeit, Verständlichkeit, Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit.<sup>100</sup> Da eine glaubwürdige Kommunikation unerlässlich ist, soll durch verschiedenen Maßnahmen erreicht werden, dass das Bilanzierungsergebnis transparent und nachvollziehbar dargestellt wird, sodass keine Verzerrungen der Ergebnisse zu erwarten sind. Die Zielgruppe bzw. die relevanten Stakeholder sind, wie bereits mehrfach erwähnt, die Entsorger des Altholzes bzw. des Abfalls auf der einen Seite und die Anwender der Holzhackschnitzel (Betreiber der Biomassekraftwerke) bzw. des Ersatzbrennstoffs (z.B. die Zementindustrie) auf der anderen Seite. Zudem sind auch weitere interessierte Personengruppen angesprochen, die sich mit der Thematik genauer beschäftigen.

Im Folgenden wird die Machbarkeit der vier genannten Optionen zur Kommunikation nach der DIN ISO 14067 überprüft und bei Eignung ein konkreter Vorschlag zur Umsetzung erstellt. Dies erfolgt parallel für beide Produkte gleichzeitig. Der theoretische Hintergrund hierfür wurde bereits im Kapitel 2.5.3.5 PCF-Kommunikationen beschrieben. Eine optionale Möglichkeit für alle hier genannten Maßnahmen ist ein PCF-Kommunikationsprogramm. Die Anforderungen an ein PCF-Kommunikationsprogramm sind durch die DIN ISO 14067 definiert. Für die O.-R. Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG wird jedoch kein PCF-Kommunikationsprogramm erstellt, da zum einen die personellen Ressourcen (Bestimmung eines PCF-Programmtreibers) nicht zur Verfügung stehen und zum anderen die Möglichkeit genutzt werden soll, die Bilanzierungsergebnisse in die bestehende Umweltstrategie zu einzubinden.

---

<sup>100</sup> Vgl. BMU (2012), S. 40 ff. (letzter Zugriff am: 05.06.2013)

### Öffentlicher PCF-Bericht zur Kommunikation

Ein öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation bietet den Vorteil, interessierten Stakeholdern die Ergebnisse der PCF-Studie in anschaulicher Form zu präsentieren. Durch die Norm ist der Inhalt dieses Berichts genau definiert.<sup>101</sup> Die Art und Weise der Darstellung ist jedoch nicht vorgeschrieben, weshalb für ORS ein prägnantes Datenblatt erstellt wurde. Der Aufbau der Datenblätter folgt im Wesentlichen den Vorgaben eines öffentlichen PCF Berichts zur öffentlichen Kommunikation. Folgende Angaben, die durch die DIN ISO 14067 vorgeschrieben sind, sind diesen zu entnehmen:

- Kontaktinformationen
- Name und Beschreibung des Produkts
- Funktionelle Einheit des Produktsystems
- Art des Product Carbon Footprint
- Einschränkungen hinsichtlich der Wirkungskategorie, da nur der Klimawandel betrachtet wird
- Systemgrenzen
- Zeitgrenze für die Daten,
- Ergebnisse der Sachbilanz<sup>102</sup>

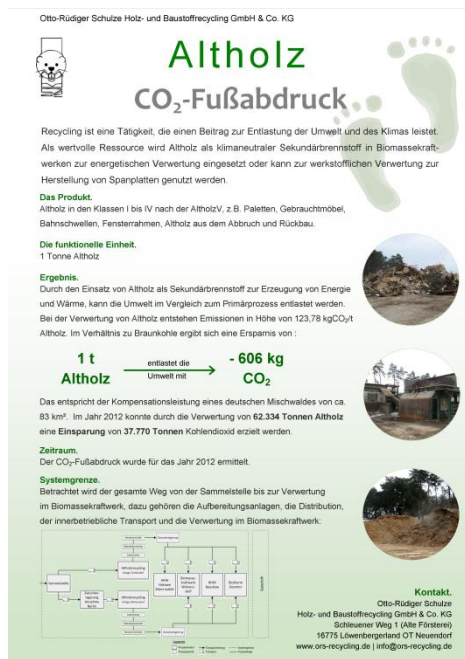
Es wurden lediglich die Beschreibung der Primär- und Sekundärdaten sowie die Ergebnisse der Auswertung (z.B. die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse) nicht weiter berücksichtigt, diese sind jedoch im Bericht zur PCF-Studie eindeutig beschrieben und können folglich dort nachgelesen werden. Die Datenblätter bieten für die Stakeholder eine ideale Möglichkeit eine klare und übersichtliche Darstellung der Ergebnisse zu erhalten und veranlassen den Leser dazu, sich mehr über das Thema zu informieren und ggf. weitere Informationen einzufordern. Das Datenblatt bzw. der PCF-Berichts zur öffentlichen Kommunikation muss auf dem Bericht zur PCF-Studie beruhen, der zum einen die dort gemachten Angaben verifizieren soll und zum anderen die methodologische Vorgehensweise genau beschreibt, sodass die genannten Anforderungen an die öffentliche Kommunikation stets erfüllt werden. Die Veröffentlichung der Datenblätter kann auf der eigenen Internetseite, durch Aushänge im Unternehmen oder durch Unternehmens-Flyer erfolgen.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Datenblatt für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck jeweils für Altholz (Abb. 5.1) und Ersatzbrennstoff (Abb. 5.2). Diese sind jedoch noch einmal in Originalgröße und -qualität im Anhang 5 für Altholz und im Anhang 6 für Ersatzbrennstoff zu finden.

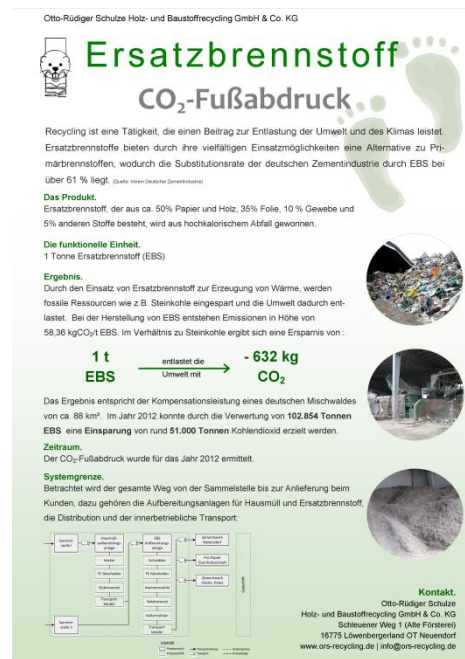
---

<sup>101</sup> Siehe DIN ISO 14067 (2012), 9.1.2

<sup>102</sup> Vgl. DIN ISO 14067 (2012), 9.1.2



**Abb. 5.1** Datenblatt Altholz  
Quelle: Eigene Darstellung



**Abb. 5.2** Datenblatt EBS  
Quelle: Eigene Darstellung

### PCF-Leistungsverfolgungsbericht

Die Anwendbarkeit dieser Option bei der öffentlichen Kommunikation ist zurzeit nicht gegeben, da dies die erste Ermittlung des Product Carbon Footprint auf Grundlage der DIN ISO 14067 im Unternehmen ist. Dennoch ist es mit Blick auf den kontinuierlichen Verbesserungsprozess, der durch die Umweltmanagementsysteme gegeben ist, eine gute Möglichkeit die eigene Leistung in Bezug auf den Klimaschutz in den Folgejahren zu messen. Da der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck repräsentativ für das Jahr 2012 ermittelt wurde, können die Ergebnisse als Basisjahr geltend gemacht werden. Die detaillierte Analyse der Prozesse innerhalb der Systemgrenze ermöglicht die Identifikation von diversen Handlungsmöglichkeiten. Nach Prüfung der Umsetzbarkeit der herausgearbeiteten Empfehlungen kann bei positiver Aussage die Umsetzung von verschiedenen Maßnahmen erfolgen. Die dadurch resultierende Verbesserung der Leistung kann in den kommenden Jahren mit dem Basisjahr verglichen und durch grafische Darstellungen erweitert werden. Eine Verifizierung des Leistungsverfolgungsberichts muss auch hier gegeben sein und erfolgt ebenfalls durch den Bericht zur PCF-Studie.

Die genaue Ausgestaltung des PCF Leistungsverfolgungsberichts wird an dieser Stelle jedoch nicht weiter ausgeführt, da die Voraussetzungen hierfür noch nicht erfüllt sind.

### PCF-Kennzeichnung

Da es sich bei der PCF-Studie nicht um handelsübliche Gebrauchsgüter wie z.B. Lebensmittel oder Elektronikgeräte handelt, sondern das Recycling bzw. die Verwertung von Altholz und Ersatzbrennstoff bilanziert wird, ist die Option der PCF-Kennzeichnung tendenziell nicht gegeben. Eine weitere Voraussetzung für die PCF-Kennzeichnung ist die Erstellung eines PCF-Kommunikationsprogramms. Da diese Kommunikationsoption als nicht geeignet für die bilanzierten Produkte erscheint, wird eine genaue Analyse der Möglichkeiten der PCF-Kennzeichnung nicht durchgeführt.

### PCF-Deklaration

Analog zur PCF-Kennzeichnung wird auch eine PCF-Deklaration nicht in Betracht gezogen für die Produkte. Die Gründe dafür sind ähnlich zu denen der PCF-Kennzeichnung. Die Hauptvoraussetzung hierfür ist jedoch die Formulierung von Produktkategorieregeln, auf denen die PCF-Deklaration basieren muss. Da innerhalb der PCF-Studie keine Produktkategorieregeln formuliert wurden (nicht obligatorisch), ist die Option demnach nicht wählbar.

Neben den vier Optionen haben Unternehmen auch die Möglichkeit weitere Maßnahmen zu ergreifen. Die jährlich erscheinende Umwelterklärung der ORS ist Teil der Umweltstrategie und bietet eine weitere gute und etablierte Plattform für die Kommunikation der Bilanzierungsergebnisse. Die Darstellung in der Umwelterklärung sollte auf maximal einer Seite pro Produkt erfolgen. Hierfür bietet es sich an, ein neues Kapitel zu öffnen. Inhaltlich sollte vor allem auf das Produkt, die Systemgrenze, die Vorgehensweise, das Bilanzergebnis und die Auswertung dessen eingegangen werden. Da die Umwelterklärung auf der Internetseite zur Information interessierter Kunden veröffentlicht wird, kann diese Maßnahme als öffentlichkeitswirksam eingestuft werden.

## 6 Fazit

Zu Beginn dieser Bachelorarbeit wurde ein Zitat von Benjamin Disraeli angebracht, welches besagt, dass nicht die Umwelt den Menschen formt, sondern der Mensch seine Umwelt. Bezugnehmend darauf hat der Mensch seine Umwelt bereits derart verändert, dass die Folgen für das Klima erheblich sind. Mit einem Product Carbon Footprint ist es möglich, die Umweltbelastung eines Produktes oder einer Dienstleistung in Bezug auf den Klimawandel quantifizierbar zu machen und entsprechende Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Das vorrangige Ziel dieser Bachelorarbeit bestand darin, die CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Recycling von Altholz und die Herstellung von Ersatzbrennstoff auf Basis der DIN ISO 14067 zu erfassen und ein entsprechendes Berechnungsschema für die ORS zu entwickeln. Hierfür wurden zunächst die theoretischen Grundlagen zum Thema dargestellt und die allgemeinen Anforderungen der DIN ISO 14067 konkret aufgeführt. Auf dieser Basis konnte dann die Aufstellung der CO<sub>2</sub>-Bilanz folgen. Im Ergebnis zeigte sich, dass durch die Wiederverwertung von Altholz und Ersatzbrennstoff das Klima entlastet wird. Dies bedeutet, dass durch den Wiedereinsatz der Abfälle mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden, als sie emittieren. Absolut ergibt sich hierbei eine Einsparung von 600 Kilogramm CO<sub>2</sub> je Tonne Altholz. Durch Einsatz von Ersatzbrennstoff wird die Umwelt je Tonne EBS mit rund 632 Kilogramm CO<sub>2</sub> entlastet. Was die Berechnungsmethode betrifft, so konnte anhand der PCF-Studie gezeigt werden, dass das Verfahren zur Ermittlung des PCF auch für weitere Produkte (Aufbereitung von Baumischabfällen, Regranulierung von Kunststoffabfällen) der ORS anwendbar ist. Andererseits hat sich herausgestellt, dass die individuellen Gegebenheiten erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben und eine Analyse der jeweiligen Prozesse (Aufbereitung, Verwertung und Distribution) unerlässlich ist. Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse nicht möglich und war auch nicht Ziel dieser Arbeit.

Darüber hinaus wurden die Kommunikationsansätze der DIN ISO 14067 theoretisch dargestellt und im Praxisteil die Machbarkeit der genannten Optionen für die jeweiligen PCF-Studien untersucht. Daraus resultierend erfolgt die öffentliche und auch interne Darstellung der Bilanzierungsergebnisse in Form eines übersichtlichen Datenblattes, dessen Grundlage der Bericht zur PCF-Studie ist. In der weiteren Analyse ergab sich, dass die Verwendung von CO<sub>2</sub>-Labels als nicht geeignet erscheint, weil die Grundanforderungen der Norm (PCF-Kommunikationsprogramm) hierfür nicht erfüllt werden. Eine Leistungsverfolgung über mehrere Jahre wird als sinnvoll erachtet, da hierbei die eigene Erfolgskontrolle gesichert werden kann und ein weiteres Instrument zur Kommunikation darstellt. Die Marketingmaßnahmen sind jedoch unter der Einschränkung zu betrachten, dass kein ganzheitliches PCF-Kommunikationsprogramm, wie es die DIN ISO 14067 optional vorsieht, erstellt wird. Die Transparenz und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse ist aber dennoch von hohem Niveau, da

jede Veröffentlichung auf einem Bericht zur PCF-Studie basiert und die ORS bereits seit sehr vielen Jahren erfolgreich nach EMAS III validiert ist. Die Ergebnisse sind jederzeit online einsehbar.

Für die ORS bedeutet das Ergebnis insgesamt eine Verbesserung der ökologischen Leistung, da nicht nur gezeigt wurde, dass das Recycling CO<sub>2</sub>-Emissionen einspart, sondern auch eine weitere Ebene der transparenten Kommunikation mit den Kunden geschaffen wird.

Die Methodik zur Erstellung des Product Carbon Footprint wurde weitestgehend durch die DIN ISO 14067 bestimmt, weshalb an dieser Stelle eine kurze Bewertung der Norm vorgenommen werden soll. Die Anwendbarkeit der DIN ISO 14067 zur quantitativen Bestimmung sowie Kommunikation der CO<sub>2</sub>-Emissionen erwies sich als sehr praktikabel und geeignet für die PCF-Studie. Besonders hervorzuheben sind die Leitlinien für die Kommunikation, die es Unternehmen wesentlich erleichtert eine geeignete Strategie der Veröffentlichung der Ergebnisse zu finden und entsprechend umzusetzen. Weiterhin ist auch die Beschreibung zur Vorgehensweise bei der Aufstellung der CO<sub>2</sub>-Bilanz verständlich und nachvollziehbar beschrieben und wird hier als sehr positiv gewertet. Zu kritisieren sind die z.T. sehr komplex formulierten Begriffsdefinitionen zu Beginn und das Kapitel der Auswertung, welches nach Meinung der Autorin noch ausführlicher dargestellt werden könnte. Insbesondere detaillierte Anweisungen zur Sensitivitäts-, Vollständigkeits- und Konsistenzüberprüfung hätten hier beschrieben werden können.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die dynamische Entwicklung des Themas *Product Carbon Footprint* in den letzten Jahren zeigt, dass die Bilanzierung der Klimaauswirkungen von Produkten und Dienstleistungen eine ideale Möglichkeit bietet Emissionsschwerpunkte zu identifizieren und darauf aufbauend optimale Minderungsstrategien zu entwickeln. Eine sinnvolle und glaubwürdige Kommunikation ist durch die DIN ISO 14067 nun gegeben und ebnet den Weg für eine tiefergehende Sensibilisierung der Thematik in der Öffentlichkeit. Die Umwelt ist das Produkt des Menschen, das sich durch unsere Handlungen stetig verändert. Diese Veränderungen sollen uns nicht schaden, sondern in jeglicher Hinsicht unser Leben bereichern. Aus diesem Grund gilt es, verantwortungsvoll Entscheidungen für das Klima und somit für die Umwelt zu treffen – jeder einzelne kann seinen Beitrag hierzu leisten, egal ob als Unternehmen oder als Privatperson.



## Anhangsverzeichnis

<b>Anhang 1 Annahmen Altholz .....</b>	<b>XII</b>
<b>Anhang 2 Annahmen Ersatzbrennstoff .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Anhang 3 Datenerhebung und-zusammenfassung für Altholz.....</b>	<b>XIV</b>
Anhang 3.1 Datenbasis .....	XIV
Anhang 3.2 Verteilung an die Biomassekraftwerke .....	XV
Anhang 3.3 Aufbereitung und Verwertung im BMKW .....	XVI
Anhang 3.4 Distribution .....	XVII
Anhang 3.5 CO <sub>2</sub> Vorkette und direkt.....	XVIII
Anhang 3.6 Gutschrift.....	XVIII
Anhang 3.7 Datenbasis der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe.....	XIX
<b>Anhang 4 Datenerhebung und -zusammenfassung für Ersatzbrennstoff .....</b>	<b>XX</b>
Anhang 4.1 Datenbasis .....	XX
Anhang 4.2 Aufbereitung.....	XXI
Anhang 4.3 Distribution .....	XXII
Anhang 4.4 Allokation .....	XXIII
Anhang 4.5 CO <sub>2</sub> Vorkette .....	XXIII
Anhang 4.6 CO <sub>2</sub> Direkt (Berechnung Emissionsfaktor EBS).....	XXIV
Anhang 4.7 Gutschrift.....	XXIV
Anhang 4.8 Datenbasis der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe.....	XXV
<b>Anhang 5 Öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation (Datenblatt) Altholz.....</b>	<b>XXVI</b>
<b>Anhang 6 Öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation (Datenblatt) Ersatzbrennstoff</b>	<b>XXVII</b>

**Anhang 1 Annahmen Altholz**

Prozessmodul	Annahmen	Quelle
<b>Aufbereitung und Verwertung</b>	Emissionsfaktor E.On Edis: 415 gCO <sub>2</sub> /kWh	E.ON Edis
	Emissionsfaktor Strommix: 576 gCO <sub>2</sub> /kWh	UBA (Statista)
	Stromverbrauch Anlage TD: Schätzwert auf Basis der Nennleistung der Anlagen und des Stromverbrauchs WD --> 298.226 kWh	Eigene Schätzung
	- BMKW Wilmersdorf Daten stehen repräsentativ für das Jahr 2012 - Schätzwerte HKW Hokawe Eberswalde: Input Holzhackschnitzel: 40.000 Tonne Elektrizität, Netz: 5.000 MWh Output Elektrizität: 30.000 MWh	Eigene Schätzung
	1 t Altholz = 1 t Holzhackschnitzel	ORS
<b>Distribution</b>	Emissionsfaktor Diesel: 2,63 kgCO <sub>2</sub> /l	LfU
	Sammelstelle: Unter den Linden 1, Berlin	Eigene Schätzung
	<u>LKW Transporte</u> - Sammelstelle nach TD bzw. Annahme Berlin: Verbrauch 22,5l Diesel/100km; Zuladung 24t (3 Container à 8t) - Annahme Berlin nach WD: Verbrauch 22,5l Diesel /100km; Zuladung 30t (2 Container à 15t) - TD nach WD: Verbrauch 30l Diesel/100km; Zuladung 23t (Schubboden LKW) - TD bzw. WD nach Biotherm Demmin, HKW Hokawe Eberswalde und BHW Beeskow: Verbrauch 30 l Diesel/100km ; Beladung 33t  Auslastung 100%	ORS
	<u>Innerbetrieblicher Transport:</u> - Dieselkraftstoff: TD: geschätzt auf Basis Inputmenge Altholz und Dieselkraftstoffverbrauch in WD --> 18.761 Liter WD: 120 Liter Diesel pro Schicht (1 Schicht entspricht 8 h); 1 Jahr hat 300 Arbeitstage --> 36.000 Liter  - Fuhrpark: Radlader	ORS
<b>Gutschrift</b>	Emissionsfaktor Altholz: 0 gCO <sub>2</sub> /kWh	Gemis Version 4.81
	Emissionsfaktor Braunkohle direkt: 957,680 gCO <sub>2</sub> /kWh	Gemis Version 4.81
	Emissionsfaktor Braunkohle Vorkette: 15,640 gCO <sub>2</sub> /kWh	Gemis Version 4.81
	Altholz substituiert Braunkohle	

**Anhang 2 Annahmen Ersatzbrennstoff**

<b>Prozessmodul</b>	<b>Annahmen</b>	<b>Quelle</b>
<b>Hausmüllauf- bereitungsanlage</b>	Emissionsfaktor E.On Edis: 415 gCO <sub>2</sub> /kWh	E.ON Edis
	Stromverbrauch Anlage: Schätzwert auf Basis der Nennleistung der Anlage (355kW) x 8h-Schicht x 300 Arbeitstage → 852 MWh	ORS
	Stromverbrauch Biofilteranlage: Schätzwert auf Basis der Nennleistung der Anlage (112kW) bei 50% Last >> 56 kW x 24h x 300 Arbeitstage --> 403,2 MWh	ORS
	46% des Hausmülls bzw. hausmüllähnlichem Gewerbeabfall sind EBS	Eigene Schätzung
<b>Ersatzbrennstoffauf- bereitungsanlage</b>	Emissionsfaktor E.ON Edis: 415 gCO <sub>2</sub> /kWh	E.ON Edis
<b>Distribution</b>	Emissionsfaktor Diesel: 2,63 kgCO <sub>2</sub> /l	LfU
	Sammelstelle I : Unter den Linden 1, Berlin	Eigene Schätzung
	Sammelstelle II: 150 km entfernt	Eigene Schätzung
	<u>LKW Transporte</u> - Transport von Sammelstelle I nach Anlage Berlin Köpenick: Verbrauch LKW 22,5 l Diesel / 100km ; Beladung 20t (2 Container à 10 Tonnen) ; Auslastung 100% - alle weiteren Transporte: Verbrauch LKW 30 l Diesel / 100km ; Beladung 22t ;  Auslastung 100%	ORS
	<u>Innerbetrieblicher Transport:</u> Anlage Berlin Köpenick: Fuhrpark: 1 Radlader, 1 Bagger; Dieselverbrauch auf Basis Dieselverbrauch von Wilmersdorf --> ca. 30.000 Liter Wilmersdorf: Fuhrpark: 2 Radlader, 1 Bagger, 1 Teleskopstapler	ORS
<b>Gutschrift</b>	Emissionsfaktor Steinkohle direkt: 338,40 gCO <sub>2</sub> /kWh	Gemis Version 4.81
	Emissionsfaktor Steinkohle Vorkette: 12,65 gCO <sub>2</sub> /kWh	Gemis Version 4.81
	Ersatzbrennstoff substituiert Steinkohle	Eigene Schätzung

**Anhang 3 Datenerhebung und-zusammenfassung für Altholz****Anhang 3.1 Datenbasis**

INPUT			OUTPUT		
Anlage Teschendorf					
Altholz, normal	23.601	t	Holzhackschnitzel unbelastet	16.910	t
			Holzhackschnitzel, BÜ	5.224	t
			Metalle / Störstoffe	1.490	t
Elektrizität, Netz geschätzt * <sup>1</sup>	298.226	kWh			
Dieselmotorkraftstoff * <sup>2</sup>	18.761	l			
Anlage Wilmersdorf					
Altholz	45.287	t	Holzhackschnitzel unbelastet	36.624	t
Lagerbestand	137	t	Holzhackschnitzel, BÜ	3.576	t
Elektrizität, Netz	431.760	kWh			
Dieselmotorkraftstoff * <sup>3</sup>	36.000	l			
Anlage Biomasse-Kraftwerk Wilmersdorf					
Holzhackschnitzel	39.670	t	Elektrizität, Netz	31.126	MWh
Elektrizität, Netz * <sup>4</sup>	4.662	MWh			
Anlage Biotherm Demmin					
Holzhackschnitzel	58.887	t	Elektrizität, Netz	32.042	MWh
Elektrizität, Netz	4.899	MWh			
Anlage BHW Beeskow Holzwerkstoffe					
Holzhackschnitzel	163.500	t	Elektrizität, Netz	198.000	MWh
Holzstaub (HW:18MJ/t)	41.640	t			
Elektrizität, Netz	25.000	MWh			
Anlage Hokawe Eberswalde * <sup>5</sup>					
Holzhackschnitzel	40.000	t	Elektrizität, Netz	30.000	MWh
Elektrizität, Netz	5.000	MWh			

\*<sup>1</sup> Schätzwert auf Basis der Nennleistung der Anlagen und des Stromverbrauchs Wilmersdorf

\*<sup>2</sup> Schätzwert auf Basis der Inputmenge Altholz und Dieselmotorkraftstoffverbrauch in Wilmersdorf

\*<sup>3</sup> 120 l Diesel / Schicht (8h) \* 300 AT

\*<sup>4</sup> Mittelwert aus Ergebnissen Feb. + März 2013: Feb. 362 MWh bzw. März 415 MWh [Mittelwert \*12 Monate]

\*<sup>5</sup> Schätzwerte bzw. Annahmen

**Anhang 3.2** Verteilung an die Biomassekraftwerke

Summe insgesamt

62.334 t

Holzhackschnitzel

Gesamtmenge	Biomassekraftwerk in	Anteil von der Gesamtmenge [t]	Anteil von der Gesamtmenge [%]
Standort Teschendorf  22.134 t	Wilmersdorf	5224	23,6%
	Hokawe	1600	7,2%
	Beeskow	4310	19,5%
	Demmin	11000	49,7%
	<i>stoffl. Verw. (Beesko</i>	<i>500</i>	
Standort Wilmersdorf  40.200 t	Wilmersdorf	34446	85,7%
	Beeskow	3688	9,2%
	Demmin	2066	5,1%

**Anhang 3.3** Aufbereitung und Verwertung im BMKW**Aufbereitung****Anlage Teschendorf**

Nr.	Prozessschritt	Ausgangswert [kWh/t]	Emissions- faktor [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil an der Gesamtnenn- leistung [%]
<b>Anlage insgesamt</b>		<b>12,64</b>	415	<b>5,24</b>	100%
1	Vorbrecher (220 KW)	5,93		2,46	46,91%
2	Hammermühle (240 KW)	6,47		2,68	51,17%
3	Metallabscheider (4 KW)	0,11		0,04	0,85%
4	Transportbänder (5 KW)	0,13		0,06	1,07%

**Anlage Wilmersdorf**

Nr.	Prozessschritt	Ausgangswert [kWh/t]	Emissions- faktor [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil an der Gesamtnenn- leistung [%]
<b>Anlage insgesamt</b>		<b>9,53</b>	415	<b>3,96</b>	100%
1	Vorbrecher	3,09		1,28	32,40%
2	Hammermühle (240+210 KW)	6,32		2,62	66,27%
3	Metallabscheider (4KW)	0,06		0,02	0,59%
4	Transportbänder (5 KW)	0,07		0,03	0,74%

**Verwertung im BMKW****Biomassekraftwerke**

Biomassekraftwerk	Ausgangswert [kWh/t]	Emissions- faktor [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Emissionen absolut [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil Holz von ORS an der Gesamtinput- menge [%]	CO <sub>2</sub> - Emissionen relativ [kgCO <sub>2</sub> /t]
Biomassekraftwerk Wilmersdorf	117,52	415	48,8	100%	<b>48,8</b>
Biotherm Demmin	83,20	576	47,9	22,2%	<b>10,6</b>
BHW Beeskow Holzwerkstoffe	121,87		70,2	36,0%	<b>25,3</b>
HKW Hokawe Eberswalde	125,00		72,0	4,0%	<b>2,9</b>

\* 415 gCO<sub>2</sub>/kWh = Emissionsfaktor E. On Edis 2011\* 576 gCO<sub>2</sub>/kWh = Emissionsfaktor für Strommix Deutschland 2012

**Anhang 3.4** Distribution

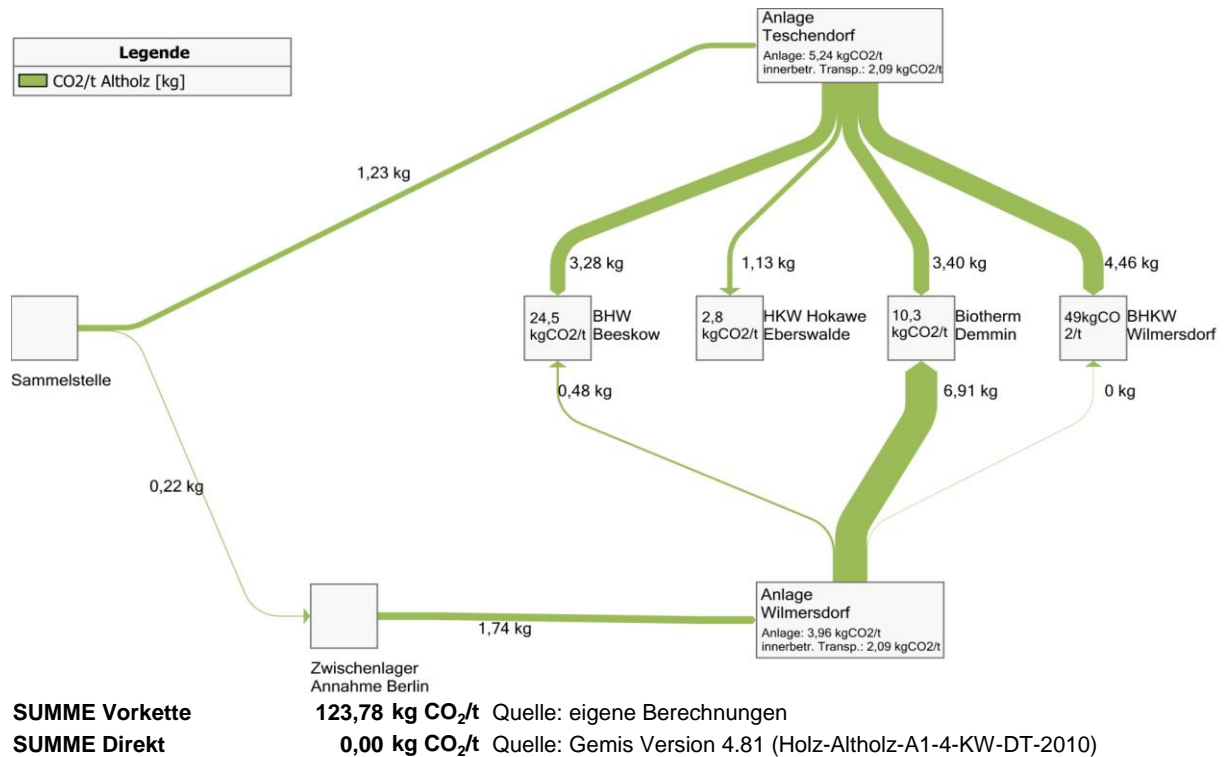
CO2 Faktor

2,63 kg/l Diesel Quelle: LfU

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]	Transport- faktor [kgCO <sub>2</sub> / km]	CO <sub>2</sub> - Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t]
<b>Transportkette über Teschendorf</b>					
Sammelstelle >> Anlage Teschendorf	50	22,5	24	0,59	1,23
Anlage Teschendorf >> BHKW Wilmersdorf	130	30	23	0,79	4,46
Anlage Teschendorf >> Biotherm Demmin	142	30	33	0,79	3,40
Anlage Teschendorf >> HKW Hokawe Eberswalde	47,4	30	33	0,79	1,13
Anlage Teschendorf >> BHW Beeskow Holzwerkstoffe	137	30	33	0,79	3,28
<b>Summe</b>					<b>13,50</b>

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]	Transport- faktor [kgCO <sub>2</sub> / km]	CO <sub>2</sub> - Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t]
<b>Transportkette über Wilmersdorf</b>					
Sammelstelle >> Annahme Berlin	9	22,5	24	0,59	0,22
Annahme Berlin >> Anlage Wilmersdorf	88	22,5	30	0,59	1,74
Anlage Wilmersdorf >> BHW Beeskow Holzwerkstoffe	19,9	30	33	0,79	0,48
Anlage Wilmersdorf >> Biotherm Demmin	289	30	33	0,79	6,91
<b>Summe</b>					<b>9,34</b>

	Verbrauch [l]	Durchsatz [t]	Diesel- verbrauch [l / t]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kgCO <sub>2</sub> / t]
innerbetrieblicher Transport Teschendorf	18.761	23.601	0,79	2,09
innerbetrieblicher Transport Wilmersdorf	36.000	45.287	0,79	2,09
<b>Summe</b>				<b>4,18</b>

**Anhang 3.5 CO<sub>2</sub> Vorkette und direkt****Gesamtübersicht Vorkette & Direkt****Anhang 3.6 Gutschrift**

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vorkette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]
Altholz * <sup>1</sup>	0	165,100	165,100
Braunkohle * <sup>2</sup>	957,680	15,640	973,320
<b>Summe</b>	<b>-957,680</b>	<b>149,460</b>	<b>-808,220</b>

**Hilfstabelle**

Biomasse- kraftwerk	Energie- Output bezo- gen auf die Menge von ORS [MWh]	Altholz-Input nur von ORS [t]	MWh/t
Wilmersdorf	31.126	39.670	0,7846
Demmin	7.109	13.066	0,5441
Beeskow	7.296	7.998	0,9123
Eberswalde	1.200	1.600	0,7500
Summe	46.732	62.334	0,7497

\*<sup>1</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81, Stichwort: Holz-Altholz-A1-4-KW-DT-2010

\*<sup>2</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81, Stichwort: Braunkohle-KW-DT-DE-2010-Lausitz



**Anhang 3.7** Datenbasis der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vor- kette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Fußabdruck [kgCO <sub>2</sub> /t Alt- holz]
Altholz	0	165,100	165,100	
Braunkohle	957,680	15,640	973,3203	-605,92
Steinkohle * <sup>1</sup>	742,758	34,416	777,174	-458,87

\*<sup>1</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81, Stichwort: Kohle-KW-DT-DE-2010

**Anhang 4 Datenerhebung und -zusammenfassung für Ersatzbrennstoff****Anhang 4.1 Datenbasis**

INPUT			OUTPUT		
Hausmüllaufbereitung Berlin Köpenick					
Hausmüll / Gewerbeabfälle	58.137	t	hochkalorische Fraktion	34.850	t
			mittelkalorische Fraktion	20.091	t
			Rottefraktion	1.114	t
			Schrott	1.350	t
			Feuchteverlust	732	t
Elektrizität, Netz exkl. Biofilterwäsche geschätzt * <sup>1</sup>	852	MWh			
Elektrizität, Netz Biofilterwäsche geschätzt * <sup>2</sup>	439	MWh			
Dieseldieselkraftstoff * <sup>3</sup>	30.000	l			
Ersatzbrennstoffaufbereitungsanlage Wilmersdorf					
Abfälle für die EB Anlage * <sup>4</sup> Hochkalorische Fraktion (aus Berlin Köpenick)	68.004	t	Ersatzbrennstoff	80.600	t
	34.850	t	Schrott	4.761	t
			Holz	276	t
			Schwerfraktion (Mineralik)	766	t
			Feuchteverlust	5.139	t
			Lager	10.328	t
			Sonstige	2	t
Elektrizität, Netz	4.510	MWh			
Dieseldieselkraftstoff * <sup>5</sup>	99.000	l			

\*<sup>1</sup> 355 KW x 8 h Schicht x 300 AT

\*<sup>2</sup> 112 KW zu 50% Last = 56 KW x 24h x 300 AT

\*<sup>3</sup> Schätzwert: 1 Radlader, 1 Bagger auf Basis Wilmersdorf

\*<sup>4</sup> Sortierreste (Baumischabfälle, Sperrmüll, Zigaretten,  
Bitumenpappe, Verpackungen, Gewerbeabfälle, DSD Sortierreste,  
brennbare Abfälle u.a.)

\*<sup>5</sup> Für 2 Radlader, 1 Teleskopstapler 1 Bagger

**Anhang 4.2** Aufbereitung**Hausmüllaufbereitung Köpenick**

Nr.	Prozessschritt	Ausgangswert [kWh/t]	Emissi- onsfaktor [gCO <sub>2</sub> /kW h]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil an der Gesamt- nenn- leistung [%]
<b>Anlage insgesamt</b>		<b>22,21</b>	415	<b>9,22</b>	100%
1	Hacker (320 KW)	19,79		8,21	89,14%
2	FE Abscheider (4 KW)	0,25		0,10	1,11%
3	Siebtrommel (30 KW)	1,86		0,77	8,36%
4	Transportbänder (5 KW)	0,31		0,13	1,39%

**EB-Aufbereitungsanlage Wilmersdorf**

Nr.	Prozessschritt	Ausgangswert [kWh/t]	Emissi- ons-faktor [gCO <sub>2</sub> /kW h]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t]	Anteil an der Gesamt- nenn- leistung [%]
<b>Anlage insgesamt</b>		<b>43,85</b>	415	<b>18,20</b>	100%
1	Schredder (260 KW)	4,96		2,06	11,31%
2	FE Abscheider (4 KW)	0,08		0,03	0,17%
3	Hammermühle (800 KW)	15,26		6,33	34,80%
4	Trommelsieb (30 KW)	0,57		0,24	1,30%
5	Kollermühlen (6x200KW)	22,89		9,50	52,20%
6	Transportbänder (5 KW)	0,10		0,04	0,22%

**Anhang 4.3** DistributionCO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor2,63 kgCO<sub>2</sub>/l Diesel

[Quelle: LfU]

	Entfernung [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]	Transportfaktor [kgCO <sub>2</sub> /km]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t Abfall]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t EBS]
<b>Transportkette</b>						
Sammelstelle I >> Anlage Köpenick	19	22,5	20	0,59	0,56	<sup>*2</sup> <b>0,26</b>
Anlage Köpenick >> Anlage Wilmersdorf	68	30	22	0,79	2,44	<b>1,91</b>
Sammelstelle II >> Anlage Wilmersdorf <sup>*1</sup>	150	30	22	0,79	5,38	<b>4,22</b>
Anlage Wilmersdorf >> Rüdersdorf	60	30	22	0,79		<b>2,15</b>
Anlage Wilmersdorf >> Eisenhüttenstadt	53	30	22	0,79		<b>1,90</b>
Anlage Wilmersdorf nach Chelm (Polen)	745	30	22	0,79		<b>26,72</b>
<b>Summe</b>						<b>37,16</b>

	Jahresverbrauch [l]	Durchsatz [t]	Dieselfaktor [l / t]	CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Strecke [kgCO <sub>2</sub> /t Abfall]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t EBS]
innerbetrieblicher Transport Köpenick	30.000	58.137	0,52	1,36	<sup>*2</sup> <b>0,62</b>
innerbetrieblicher Transport Wilmersdorf	99.000	102.854	0,96	2,53	<b>1,98</b>
<b>Summe</b>					<b>2,61</b>

<sup>\*1</sup>

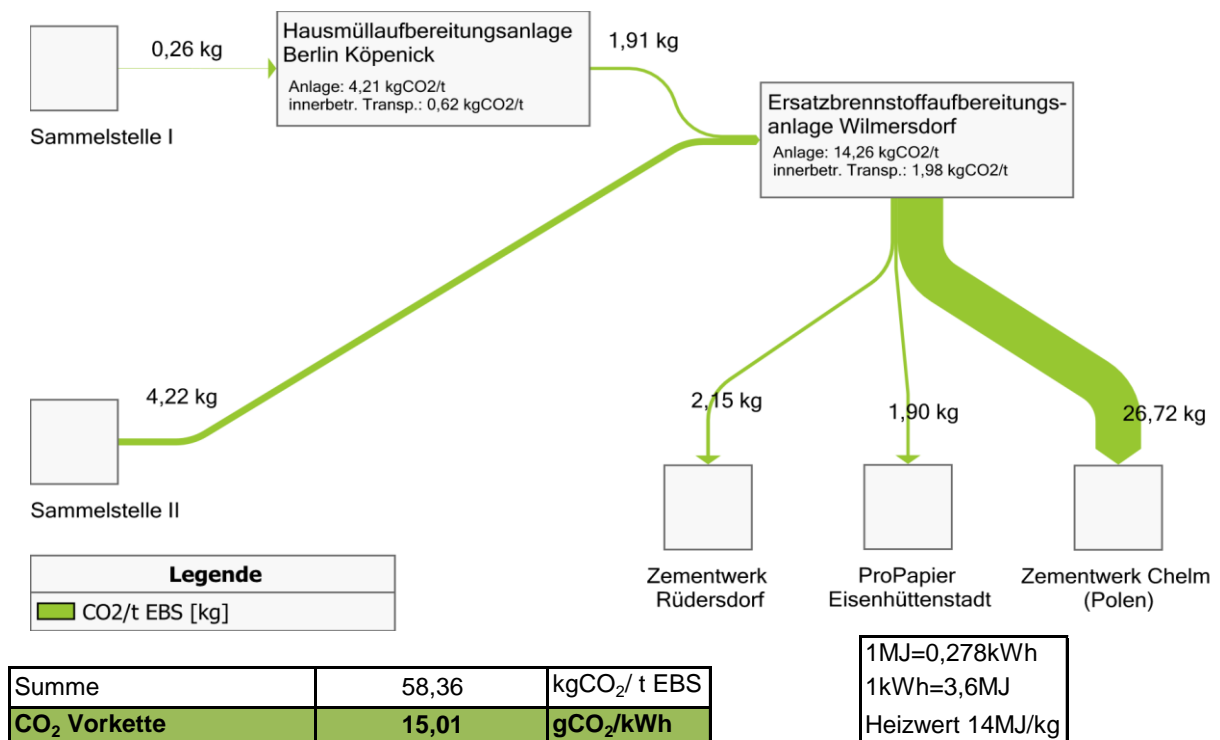
Annahme getroffen aufgrund der vorliegenden Datenlage: durchschnittl. Strecke von 150 km; Verbrauch 30l/100km; Beladung 22t

<sup>\*2</sup>

Annahme: 46% des Hausmülls/Gewerbemülls in Köpenick sind EBS

**Anhang 4.4** Allokation

INPUT [t]		Prozess	OUTPUT [t]		Output- anteil am Input [%]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kgCO <sub>2</sub> /t]
Hausmüll/ hausmüll- ähnlicher Gewerbe- abfall	58.137	Hausmüll- aufbereitung Köpenick	hochkalorische Fraktion	34.850	59,9%	5,52
			-->davon EBS	27.322	78,4%	4,33
			mittelkalorische Fraktion	20.091	34,6%	3,18
			Rottefraktion	1.114	1,9%	0,18
			Schrott	1.350	2,3%	0,21
			Feuchteverlust	732	1,3%	0,12
			<b>Summe</b>	<b>58.137</b>	<b>100%</b>	<b>9,22</b>
Abfälle für die EBS- Anlage	102.854	EBS- Aufbereitungs- anlage	Ersatzbrenn- stoff	80.600	78,4%	14,26
			Schrott	4.761	4,6%	0,84
			Holz	276	0,3%	0,05
			Schwerfraktion	766	0,7%	0,14
			Feuchteverlust	5.139	5,0%	0,91
			Lager	11.310	11,0%	2,00
			Sonst.	2	0,002%	0,0004
					<b>Summe</b>	<b>102.854</b>

**Anhang 4.5** CO<sub>2</sub> Vorkette**Gesamtübersicht CO<sub>2</sub> Fußabdruck**

**Anhang 4.6 CO<sub>2</sub> Direkt (Berechnung Emissionsfaktor EBS)**

Stofffraktion	Masse- anteil [%]	Fossiler Anteil der Fraktion	Gesamt C- Gehalt (roh) [kg C/t]	Fossiler C- Gehalt (roh) [kg C <sub>fossil</sub> /t]	Gesamter fossiler C- Gehalt für die Fraktion [kg C <sub>fossil</sub> /t]	Emissions- faktor (masse- bezogen) [gCO <sub>2 fossil</sub> /t]	Emissions- faktor (heizwert- bezogen; bei HW =14MJ/t [gCO <sub>2 fossil</sub> /MJ]
Papier	35%	0	0	0	0		
Holz	15%	0	0	0	0		
Folie	35%	100	480	480	168		
Gewebe	10%	35	380	133	13,3		
andere Stoffe	5%	30	190	57	2,9		
Summe	100%				184	675,22	48,23

<b>CO<sub>2</sub> direkt</b>	<b>173,628 gCO<sub>2</sub>/kWh</b>
------------------------------	------------------------------------

Quelle für die Berechnung:

Institut für Kreislaufwirtschaft GmbH (2006): Ökologische Bewertung verschiedener Optionen zur energetischen Verwertung heizwertreicher Abfälle. URL: [http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/Service/Oekologische\\_Bilanzierung.pdf](http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/Service/Oekologische_Bilanzierung.pdf) [letzter Zugriff 22.04.2013]

**Schritt 1:**

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist zunächst der fossile Kohlenstoffanteil am Brennstoff zu bestimmen:

*Gesamter fossiler C-Gehalt für die Fraktion ( $m_{C, fossil}$ ) =  $\Sigma$  Masseanteil \* Fossiler C-Gehalt Fraktion*

**Schritt 2:**

Der massebezogene Emissionsfaktor berechnet sich nach folgender Formel:

*Emissionsfaktor ( $m_{CO_2, fossil}$ ) =  $m_{C, fossil} * 44/12$*  [kg CO<sub>2fossil</sub>/t]

Der heizwertbezogene Emissionsfaktor berechnet sich nach folgender Formel:

*Emissionsfaktor =  $m_{CO_2, fossil} * Heizwert$*  [kg CO<sub>2fossil</sub>/MJ]

**Anhang 4.7 Gutschrift**

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vorkette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]
EBS	173,63	15,01	188,63
Steinkohle * <sup>1</sup>	338,40	12,65	351,05
<b>Summe</b>	<b>-164,77</b>	<b>2,36</b>	<b>-162,42</b>

\*<sup>1</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81, Stichwort: Wärme-Prozess-Zement-Steinkohle (Endenergie)-2010

**Anhang 4.8** Datenbasis der Sensitivitätsanalyse für die Gutschriftenvergabe

	CO <sub>2</sub> direkt [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Vorkette [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> Summe [gCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Fußabdruck [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	CO <sub>2</sub> - Fußabdruck [kgCO <sub>2</sub> /t EBS]
EBS	173,63	15,01	188,63		
Öl schwer * <sup>1</sup>	280,80	31,69	312,49	-123,85	-481,66
Steinkohle	338,40	12,65	351,05	-162,42	-631,62
Braunkohle * <sup>2</sup>	349,20	68,09	417,29	-228,65	-889,21

\*<sup>1</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81,

Stichwort: Wärme-Prozess-Zement-Öl-schwer (Endenergie)-2010

\*<sup>2</sup> Quelle: GEMIS Version 4.81,

Stichwort: Wärme-Prozess-Zement-Braunkohle (Endenergie)-2010

## Anhang 5 Öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation (Datenblatt) Altholz

Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG



# Altholz

## CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Recycling ist eine Tätigkeit, die einen Beitrag zur Entlastung der Umwelt und des Klimas leistet. Als wertvolle Ressource wird Altholz als klimaneutraler Sekundärbrennstoff in Biomassekraftwerken zur energetischen Verwertung eingesetzt oder kann zur werkstofflichen Verwertung zur Herstellung von Spanplatten genutzt werden.

### Das Produkt.

Altholz in den Klassen I bis IV nach der AltholzV, z.B. Paletten, Gebrauchtmöbel, Bahnschwellen, Fensterrahmen, Altholz aus dem Abbruch und Rückbau.

### Die funktionelle Einheit.

1 Tonne Altholz

### Ergebnis.

Durch den Einsatz von Altholz als Sekundärbrennstoff zur Erzeugung von Energie und Wärme, kann die Umwelt im Vergleich zum Primärprozess entlastet werden. Bei der Verwertung von Altholz entstehen Emissionen in Höhe von 123,78 kgCO<sub>2</sub>/t Altholz. Im Verhältnis zu Braunkohle ergibt sich eine Ersparnis von :

**1 t Altholz**  $\xrightarrow{\text{entlastet die Umwelt mit}}$  **- 606 kg CO<sub>2</sub>**

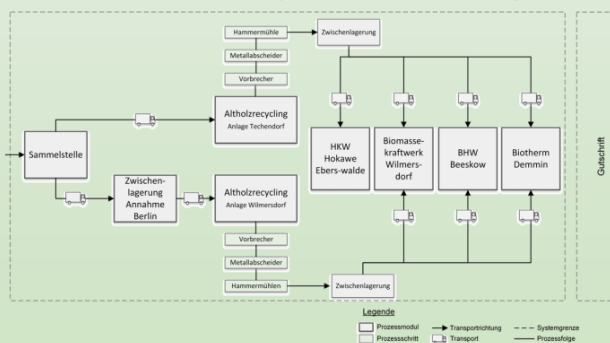
Das entspricht der Kompensationsleistung eines deutschen Mischwaldes von ca. 83 km<sup>2</sup>. Im Jahr 2012 konnte durch die Verwertung von **62.334 Tonnen Altholz** eine **Einsparung von 37.770 Tonnen** Kohlendioxid erzielt werden.

### Zeitraum.

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wurde für das Jahr 2012 ermittelt.

### Systemgrenze.

Betrachtet wird der gesamte Weg von der Sammelstelle bis zur Verwertung im Biomassekraftwerk, dazu gehören die Aufbereitungsanlagen, die Distribution, der innerbetriebliche Transport und die Verwertung im Biomassekraftwerk:



### Kontakt.

Otto-Rüdiger Schulze  
Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG  
Schleuener Weg 1 (Alte Försterei)  
16775 Löwenbergerland OT Neuendorf  
www.ors-recycling.de | info@ors-recycling.de



## Anhang 6 Öffentlicher Bericht zur PCF-Kommunikation (Datenblatt) Ersatzbrennstoff

Otto-Rüdiger Schulze Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG



# Ersatzbrennstoff

## CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Recycling ist eine Tätigkeit, die einen Beitrag zur Entlastung der Umwelt und des Klimas leistet. Ersatzbrennstoffe bieten durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten eine Alternative zu Primärbrennstoffen, wodurch die Substitutionsrate der deutschen Zementindustrie durch EBS bei über 61 % liegt. [Quelle: Verein Deutscher Zementindustrie]

### Das Produkt.

Ersatzbrennstoff, der aus ca. 50% Papier und Holz, 35% Folie, 10 % Gewebe und 5% anderen Stoffe besteht, wird aus hochkalorischem Abfall gewonnen.

### Die funktionelle Einheit.

1 Tonne Ersatzbrennstoff (EBS)

### Ergebnis.

Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoff zur Erzeugung von Wärme, werden fossile Ressourcen wie z.B. Steinkohle eingespart und die Umwelt dadurch entlastet. Bei der Herstellung von EBS entstehen Emissionen in Höhe von 58,36 kgCO<sub>2</sub>/t EBS. Im Verhältnis zu Steinkohle ergibt sich eine Ersparnis von :

**1 t EBS**  $\xrightarrow{\text{entlastet die Umwelt mit}}$  **- 632 kg CO<sub>2</sub>**

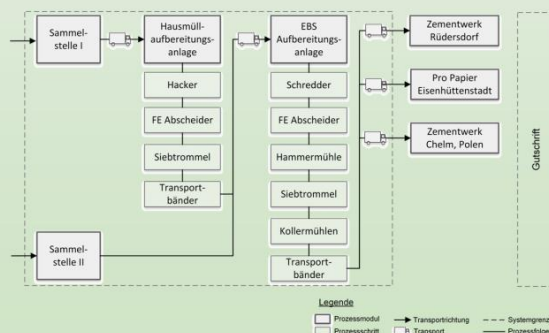
Das Ergebnis entspricht der Kompensationsleistung eines deutschen Mischwaldes von ca. 88 km<sup>2</sup>. Im Jahr 2012 konnte durch die Verwertung von **102.854 Tonnen EBS** eine **Einsparung** von rund **51.000 Tonnen** Kohlendioxid erzielt werden.

### Zeitraum.

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wurde für das Jahr 2012 ermittelt.

### Systemgrenze.

Betrachtet wird der gesamte Weg von der Sammelstelle bis zur Anlieferung beim Kunden, dazu gehören die Aufbereitungsanlagen für Hausmüll und Ersatzbrennstoff, die Distribution und der innerbetriebliche Transport:



### Kontakt.

Otto-Rüdiger Schulze  
 Holz- und Baustoffrecycling GmbH & Co. KG  
 Schleuener Weg 1 (Alte Försterei)  
 16775 Löwenbergerland OT Neuendorf  
[www.ors-recycling.de](http://www.ors-recycling.de) | [info@ors-recycling.de](mailto:info@ors-recycling.de)

## Literatur- und Quellenverzeichnis

### Beitrag

- DIERKS, STEFAN: Product Carbon Footprint: Einführung und Umsetzung am Beispiel der Tchibo GmbH, in: Gleich, Ronald; Bartels, Peter; Breisig, Volker (Hrsg.): Nachhaltigkeitscontrolling. Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung. 1. Aufl., Freiburg; München, 2012, S. 195–209.
- SEURING, STEFAN; PICK, ERICH; FAßBENDER-WYNANDS, ELLEN: Ökobilanzierung und Stoffstrommanagement, in: Baumast, Annett; Pape, Jens (Hrsg.): Betriebliches Umweltmanagement. Nachhaltiges Wirtschaften im Unternehmen. 4. Aufl., Stuttgart (Hohenheim), 2009, S. 117–131.
- STICHNOTHE, HEINZ: Carbon Footprint. Der britische "Standard" PAS 2050 im Spiegel der Ökobilanz-Methodik und weitere Normierungsbestrebungen, in: Feifel, Silke; Walk, Wolfgang; Wursthorn, Sibylle; Prof. Dr. Schebek, Liselotte (Hrsg.): Ökobilanzierung 2009 - Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009, Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009, Karlsruhe, 2009, S. 39–43.

### Buch (Monographie)

- DEINERT, CHRISTOPH; PAPE, JENS (2011): Der PCF Product Carbon Footprint. Die Methodik bei Märkisches Landbrot. München: oekom-Verlag, 2. Aufl.
- KLÖPFFER, WALTER; GRAHL, BIRGIT (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: Wiley-VCH.
- KOCH, SUSANNE (2012): Logistik. Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit. Berlin: Springer Vieweg.
- STRÖBELE, PROF. DR. WOLFGANG; PFAFFENBERGER, PROF. DR. WOLFGANG; HEUTERKES, DR. MICHAEL (2012): Energiewirtschaft. Einführung in Theorie und Politik. München: Oldenbourg, 3. Aufl.
- STURM, BODO; VOGT, CARSTEN (2011): Umweltökonomik. Eine anwendungsorientierte Einführung. Heidelberg: Physica-Verlag.

### Gesetz / Verordnung

- Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV) vom 24.02.2012 ([www.juris.de](http://www.juris.de)).
- Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen vom 11.12.1997 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>).

**Internetdokument**

ALBA GROUP PLC & Co. KG (2011): Recycling für den Klimaschutz. Treibhausgase reduzieren - Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen zeigen.

[http://www.albagroup.de/fileadmin/media/Co2\\_Studie/ALBA\\_Group\\_CO2\\_2.11.11/20120929\\_Brosch%C3%BCre\\_Treibhausgase.pdf](http://www.albagroup.de/fileadmin/media/Co2_Studie/ALBA_Group_CO2_2.11.11/20120929_Brosch%C3%BCre_Treibhausgase.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BÄRWALDT, KONSTANTIN; LEIMBACH, BERTHOLD; MÜLLER, FRIEDEMANN (2009): Globaler Emissionshandel. Lösung für die Herausforderungen des Klimawandels? <http://library.fes.de/pdf-files/id/ipa/06287.pdf> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU) (2009): Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe.

[http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug\\_app000006?SID=1062796996&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu\\_klima\\_00022,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000006?SID=1062796996&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu_klima_00022,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) (2009): Waldbericht der Bundesregierung 2009.

<http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/539616/publicationFile/26225/Waldbericht2009.pdf> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2009): Memorandum Product Carbon Footprint. [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum\\_pcf\\_lang\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/memorandum_pcf_lang_bf.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2012): Produktbezogene Klimaschutzstrategien. Product Carbon Footprint verstehen und nutzen.

[http://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/KS\\_Strategien\\_barrierefrei.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/KS_Strategien_barrierefrei.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (2013): Nettostromerzeugung nach Energieträger. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75405/umfrage/stromerzeugung-in-deutschland-seit-2008/> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

CEMEX WESTZEMENT GMBH; CEMEX OSTZEMENT GMBH (HRSG.) (2013): Gemeinsame Umwelterklärung 2013. Zementwerke Beckum und Rüdersdorf.

[http://www.cemex.de/Userfiles/PDF/Homepage/uwe\\_2013\\_deutsch.pdf](http://www.cemex.de/Userfiles/PDF/Homepage/uwe_2013_deutsch.pdf) (letzter Zugriff am: 21.05.2013).

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (02.05.2013): Norm definiert Carbon Footprint von Produkten.

<http://www.din.de/cmd?level=tpl-artikel&cmstextid=157369&bcrumblevel=1&languageid=de> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

- E.ON EDIS VERTRIEB GMBH (2013): Stromkennzeichnung gemäß §42 EnWG auf Basis der Daten von 2011.  
[https://www.eon.de/de/edis/pk/services/Rechtliches\\_Veroeffentlichungspflichten/Energiemix/index.htm](https://www.eon.de/de/edis/pk/services/Rechtliches_Veroeffentlichungspflichten/Energiemix/index.htm) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT SICHERHEITS- UND ENERGIE TECHNIK (UMSICHT); INTERSEROH AG (2008): Recycling für den Klimaschutz.  
[http://www.regensburg.de/sixcms/media.php/121/broschuere\\_recycling\\_fuer\\_den\\_klimaschutz.pdf](http://www.regensburg.de/sixcms/media.php/121/broschuere_recycling_fuer_den_klimaschutz.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- FROSTA AG (2009): Fallstudie Tagliatelle Wildlachs. [http://www.pcf-projekt.de/files/1257258154/pcf\\_frosta\\_tagliatelle\\_update.pdf](http://www.pcf-projekt.de/files/1257258154/pcf_frosta_tagliatelle_update.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- INSTITUT FÜR KREISLAUFWIRTSCHAFT GMBH (2006): Ökologische Bewertung verschiedener Optionen zur energetischen Verwertung heizwertreicher Abfälle.  
[http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/Service/Oekologische\\_Bilanzierung.pdf](http://www.energiekonsens.de/cms/upload/Downloads/Service/Oekologische_Bilanzierung.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Tabelle 2.14.  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14) (letzter Zugriff am: 30.05.2013).
- O.-R. SCHULZE HOLZ- UND BAUSTOFFRECYCLING GMBH & CO. KG (2012): Umwelterklärung 2012.  
[http://www.ors-recycling.de/download/2012/UER\\_2012.pdf](http://www.ors-recycling.de/download/2012/UER_2012.pdf) (letzter Zugriff am: 04.06.2013).
- O.-R. SCHULZE HOLZ- UND BAUSTOFFRECYCLING GMBH & CO. KG (o.J.): Geschäftsfelder: Recycling von Altholz. <http://www.ors-recycling.de/index.php?lang=de&media=on&p=c81e728d9d4c2f636f067f89cc14862c&s=c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b&t=c4ca4238a0b923820dcc509a6f75849b> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- O.V. (o.J.): DGNB-Zertifizierung. [http://www.ifes-frechen.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=88&Itemid=93](http://www.ifes-frechen.de/index.php?option=com_content&view=article&id=88&Itemid=93) (letzter Zugriff am: 31.05.2013).
- PCF PILOTPROJEKT (2009): Product Carbon Footprinting – Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum? [http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht\\_2009.pdf](http://www.pcf-projekt.de/files/1241099725/ergebnisbericht_2009.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- SCHNATTERBECK, M. (2010): Wirtschaftliche Optimierung von Biomassekraftwerken.  
[http://www.saegeindustrie.de/downloads/dynamisch/839/schnatterbeck\\_seeger.pdf](http://www.saegeindustrie.de/downloads/dynamisch/839/schnatterbeck_seeger.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).
- SITA DEUTSCHLAND GMBH (o.J.): Ersatzbrennstoffe. <https://www.sita-deutschland.de/kompetenzen/rohstoffe/ersatzbrennstoffe.html> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

UMWELTBUNDESAMT (2011): Klimaschutz. Klimapolitik.

<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimapolitik/index.htm> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

UMWELTBUNDESAMT (2012): Klimaschutz. Internationale Verträge.

<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimapolitik/vertraege/index.htm> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

UMWELTBUNDESAMT (2013): Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den Strommix in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2012. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/> (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

VDZ VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE E.V. (2011): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie.

[http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Umweltdaten/Umweltdaten\\_2011.pdf](http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Umweltdaten/Umweltdaten_2011.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

WIEDMANN, THOMAS; MINX, JAN (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'.

[http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf) (letzter Zugriff am: 05.06.2013).

## **Norm**

DIN ISO 14067:2012-11: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation.

DIN EN ISO 14044:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

## **Software**

INTERNATIONALES INSTITUT FÜR NACHHALTIGKEITSANALYSEN UND –STRATEGIEN GMBH (INAAS) (2012): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.81.

## **Zeitschriftenaufsatz**

HIRTH, THOMAS; GEHRMANN, HANS-JOACHIM; SEIFERT, HELMUT; BECKMANN, MICHAEL; GLORIUS, THOMAS: Ersatzbrennstoffe in der Kraftwerkstechnik, in: Chemie Ingenieur Technik. 84. Jg. (2012): H. 7, S. 1085–1098.

NEUGEBAUER, SANDRA; SCHNEIDER, LAURA; EHSSES, ULRIKE; ZEPTER, ANDREA; FINKBEINER, MATTHIAS: Carbon Footprint: Treibhausgasemissionen bilanzieren, in: Umwelt Magazin - Das Entscheider-Magazin für Technik und Management. 42 Jg. (2012): H. 4/5, S. 68–71.

VETTER, MICHAEL: Nachhaltigkeit durch Recycling, in: Umwelt Magazin - Das Entscheider-Magazin für Technik und Management. 43. Jg. (2013): H. 4/5, S. 3.

## Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere, die beiliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet zu haben.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Berlin, den

.....

Jessica Schulz