

Diplomarbeit

CO₂-Bilanz von Distributionszentren

von

Alexander Weiss

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Technische Logistik

Beurteiler: Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Hafner

Graz, März 2014

Deutsche Fassung:

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit den Grundlagen für die Bilanzierung und Bewertung der Treibhausgasemissionen von Distributionszentren, um deren CO₂-Bilanz in Bezug auf die Umsetzung der Logistikleistung miteinander vergleichbar zu machen.

Nach einer allgemeinen Einführung in die Thematik erfolgt die Vorstellung der aktuellen Rahmenbedingungen für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen. Im Zuge dessen wird eine allgemeine Vorgehensweise für die Erstellung einer CO₂-Bilanz für Unternehmen, anhand der bestehenden Normen und Standards, ausgearbeitet und bestehende Methoden zur quantitativen Bestimmung der Treibhausgasemissionen werden erläutert.

Danach erfolgt eine Einarbeitung in typische Distributionszentren und deren für eine CO₂-Bilanz relevanten Aufgaben und Systeme. Anhand der zuvor ausgearbeiteten Vorgehensweise werden die notwendigen Schritte zur Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks eines Distributionszentrums dargestellt und es werden geeignete Kennzahlen für die Vergleichbarkeit verschiedener Distributionszentren gefunden. Abschließend erfolgt die Vorstellung verschiedener Ansätze zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, um die CO₂-Bilanz von Distributionszentren zu verbessern.

Abstract

This master thesis deals with the basis for accounting and evaluating the emissions of greenhouse gas of distribution centers in order to compare their carbon footprint regarding their logistic performance.

Following a general introduction into this topic, current frameworks for accounting emissions of greenhouse gas are pointed out. Based on the existing standards, a general procedure for creating a company's carbon footprint is developed and current methods of determining the amount of greenhouse gas emissions are presented.

Furthermore, typical distribution centers and their tasks and systems concerning the carbon footprint are analyzed. Using the procedure illustrated before, all necessary steps for assessing the carbon footprint of distribution centers are described and appropriate indicators for the comparison of different distribution centers are introduced. Finally different approaches regarding the reduction of greenhouse gas emissions are identified in order to improve the distribution center's carbon footprint.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Einführung in die CO ₂ -Bilanz	4
2.1	Treibhausgase und ihre Auswirkungen auf das Klima	4
2.2	Wichtige anthropogene Treibhausgase.....	6
2.3	Klimawirksamkeit einzelner Treibhausgase.....	9
2.3.1	Der Strahlungsantrieb	9
2.3.2	Das Treibhauspotential.....	10
2.3.3	Die CO ₂ -Äquivalente Emission	12
2.4	Der CO ₂ -Fußabdruck – die CO ₂ -Bilanz.....	13
2.4.1	Definition	14
2.4.2	Sichtweisen des CO ₂ -Fußabdrucks	16
2.4.2.1	Der Corporate Carbon Footprint.....	16
2.4.2.2	Der Product Carbon Footprint.....	18
2.4.2.3	Der Transport Carbon Footprint.....	20
2.5	Die CO ₂ -Bilanz im betrieblichen Umweltmanagement	22
2.5.1	Carbon Accounting	23
2.5.2	Carbon Disclosure	26
2.5.3	Klimakompensation und der Begriff CO ₂ -neutral	27
3	Die Erstellung einer CO ₂ -Bilanz	29
3.1	Standards und Normen für die Erstellung einer CO ₂ -Bilanz.....	29
3.1.1	Standards und Normen für den Corporate Carbon Footprint.....	30
3.1.2	Standards und Normen für den Product Carbon Footprint	33
3.1.3	Standards und Normen für den Transport Carbon Footprint.....	34
3.1.4	Vergleich der aktuellen Standards und Normen	35
3.2	Vorgehensweise zur Erstellung eines Corporate Carbon Footprint.....	36
3.3	Methoden zur quantitativen Bestimmung der THG-Emissionen	43
3.4	Emissionsfaktoren – Quellen und Bedeutung.....	47
4	Das Distributionszentrum aus der Sicht des CO ₂ -Fußabdrucks	51
4.1	Aufgaben von Distributionszentren	51

4.2	Aufbau von Distributionszentren.....	53
4.2.1	Logistikimmobilie	54
4.2.2	Intralogistik	56
5	Die Erstellung einer CO ₂ -Bilanz für ein Distributionszentrum	60
5.1	Festlegen der Organisationsgrenzen und der operativen Grenzen	60
5.2	Quantitative Bestimmung der Treibhausgasemissionen.....	63
5.2.1	Berechnung der Scope 1 THG-Emissionen	67
5.2.2	Berechnung der Scope 2 THG-Emissionen	68
5.2.3	Berechnung der Scope 3 THG-Emissionen	69
5.3	Erstellung der Treibhausgasbilanz.....	70
5.4	Kennzahlen für die CO ₂ -Bilanz.....	71
5.5	Ansätze zur Verbesserung der CO ₂ -Bilanz.....	74
6	Zusammenfassung	78
	Literaturverzeichnis	79
	Abbildungsverzeichnis	92
	Tabellenverzeichnis	94
	Abkürzungsverzeichnis.....	95

1 Einleitung

Der Klimawandel und die öffentliche Diskussion darüber zwingt Unternehmen sich mit der Umweltfreundlichkeit ihres Standortes, ihres Produkts oder ihrer Dienstleistung auseinanderzusetzen. Die CO₂-Bilanz als Maß für die Klimafreundlichkeit spielt dabei eine entscheidende Rolle. Für Kunden, Geschäftspartner, Investoren oder die Öffentlichkeit ist das Thema Nachhaltigkeit zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor geworden. (vgl. [SCH10a])

Die Betrachtung der CO₂-Emissionen von Distributionszentren und die daraus resultierenden Maßnahmen zu deren Reduktion dienen nicht nur der Umwelt und den globalen Klimaschutzzielen, sondern sie lohnen sich langfristig gesehen auch finanziell für Unternehmen (vgl. [TBS09]). Beispielsweise werden durch die Verwendung von erneuerbaren Energien nicht nur weniger Treibhausgase ausgestoßen, auch das finanzielle Risiko den schwankenden Rohölpreisen ausgeliefert zu sein wird dadurch verringert (vgl. [WOR09]). Um Einsparungen bei den CO₂- und Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) erzielen zu können, müssen diese zuerst einmal erfasst und ihre Klimaschädlichkeit bewertet werden. So kann der Einsatz von CO₂ als Kältemittel helfen die CO₂-Bilanz eines Unternehmens zu verbessern, indem es noch schädlichere Treibhausgase (z.B. Fluorkohlenwasserstoffe, FKW) ersetzt (vgl. [BGE+10]). Die Bezeichnung CO₂ gilt stellvertretend für viele Treibhausgase, die an der CO₂-Bilanz teilnehmen. Die in dieser Diplomarbeit synonym verwendeten Begriffe CO₂-Bilanz, CO₂-Fußabdruck und carbon footprint sollen daher für alle THG-Emissionen gelten.

Die Gründe, warum ein Unternehmen eine CO₂-Bilanz erstellen sollte, sind vielfältig ([WW04], [SCH10b], [CSD+11]):

- Teilnahme an freiwilligen Treibhausgasprogrammen
- Freiwillige oder verpflichtende Teilnahme am Emissionsrechtehandel
- Öffentliche Berichterstattung z.B. in Nachhaltigkeitsberichten
- Identifikation von Treibhausgas-Reduktionsmöglichkeiten
- Anerkennung für frühe freiwillige Maßnahmen
- Identifikation klimaschädlicher Teilprozesse
- CO₂-Kennzeichnungen von Produkten
- Staatliche Förderungen
- Identifikation von Kosteneinsparungspotentialen
- Verschärfte Umweltgesetzgebungen und CO₂-Besteuerungen
- Ableitung einer Klimaschutzstrategie, Klimaneutralität

- Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und Kundendruck
- Steigendes Bewusstsein der Konsumenten

Ein Distributionszentrum kann nicht nur als ein Teil der Unternehmenslogistik, sondern auch als ein Teil der Supply Chain angesehen werden. Insbesondere bei sogenannten Klimabels oder CO₂-Labels auf Produkten werden die Treibhausgasemissionen der gesamten Supply Chain sichtbar. Um das Produkt möglichst klimaneutral an den Kunden zu bringen, bedarf es Anstrengungen aller Akteure dieser Supply Chain. Jeder kann dazu beitragen die THG-Emissionen zu verringern, sei es durch Effizienzsteigerungen oder neue Technologien. Dazu gehören neben umweltfreundlichen Antrieben, verbesserten Aerodynamiken auch nachhaltige Gebäude. Neben der Distribution spielen auch die Beschaffung, die Produktion, der Einzelhandel und die Wiederverwertung eine wesentliche Rolle. Die unten stehende Abbildung 1 zeigt die Einordnung eines Distributionszentrums in die Supply Chain und neun potentielle Möglichkeiten zur Reduzierung der THG-Emissionen innerhalb dieser. ([WOR09])

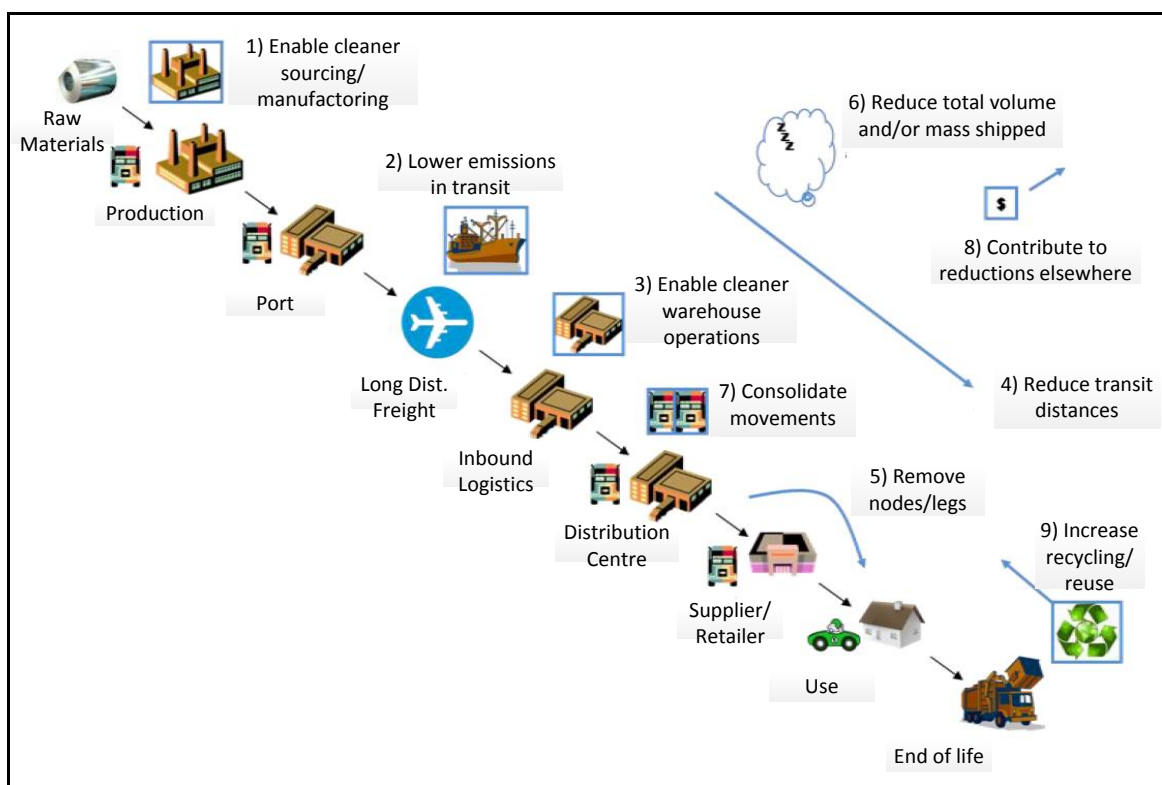


Abbildung 1: Mögliche Ansätze zur Treibhausgas-Minderung in der Supply Chain. In Anlehnung an ([WOR09], S.13)

Die Logistik und der Transport haben einen ungefähren Anteil von 5-15% an den gesamten Lebenszyklusemissionen eines Produktes. Im Vergleich zu anderen Bereichen der Supply Chain ist bei Logistikgebäuden die Realisierbarkeit von Einsparungen besonders hoch. Das größte Potential

besteht in der Modernisierung bestehender Anlagen. Laut Schätzungen des World Economic Forum können insgesamt ca. 371 Megatonnen CO₂e-Emissionen Logistikgebäuden zugeordnet werden. Dies entspricht ungefähr 13% des gesamten Logistik- und Transportsektors. Obwohl der Straßentransport den größten Anteil an den Gesamtemissionen hat (siehe Abbildung 2), verursacht die Luftfracht bezogen auf das Frachtgewicht und den geflogenen Kilometern wesentlich mehr THG-Emissionen. Zu den effizientesten Transportmethoden zählen der Schienengüterverkehr und die Seefracht. ([WOR09])

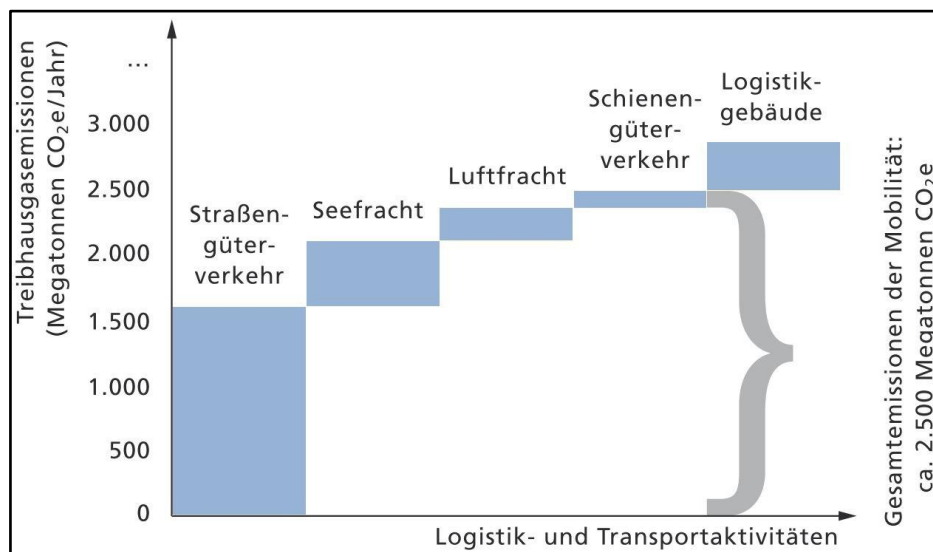


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen von Logistikaktivitäten ([DEU10], S.34; [WOR09], S.8)

Rund um das Thema Ökologie und Treibhausgase entstand im Zusammenhang mit der Logistik der Begriff „Grüne Logistik“ (engl. green logistics). Die Grüne Logistik versucht die klassischen Logistikaufgaben wie die Planung, Steuerung, Koordination, Durchführung und Kontrolle der Güter- und Informationsflüsse unter Berücksichtigung der natürlichen Ressourcen und der Umwelt zu erfüllen. So entstehen neben den traditionellen Logistikkennzahlen (Durchlaufzeiten, Termintreue,...) auch ökologische Kennzahlen wie zum Beispiel der CO₂-Fußabdruck. Somit kann die bekannte 7-R-Regel der Logistik um den richtigen ökologischen Fußabdruck erweitert werden. ([TBS09])

Für die Grüne Logistik sind drei wesentliche Bereiche in Hinblick auf die Reduktion der THG-Emissionen von Bedeutung, der Transport, die Intralogistik und die Logistikimmobilie (vgl. [CSD+11]). Während der Transport auf die Beförderung von Gütern außerhalb von Gebäuden abzielt, können die beiden letztgenannten Bereiche eindeutig dem Distributionszentrum zugeordnet werden. Um die THG-Emissionen eines Distributionszentrums reduzieren zu können, müssen zuerst die darin befindlichen Treibhausgasquellen identifiziert und bilanziert werden.

2 Einführung in die CO₂-Bilanz

Einleitend wird in diesem Kapitel die Frage geklärt, welche Auswirkungen Treibhausgase und dessen wichtigster Vertreter Kohlenstoffdioxid (CO₂) auf das Erdklima haben, und welchen Einfluss der Mensch dabei hat. Es werden die wichtigsten anthropogenen (von Menschen verursachten) Treibhausgase vorgestellt, die auch in CO₂-Bilanzen vorgefunden werden. Mit der Einführung des Strahlungsantriebes und dem daraus abgeleiteten Treibhauspotential kann die Klimawirksamkeit der unterschiedlichen Treibhausgase miteinander verglichen werden. Dadurch ist es auch möglich verschiedene Treibhausgase gemeinsam zu bilanzieren und mittels einer gemeinsamen Kennzahl, dem CO₂-Äquivalent, zu beschreiben.

Der Begriff CO₂-Bilanz und dessen Synonyme sind nicht eindeutig definiert. Daher erfolgt im zweiten Teil dieses Kapitels eine Erklärung, wer oder was mithilfe eines CO₂-Fußabdrucks bilanziert werden kann, und welche Sichtweisen sich dabei ergeben können. Außerdem wird eine mögliche Definition vorgestellt, die auch für die vorliegende Diplomarbeit gelten soll.

Im letzten Teil dieses Kapitels wird gezeigt, wo die CO₂-Bilanz im betrieblichen Umweltmanagement eines Unternehmens eingeordnet werden kann. Dazu werden gängige Umweltmanagementsysteme beleuchtet und ihr Bezug zur CO₂-Bilanz dargestellt. Darüber hinaus werden Möglichkeiten für die Berichterstattung und für den Ausgleich der Treibhausgasemissionen vorgestellt.

2.1 Treibhausgase und ihre Auswirkungen auf das Klima

Schon 1896 erkannte Svante Arrhenius, ein schwedischer Physiker und Chemiker, dass der zunehmende CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zu einem Temperaturanstieg auf der Erde führen wird (vgl. [S96]). Mittlerweile herrscht bei der überwiegenden Mehrheit der Klimaforscher Einigkeit darüber, dass die globale Erwärmung durch den Menschen und sein Handeln verursacht wird (vgl. [APH+10]). Laut dem vom Weltklimarat (IPCC¹) im Jahr 2013 veröffentlichten Teilbericht des fünften Sachstandberichts ist der direkte Zusammenhang zwischen den anthropogenen Treibhausgasen und dem beobachteten Anstieg der Durchschnittstemperatur „sehr wahrscheinlich“

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (dt. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) ist ein internationales Gremium zur Überprüfung des Klimawandels (www.ipcc.ch)

([IPC13]). Wie in der Abbildung 3 ersichtlich stieg die globale Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche seit 1880 um ca. 0,85°C.

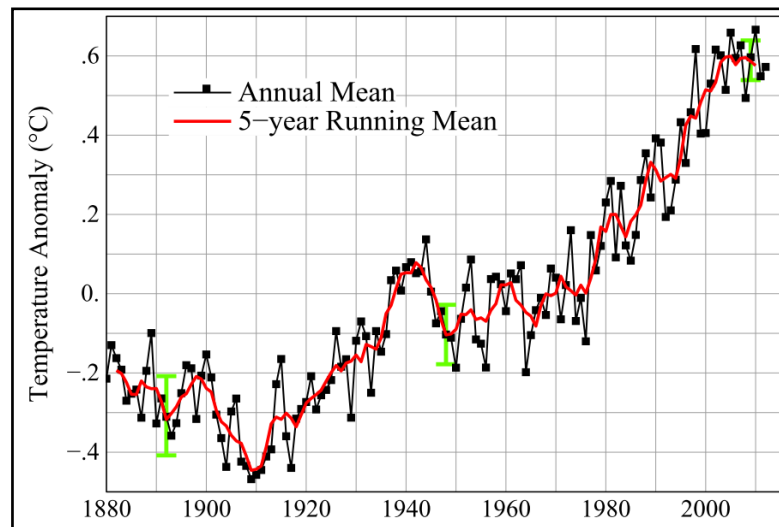


Abbildung 3: Globale Land- und Meerestemperatur ([NAS14])

Als Ursache des Temperaturanstieges gilt der Anstieg der Treibhausgase in der Erdatmosphäre. Diese strahlungsaktiven Gase absorbieren die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und den Wolken abgestrahlte thermische Infrarotstrahlung und emittieren einen beträchtlichen Teil der Energie als thermische Gegenstrahlung wieder zurück zum Erdboden. Dieser Effekt wird als Treibhauseffekt bezeichnet und ist innerhalb gewisser Grenzen lebensnotwendig. Denn ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt, würde die mittlere Oberflächentemperatur der Erde bei etwa -18°C liegen. Durch die von Menschen verursachte Konzentrationserhöhung der Treibhausgase innerhalb der Atmosphäre entsteht ein anthropogener Treibhauseffekt, der den natürlichen Treibhauseffekt verstärkt. Diese Verstärkung führt zu einem Anstieg der mittleren Temperatur auf der Erde. ([RW11])

Die unmittelbaren Auswirkungen des beobachteten mittleren globalen Anstiegs der Luft- und Meerestemperaturen sind der Anstieg des Meeresspiegels, die Versauerung der Ozeane sowie die beobachteten Rückgänge der Schnee- und Eisbedeckung. Experten befürchten, dass es bei einem weiteren Temperaturanstieg zu einer Veränderung der natürlichen Ökosysteme kommt und damit zu nachteiligen Auswirkungen für zahlreiche Organismen. ([IPC08])

Um diesem Trend entgegenzuwirken, wurden auf den bisherigen UN-Klimakonferenzen der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention (UNFCCC²) verschiedene Maßnahmen verabschiedet. Zu den Wichtigsten zählt

² United Nations Framework Convention on Climate Change (dt. Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen)

das im Jahr 1997 verabschiedete Protokoll von Kyoto. Es verpflichtet die teilnehmenden Industrieländer ihre gemeinsamen Treibhausgasemissionen innerhalb des Zeitraumes von 2008 bis 2012 gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 um durchschnittlich 5,2 Prozent zu reduzieren. Auf der 18. UN-Klimakonferenz in Doha 2012 einigten sich die teilnehmenden Staaten darauf, das Kyoto Protokoll bis 2020 zu verlängern.

2.2 Wichtige anthropogene Treibhausgase

Wie in Kapitel 2.1 bereits erläutert, sind Treibhausgase gasförmige Stoffe in der Troposphäre, die den Treibhauseffekt verursachen. Diese können sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs sein. Zu den Haupttreibgasen innerhalb der Erdatmosphäre zählen Wasserdampf (H₂O), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Lachgas (N₂O), Methan (CH₄), Ozon (O₃) und Halogenkohlenwasserstoffe (FCKW, FKW,...). Wasserdampf zählt mit 60% Anteil am Treibhauseffekt zu den wichtigsten Treibhausgasen. Jedoch trägt der Mensch nur geringfügig direkt zu seiner Erhöhung bei, sehr wohl aber indirekt, indem die durch ihn verursachte Erderwärmung zu einer verstärkten Verdunstung und somit zu einer Erhöhung der Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre führt. Ähnlich verhält es sich mit dem Ozon. Auch hier beeinflusst der Mensch die Ozonkonzentration in der Troposphäre nur indirekt, da das Ozon durch eine photochemische Reaktion, unter Einbezug der von menschlichen Aktivitäten verursachten Gase, gebildet wird. [IPC07]

Bereits 1987 verpflichteten sich die Unterzeichnerstaaten des Montreal-Protokolls zu einer Reduktion einiger wichtiger Halogenkohlenwasserstoffe. Anfänglich fielen darunter vorwiegend Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone. Ziel war es jedoch nicht den Treibhauseffekt zu mindern, sondern die Gase zu reduzieren, die zum Abbau der in der Stratosphäre liegenden Ozonschicht beitragen. Auf Folgekonferenzen wurden die unter das Montreal-Protokoll fallenden Gase immer wieder erweitert, wie zum Beispiel um teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKW), und ein stufenweiser Ausstieg aus der Produktion und der Verwendung dieser Gase vereinbart. (vgl. [UNE00])

Als positiver Nebeneffekt konnte damit der steigende Beitrag der FCKWs zum Treibhauseffekt gestoppt werden. Jedoch stieg der Anteil der für den Treibhauseffekt wesentlich schädlicheren fluorierten Treibhausgase (F-Gase), da diese als Ersatz für die verbotenen FCKWs eingesetzt werden. (vgl. [KAP09])

Im Kyoto-Protokoll wurden die wichtigsten durch menschliche Aktivitäten verursachten Treibhausgase festgelegt, zu deren Reduktion sich die teilnehmenden Länder verpflichtet haben (vgl. [UNF08]):

- Kohlenstoffdioxid (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Distickstoffoxid/Lachgas (N₂O)
- Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW; engl. HFC)
- Voll oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW; engl. PFC)
- Schwefelhexafluorid (SF₆)

Diese Treibhausgase finden auch in den meisten CO₂-Bilanzen Berücksichtigung. Zusätzlich wurde auf der Weltklimakonferenz in Doha im Jahr 2012 ein weiteres Gas aufgrund seiner zunehmenden Verbreitung aufgenommen (vgl. [UNF13a]):

- Stickstofftrifluorid (NF₃)

Die ersten drei Gase, Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sind klassische Treibhausgase, die auch auf natürliche Weise vorkommen. Die restlichen werden gezielt durch den Menschen produziert und in verschiedenen Produkten als Kältemittel, Treibmittel, Feuerlöschmittel, Treibgas, etc. eingesetzt. Dabei handelt es sich um die sogenannten fluorierten Treibhausgase (F-Gase), deren Anteil an der Gesamtreibhausgasemission zwar gering ist, die aber aufgrund ihres steigenden industriellen Einsatzes und ihrer hohen Klimawirksamkeit (bis zu 24.000 mal höher als CO₂) zunehmend Beachtung finden. Auch der spezifische Energieverbrauch bei der Herstellung dieser Gase ist erheblich größer, als bei deren Alternativen, wodurch sich indirekt zusätzliche Treibhausgasemissionen ergeben. ([HHK+04], [BGE+10])

Treibhausgas	Mögliche Emissionsquellen
CO ₂	Verbrennung von fossilen Brennstoffen
CH ₄	Leckagen bei Förderung, Transport und Verarbeitung von Erdgas, Landwirtschaft (Viehhaltung), Mülldeponien, Biogaserzeugungsanlagen
N ₂ O	Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngemittel)
H-FKW, FKW	Leckagen beim Einsatz als Treibgas, Kältemittel oder Feuerlöschmittel
SF ₆	Einsatz als Isolationsgas oder Löschgas, Ätzgas in der Halbleiterindustrie
NF ₃	Einsatz als Ätzgas in der Halbleiterindustrie

Tabelle 1: Treibhausgase und mögliche Emissionsquellen (vgl. [BGE+10], [WML13])

Die Tabelle 1 zeigt die Treibhausgase des Kyoto-Protokolls und mögliche Emissionsquellen.

Im Zuge der 2006 erlassenen F-Gas-Verordnung des Europäischen Parlaments zur Stabilisierung der anthropogenen Treibhausgase, sollen die fluorierten Treibhausgase eingedämmt, unterbunden und dadurch reduziert werden. Sie regelt unter anderem das Verbot von F-Gasen in gewissen Einsatzbereichen (Bsp. Feuerlöscher), die Rückgewinnung von F-Gasen, Regelungen zur Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen, Wärmepumpen, etc. sowie die Zertifizierung von Personal und Betrieben. (vgl. [ER06])

In der nachfolgenden Abbildung 4 sieht man den Konzentrationsanstieg der drei wichtigsten direkten Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O), sowie den zeitlichen Verlauf der im Montreal Protokoll geregelten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (CFC-12, CFC-11, HCFC-22), sowie deren Alternative, dem Fluorkohlenwasserstoff HFC-134a.

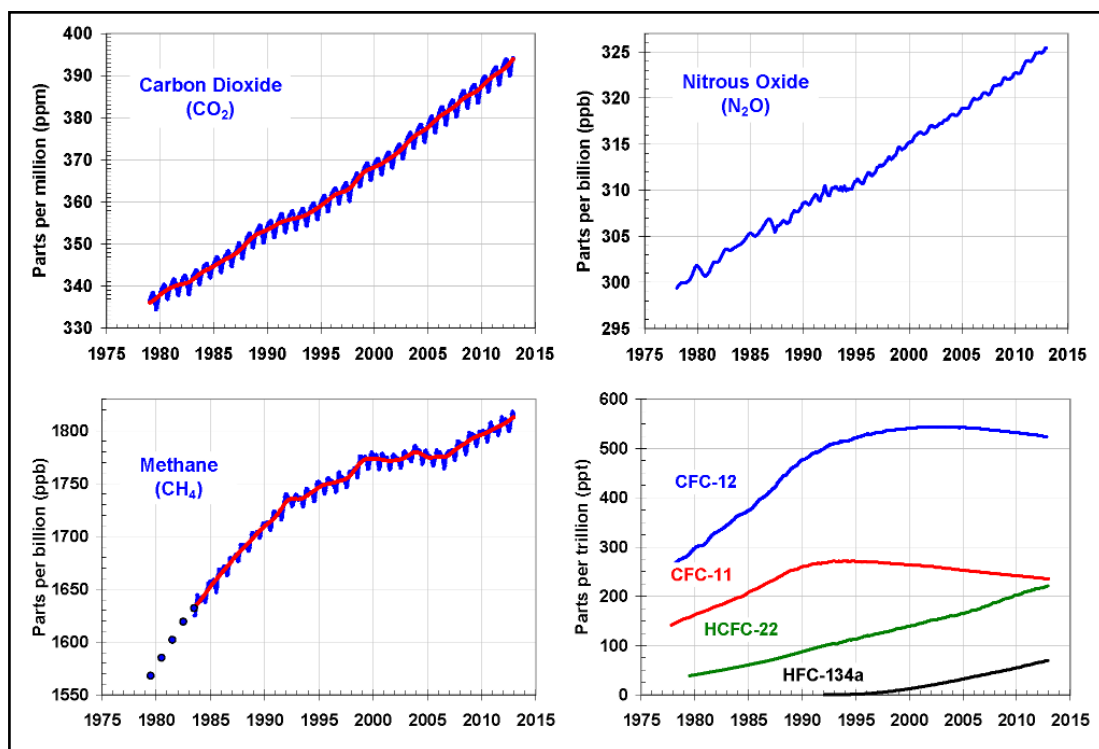


Abbildung 4: Atmosphärische Konzentration wichtiger Treibhausgase ([NOA14])

Neben den oben genannten direkten Treibhausgasen, gibt es noch vier wichtige indirekte Treibhausgase:

- Kohlenstoffmonoxid (CO),
- Stickoxide (NO_x),
- flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC),
- Schwefeldioxid (SO₂).

Diese Treibhausgase tragen nicht direkt zum Treibhauseffekt bei, sondern beeinflussen mittels chemischer Reaktion andere Treibhausgase. So tragen zum Beispiel CO, NO_x und NMVOC in der Gegenwart von Sonnenlicht zur Bildung des Treibhausgases Ozon (O₃) in der Troposphäre bei. Schwefeldioxid Emissionen führen hingegen zur Bildung von Sulfataerosolen, die ebenso eine Rolle bei der Klimaänderung spielen (siehe auch Kapitel 2.3.1). ([EBM+06])

2.3 Klimawirksamkeit einzelner Treibhausgase

Jedes Treibhausgas hat eine bestimmte mittlere Verweilzeit und eine bestimmte mittlere Konzentration in der Atmosphäre. CO₂, CH₄, N₂O und die meisten Halogenkohlenwasserstoffe gehören zu den langlebigen Treibhausgasen (Long-Living Greenhouse Gases, LLGHG), weil sie chemisch stabil sind und daher eine Verweildauer von mehreren Jahren aufweisen. Dies ermöglicht eine gute Durchmischung der Gase in der Atmosphäre wodurch eine aussagekräftige Konzentrationsmessung mit wenigen Messstellen möglich ist. Im Gegensatz dazu stehen die kurzlebigen Treibhausgase wie Aerosole, SO₂, CO und troposphärisches Ozon. Diese sind chemisch reaktiv und haben daher eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität. ([KAP09])

Um trotz der unterschiedlichen Konzentration, Verweildauer und Strahlungseigenschaften die Klimawirksamkeit einzelner Treibhausgase zu beschreiben und miteinander vergleichbar zu machen, hat der Weltklimarat die Kennwerte Strahlungsantrieb (engl. Radiative Forcing, RF) und Treibhauspotential (engl. Global Warming Potential, GWP) eingeführt.

2.3.1 Der Strahlungsantrieb

Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für den Einfluss eines sich ändernden externen Faktors (z.B. Treibhausgase, Sonnenstrahlung) auf den globalen Klimawandel und wird in Watt/m² angegeben. Diese Strahlungsflussdichte beschreibt die Änderung der Energiebilanz der Erde aufgrund der Nettoeinstrahlung in der Tropopause und kommt zum Beispiel durch eine veränderte Konzentration der Treibhausgase zustande. Veränderungen in der Konzentration finden dann statt, wenn die Emission eines Treibhausgases größer ist als ihr Beseitigungsprozess. Aufgrund der unterschiedlichen Konzentration der Gase in der Atmosphäre und der unterschiedlichen Strahlungswirkung ergeben sich somit für die verschiedenen Treibhausgase unterschiedliche Strahlungsantriebe. So führen positive Strahlungsantriebe zu einer Erwärmung der Erde und negative Strahlungsantriebe zu einer Abkühlung. ([KAP09])

Die Abbildung 5 zeigt den global gemittelten Strahlungsantrieb (SA) im Jahr 2005 im Vergleich zum vom IPCC festgelegten Ausgangsjahr 1750.

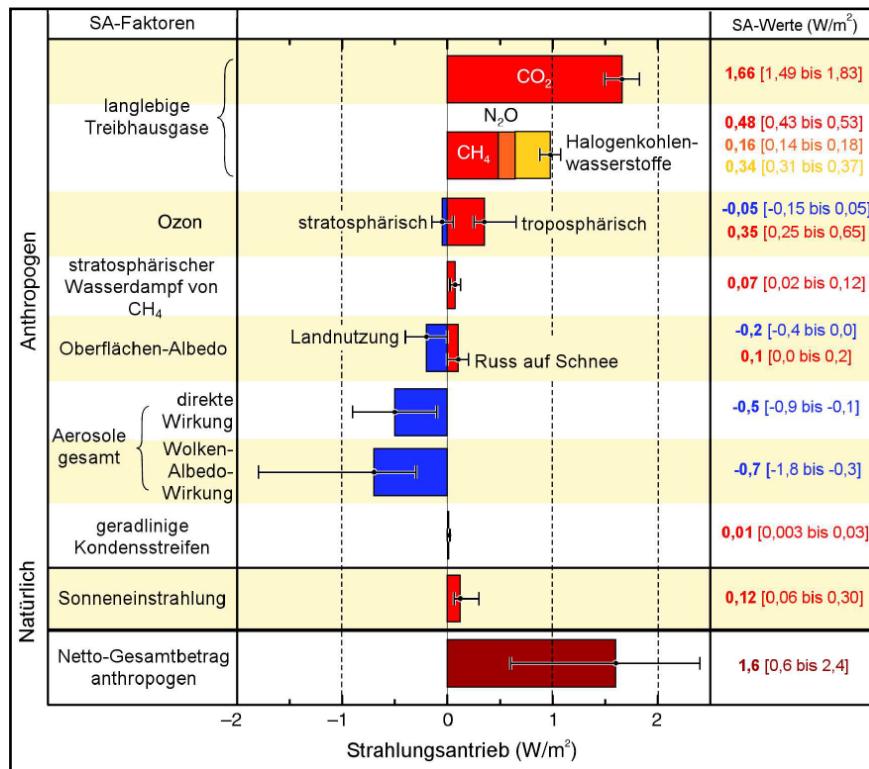


Abbildung 5: Komponenten des Strahlungsantriebes. In Anlehnung an ([IPC07], S.4)

Wie in Abbildung 5 ersichtlich besitzen Aerosole einen negativen Strahlungsantrieb und wirken daher kühlend auf das Erdklima. Dieser Effekt beruht darauf, dass einige Aerosole die Sonnenstrahlen zurück in den Weltraum reflektieren und zudem die Strahlungseigenschaften der Wolken verändern. ([KAP09])

2.3.2 Das Treibhauspotential

Um die Klimawirksamkeit der Treibhausgase trotz ihrer unterschiedlichen Lebensdauer miteinander vergleichbar zu machen, wurde das Global Warming Potential definiert. Das GWP umfasst die massenspezifische Summe aller Strahlungsantrieb-Beiträge eines Gases in Bezug auf CO₂ in einem gewählten Zeitraum ([KAP09]). Dieser Kennwert kombiniert somit die unterschiedlichen Strahlungseigenschaften und die unterschiedliche Verweildauer der Treibhausgase. Die nachfolgende Gleichung soll die Berechnung des GWP eines Stoffes verdeutlichen ([IPC07]):

$$GWP_i \equiv \frac{\int_0^{TH} RF_i(t) dt}{\int_0^{TH} RF_r(t) dt}$$

GWP_i...Global Warming Potential des Stoffes i
RF_i...Radiative Forcing des Stoffes i
RF_r...Radiative Forcing von CO₂
TH...Time Horizon (Zeithorizont)

Somit kann der Beitrag der einzelnen Gase zur Erderwärmung für unterschiedliche Zeithorizonte in die Zukunft extrapoliert werden. In der Regel wird das GWP eines Gases über einem Zeitraum von 100 Jahren betrachtet. ([KAP09])

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt eine Auswahl einiger Treibhausgase und ihr Global Warming Potential in Relation zu CO₂ für einem Zeithorizont von 20 bzw. 100 Jahren.

Bezeichnung	Summenformel	Lebensdauer [Jahre]	GWP bezogen auf 20 Jahre	GWP bezogen auf 100 Jahre
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	– ³	1	1
Methan	CH ₄	12,4	84	28
Lachgas	N ₂ O	121	264	265
Vollständig fluorierte Verbindungen				
Schwefelhexafluorid	SF ₆	3200	17500	23.500
Stickstofftrifluorid	NF ₃	500	12800	16100
Tetrafluormethan	CF ₄	50000	4880	6630
Hexafluorethan	C ₂ F ₆	10000	8210	11100
Oktafluorpropan	C ₃ F ₈	2600	6640	8900
Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW)				
Trifluormethan	CHF ₃	222	10800	12400
Difluormethan	CH ₂ F ₂	5,2	2430	677
Fluormethan	CH ₃ F	2,8	427	116
Pentafluorethan	CHF ₂ CF ₃	28,2	6090	3170
1,1,1,2-Tetrafluorethan	CH ₂ FCF ₃	13,4	3710	1300
Fluorchlorkohlenwasserstoffe⁴ (FCKW)				
CFC-11	CCl ₃ F	45	6900	4660
CFC-12	CCl ₂ F	100	10800	10200
CFC-13	CClF ₃	640	10900	13900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	6490	5820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	190	7710	8590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1020	1020	7670
Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe⁴ (H-FCKW)				
HCFC-21	CHCl ₂ F	1,7	543	148
HCFC-22	CHClF ₂	11,9	5280	1760
HCFC-122	CHCl ₂ CF ₂ Cl	1	218	59
HCFC-122a	CHFClCFCl ₂	3,4	945	258
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1,3	292	79
HCFC-123a	CHClCF ₂ Cl	4	1350	370
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17,2	5020	1980

Tabelle 2: GWP wichtiger Treibhausgase nach ([IPC13], Tabelle 8.A.1)

³ Ein einzelner Zahlenwert kann nicht angegeben werden.

⁴ Werden im Montreal Protokoll berücksichtigt.

2.3.3 Die CO₂-Äquivalente Emission

Um bei einer Treibhausgasbilanz von Produkten, Aktivitäten, Unternehmen oder ganzen Staaten einen einzelnen, aussagekräftigen Wert zu bekommen, bezieht man alle emittierten Treibhausgase auf das Bezugsgas Kohlenstoffdioxid. Diese CO₂-Äquivalenten Emissionen lassen sich mit dem im vorherigen Kapitel erläuterten Treibhauspotential recht einfach ermitteln, indem die Emission eines Treibhausgases mit seinem GWP-Wert multipliziert wird. So hat beispielsweise Lachgas einen GWP-Wert von 265 (siehe Tabelle 2). Dies bedeutet, dass ein Kilogramm Lachgas im Zeitraum von 100 Jahren 265-mal so viel zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm Kohlenstoffdioxid. Somit erhält man für 1 kg Lachgas einen äquivalenten Wert von 265 kg CO₂-Äq (engl. CO₂e/CO₂eq). Auf diese Weise kann für jedes Treibhausgas, bei bekannter Emissionsmenge, ein äquivalenter Wert berechnet werden. (vgl. [IPC08])

$$CO_2e [kg] = CO_2 [kg] + 28 * CH_4 [kg] + 265 * N_2O [kg] + 16100 * NF_3 [kg]$$

Die obige Gleichung zeigt beispielhaft, wie der CO₂-Äquivalente Wert für mehrere Treibhausgase berechnet wird. Die erhaltenen Werte können miteinander verglichen oder gemeinsam bilanziert werden.

Die Abbildung 6 zeigt die Treibhausgasemissionen der 27 EU-Länder im Jahr 2011. Die Daten wurden mittels CO₂-Äquivalenten von den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten erhoben und von der Europäischen Umweltagentur zusammengefasst und veröffentlicht. Emissionen aus der Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) wurden dabei nicht berücksichtigt.

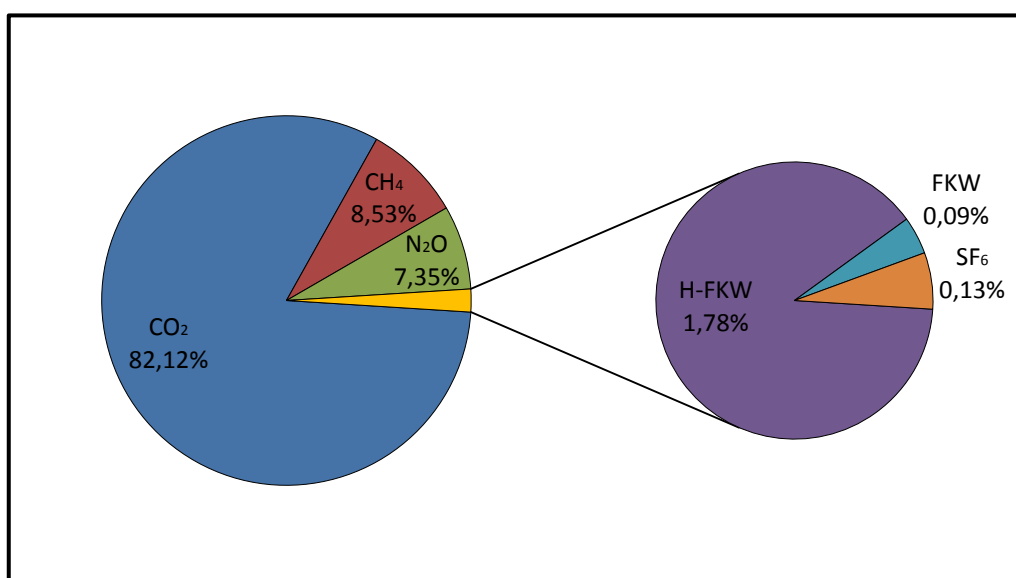


Abbildung 6: Treibhausgasemissionen der EU-27 im Jahr 2011. Eigene Darstellung in Anlehnung an ([EEA13], S.12)

Allgemein lässt sich über die Entwicklung der Treibhausgasemissionen innerhalb der EU-27 sagen, dass die CO₂-, CH₄-, N₂O-Emissionen von 1990 bis 2011 um fast 20% abnahmen, während die Fluorkohlenwasserstoff-Emissionen von 28 Millionen Tonnen CO₂-Äq auf 81 Millionen Tonnen CO₂-Äq anstiegen. ([EEA13])

Ein ähnliches Bild ergibt sich im internationalen Vergleich. Bei der Gesamtbilanz der 43 Annex I Staaten, die sich im Rahmen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen zur Treibhausgas-Inventur verpflichtet haben, zeigen sich ebenso verringerte CO₂-, CH₄-, N₂O-Emissionen von 1990 bis 2011, bei gleichzeitigem Anstieg der F-Gase Global gesehen nahmen jedoch die Kohlenstoffdioxidemissionen in den letzten 20 Jahren zu. ([OJM+13], [UNF13b])

Das steigende Bewusstsein in der Politik und in der Bevölkerung über die Auswirkungen von Treibhausgasen auf das Klima und die Einführung von verpflichtenden oder freiwilligen Maßnahmen zur Messung und Reduktion ebendieser, machten es notwendig, sich mit der systematischen Erfassung und Bilanzierung von Treibhausgasen zu befassen.

2.4 Der CO₂-Fußabdruck – die CO₂-Bilanz

In der deutschsprachigen Literatur findet man neben dem Begriff „CO₂-Fußabdruck“, auch die im englischsprachigen Raum verwendete Bezeichnung „carbon footprint“. Auch die Mischung daraus, der „CO₂-Footprint“ ist gelegentlich anzutreffen. Angelehnt an die Tatsache, dass durch die Analyse der Energie- und Stoffströme die klimaschädlichen Emissionen bilanziert werden sollen, sind in der Literatur und im Sprachgebrauch auch häufig die Begriffe „CO₂-Bilanz“ und „Treibhausgasbilanz“ anzutreffen. Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt exemplarisch, wie ein CO₂-Fußabdruck symbolisch dargestellt werden kann.



Abbildung 7: Symbolische Darstellung des CO₂-Fußabdrucks (Eigene Darstellung)

Nicht zu verwechseln ist der CO₂-Fußabdruck mit seinem Vorreiter, dem Ökologischen Fußabdruck (engl. ecological footprint). Dieser gibt an, welche Fläche auf der Erde notwendig ist, um einen gegebenen Lebensstil dauerhaft aufrecht zu erhalten. ([WR97])

2.4.1 Definition

Der Begriff „CO₂-Fußabdruck“ und sein englisches Pendant werden in der Literatur unterschiedlich definiert, je nachdem mit welcher Sichtweise an die Thematik herangegangen wird und zu welchem Zweck ein solcher Fußabdruck erstellt werden soll.

Bei der Fragestellung, welche Stoffe genau bilanziert werden, finden sich auch schon die ersten Unterschiede. So variiert es von Definition zu Definition, ob bei einem CO₂-Fußabdruck nur die Kohlenstoffdioxidemissionen betrachtet werden, oder ob auch noch andere Treibhausgase Berücksichtigung finden ([WM07]).

Für Letzteres ist der Begriff Treibhausgasbilanz jedenfalls eindeutiger, auch wenn mit dem Begriff keine Aussage darüber getroffen wird, welche Treibhausgase gemeint sind. In der Praxis werden bei der Erstellung eines Carbon Footprint in der Regel mehrere Treibhausgase berücksichtigt, da dies auch in den gängigen Bilanzierungsmethodiken (siehe Kapitel 3) so vorgesehen ist. Dabei wird die Bezeichnung CO₂ und dessen Ableitungen gelegentlich als Synonym für alle Treibhausgase verwendet, im Sinne des im Kapitel 2.3.3 vorgestellten CO₂-Äquivalents. Zur Verdeutlichung, dass nicht nur Kohlenstoffdioxid betrachtet wird, können auch die Begriffe CO₂e-Fußabdruck (CO₂e-footprint) oder CO₂e-Bilanz verwendet werden.

Eine weitere Unschärfe im Begriff „CO₂-Bilanz“ und seinen Synonymen liegt darin, dass keine generelle Aussage darüber gemacht werden kann, wessen Emissionen eigentlich gemessen werden. So findet man den Ausdruck häufig im Zusammenhang mit CO₂-Rechnern, die mit wenigen Mausklicks die persönliche CO₂-Bilanz von Personen oder Haushalten erstellen. Für Staaten, die sich verpflichtet haben ihre Treibhausgase zu verringern, ist die Bilanzierung der Emissionen einer ganzen Nation von Bedeutung. Diese Bilanzen findet man im Internet unter dem Begriff „Greenhouse Gas Inventory“. Für den Handel ist der „CO₂-Fußabdruck“ von Produkten von Interesse. Die auf den Produkten angebrachten Klima- oder CO₂-Labels sollen den Kunden eine Auskunft über die Umweltfreundlichkeit der Produkte liefern und so eine bewusste Kaufentscheidung ermöglichen. Daran knüpfen auch die Industrie und insbesondere die Logistik an, die ihrerseits Interesse daran haben, die eigenen CO₂-Emissionen zu bilanzieren, zu bewerten und in weiterer Folge zu senken.

Diese wollen einerseits unternehmensinterne Umweltstrategien umsetzen und andererseits den CO₂-Beitrag für das betreffende Produkt möglichst gering halten.

Da es wie beschrieben unterschiedlichen Möglichkeiten gibt, für wen oder was ein CO₂-Fußabdruck erstellt werden kann, bedarf es unterschiedlicher Maßeinheiten. Während Staaten ihre Bilanzen jährlich vorlegen müssen und deswegen in Tonnen pro Jahr rechnen, ist es bei Produkten zielführender, die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) auf ihre Lebensdauer zu beziehen. Da dieser Zeitraum jedoch variiert, wird als Einheit meist Gramm pro Produkt verwendet. Anders verhält es sich bei motorisierten Teilnehmern im Straßenverkehr, bei denen es üblich ist die CO₂-Emissionen auf die Wegstrecke zu beziehen, also in Gramm pro Kilometer. In der Industrie und in der Logistik legt man die Einheit des CO₂-Fußabdrucks auf seinen jeweiligen Verwendungszweck hin fest. So bedarf es beispielsweise für den innerbetrieblichen Transport eines einzelnen Produktes andere Einheiten als für die Bilanzierung eines ganzen Unternehmens.

Eine bekannte Definition für den „CO₂-Fußabdruck“ haben *Widman* und *Minx* in ihrem Forschungsbericht „A Definition of Carbon Footprint“ geliefert:

“The carbon footprint is a measure of the exclusive total amount of carbon dioxide emissions that is directly and indirectly caused by an activity or is accumulated over the life stages of a product.” ([WM07], S. 4)

Sie empfehlen als einfache und klare Lösung nur CO₂ zu berücksichtigen und schlagen vor, für einen umfassenden Treibhausgasindikator einen anderen Namen zu verwenden ([WM07]).

Eine weitere recht umfassende Definition, welche auch für die vorliegende Diplomarbeit gelten soll, liefert das Britische Unternehmen Carbon Trust:

“A carbon footprint is the total greenhouse gas (GHG) emissions caused directly and indirectly by an individual, organisation, event or product, and is expressed as a carbon dioxide equivalent (CO₂e).” ([THE12], S. 2)

Diese Definition geht über eine reine Kohlenstoffdioxidbetrachtung hinaus. Beide Definitionen haben jedoch gemeinsam, dass sowohl die direkten als auch die indirekten Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden.

Direkte Treibhausgasemissionen sind Emissionen aus Quellen, die im Besitz oder unter der Kontrolle des betrachteten Unternehmens stehen. Indirekte Treibhausgasemissionen hingegen sind Emissionen, die ein Resultat der unternehmerischen Aktivitäten des betrachteten Unternehmens sind, aber

deren Quelle im Besitz oder unter der Kontrolle eines anderen Unternehmens stehen. ([WW04])

Nicht zu verwechseln sind die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen von Unternehmen mit den direkten und indirekten Treibhausgasen des Kyoto Protokolls (siehe Kapitel 2.2).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass allein der Begriff „Carbon Footprint“ und dessen Synonyme nichts über die verwendete Methodik, die inkludierten Stoffe oder die verwendete Einheit aussagt. Es handelt sich nur um einen Überbegriff, mit dessen Hilfe die Auswirkungen des menschlichen Handelns auf die Umwelt sichtbar gemacht werden sollen.

2.4.2 Sichtweisen des CO₂-Fußabdrucks

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, kann der CO₂-Fußabdruck für viele Bereiche erstellt werden. Die CO₂-Bilanz eignet sich beispielsweise für Personen, für Unternehmen, für Produkte, aber auch für Transporte. Daher hat es sich eingebürgert je nach Sichtweise vor dem Terminus „Carbon Footprint“ ein weiteres Wort voranzustellen, um auf den ersten Blick erkennen zu können, für welchen Bereich ein Fußabdruck erstellt wird. So steht der „Corporate Carbon Footprint“ (CCF) für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen eines ganzen Unternehmens. Analog verhält es sich mit dem „Product Carbon Footprint“ (PCF), dem eine produktbezogene Betrachtung zu Grunde liegt, und dem „Transport Carbon Footprint“ (TCF), bei dem Transporte im Fokus der Aufmerksamkeit stehen. Egal welcher Carbon Footprint berechnet werden soll, das Ergebnis wird immer davon abhängig sein, welche Bilanzierungsmethodik, welche Datenquellen und welche Systemgrenzen verwendet wurden.

2.4.2.1 Der Corporate Carbon Footprint

Der Corporate Carbon Footprint umfasst die Treibhausgasbilanz eines ganzen Unternehmens oder eines Unternehmensstandortes. Die Ergebnisse des CCF können sowohl extern als auch intern genutzt werden. So kann der CCF als eigener Bericht oder als Teil des Nachhaltigkeitsberichts veröffentlicht werden. Um die Glaubwürdigkeit des erstellten CCF für die öffentliche Kommunikation zu erhöhen, ist es sinnvoll, diesen durch einen externen Gutachter verifizieren zu lassen. Intern kann der CCF zur Identifizierung von Einsparungspotentialen bei den Kosten oder Emissionen verwendet werden, aber auch für das Benchmarking zwischen verschiedenen Unternehmensstandorten. ([MWP10])

Der CCF beruht hauptsächlich auf Energie- und Stoffstromanalysen über einen festgelegten Zeitraum. Dazu müssen zunächst die Systemgrenzen gezogen und

die in Frage kommenden Treibhausgase ermittelt werden. Bei der Frage welche Aktivitäten in Betracht gezogen werden und welche nicht, treten meist die ersten Unterschiede auf. Bei den direkten Treibhausgasemissionen ist die Sache eindeutiger, doch bei den indirekten ist es oftmals Sache Betrachters, welche Treibhausgas verursachenden Aktivitäten berücksichtigt werden.

Zu den direkten Treibhausgasemissionen eines Unternehmens zählen zum Beispiel die Emissionen die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und der Produktion von Chemikalien entstehen. Indirekte Treibhausgasemissionen können solche sein, die durch zugekaufte Energien wie Elektrizität, Wärme oder Dampf sein verursacht werden. Der über die Systemgrenzen fließende Verbrauch lässt sich heutzutage recht einfach ermitteln und in Emissionen umrechnen. Schwieriger wird es bei Betrachtungen, die die Treibhausgase der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette miteinbeziehen. Dazu zählen unter anderem der Transport durch externe Dienstleister und die Herstellung von zugekauften Produkten. Aber auch bei an externe Dienstleister ausgelagerten Aktivitäten, Geschäftsreisen und geleasteten Gebäuden oder Transportmitteln stellt sich die Frage, wie und in welchem Ausmaß diese Vorgänge in einer Treibhausgasbilanz Berücksichtigung finden sollen. Anhand dieser Beispiele sieht man schon, dass die Möglichkeiten Einsparungspotentiale zu finden vielfältig sind, aber auch, dass die Vergleichbarkeit von Unternehmen stark von der Bilanzierungsmethodik abhängt. Je nachdem, welche Aktivitäten in welcher Weise berücksichtigt werden, fällt die CO₂-Bilanz besser oder schlechter aus.

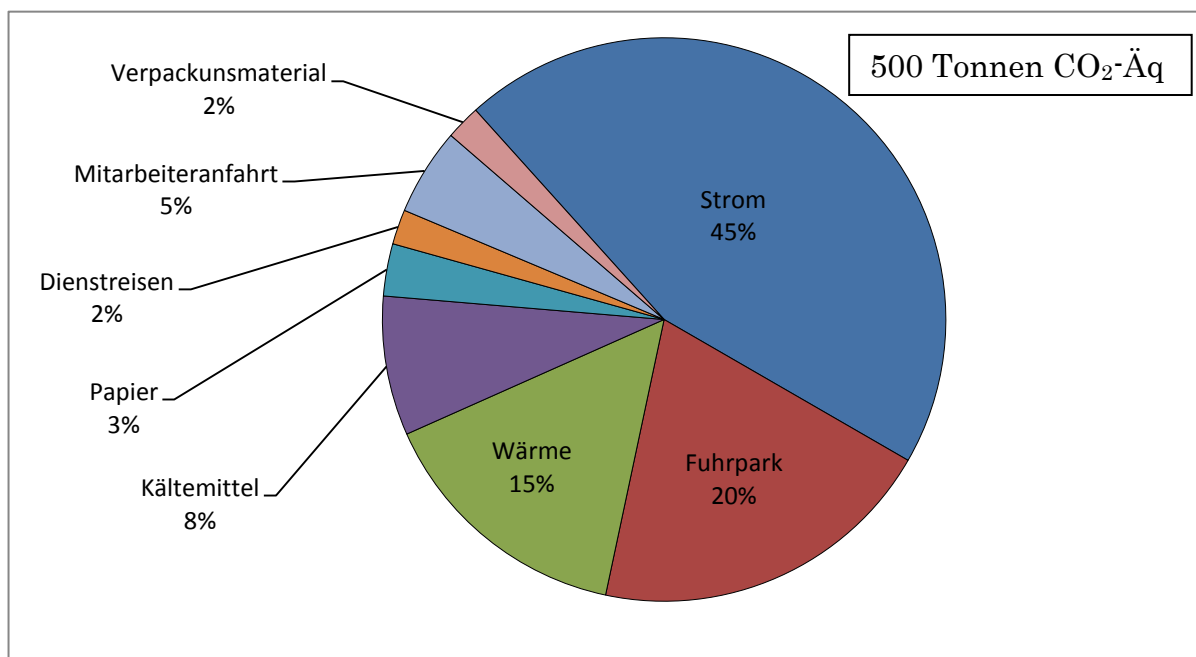


Abbildung 8: Beispiel eines Corporate Carbon Footprint (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft eine prozentuale Aufteilung der Treibhausgasemissionen eines Corporate Carbon Footprint nach Verursacherkategorien und die Angabe eines Gesamtemissionswertes in CO₂-Äquivalenten.

Für die meisten Unternehmen besteht bisher keine Pflicht ihre emittierten Treibhausgase zu messen. Ausnahmen bilden beispielsweise Unternehmen, die durch den EU-Emissionshandel (engl. European Union Emission Trading System, EU ETS) dazu verpflichtet sind. Dieser wurde eingeführt, um die im Kyoto-Protokoll vereinbarten Ziele zu erreichen, und betrifft in erster Linie Energie- und Wärmeerzeugungsanlagen sowie energieintensive Betriebe (Verbrennungsanlagen, Ö raffinerien, Eisen- und Stahlwerke, Zement-, Glas-, Kalk-, Ziegel-, Keramik-, Papier- und Zellstofffabriken) ([EUR09]). Neben den EU-weiten Vorgaben gibt es vereinzelt auch innerstaatliche Regelungen, die Unternehmen vorschreiben ihre Treibhausgasemissionen zu bilanzieren. So verpflichtet beispielsweise die britische Regierung börsennotierte Unternehmen die Treibhausgasemissionen in ihrem Geschäftsbericht zu veröffentlichen ([DEF13]). Auch in den USA müssen seit 2009 große Einrichtungen aufgrund des „Greenhouse Gas Reporting Program“ ihre Treibhausgase der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) melden ([EPA14]).

2.4.2.2 Der Product Carbon Footprint

Der Begriff Product Carbon Footprint (PCF) bezeichnet

„[...] die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung und bezogen auf eine definierte Nutzeinheit.“ ([BUÖ09], S.4)

Der gesamte Lebenszyklus eines Produktes beginnt bei der Gewinnung der Rohstoffe und endet bei dessen Entsorgung (cradle to grave, von der Wiege bis zur Bahre). Neben der Erfassung der Treibhausgase bei der Entstehung und der Verteilung des Produktes, soll auch die Nutzung des Produktes durch den Kunden in die Analyse miteinbezogen werden. Als Ergebnis erhält man die Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten für ein bestimmtes Produkt. Dabei steht der Begriff Produkt als Oberbegriff für Waren und Dienstleistungen. ([BB10])

Im Gegensatz zum B2C-Bereich kann es im B2B-Bereich sinnvoll sein nur einen Teil des Lebenszyklus eines Produktes zu betrachten. Dabei werden beispielsweise nur die entstandenen Treibhausgase bis zum Werkstor des Kunden betrachtet (cradle to gate, von der Wiege bis zum Tor). Der Kunde kann dann den PCF des Produktes aufgreifen und in seine eigene CO₂-Bilanz

einfließen lassen. Eine Bilanzierung von Werkstor zu Werkstor innerhalb eines Unternehmens wird als gate-to-gate Ansatz bezeichnet. Hier werden nur die THG-Emissionen des Unternehmens berücksichtigt, die Lieferanten und die Supply Chain werden ausgeblendet. Ein Vergleich der beiden Ansätze cradle to grave bzw. grade to gate zeigt die Abbildung 9. ([BB10], [SCH10a])

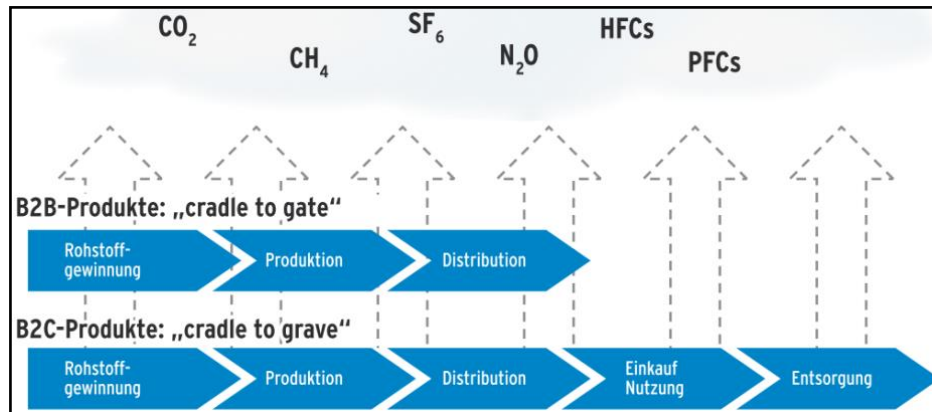


Abbildung 9: Gesamter Lebenszyklus von Produkten. In Anlehnung an ([BB10], S.31)

Der PCF dient der Identifizierung der Treibhausgase entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Durch Aufschlüsselung der einzelnen Beiträge können die emissionsreichen Phasen eruiert und Reduktionspotentiale erkannt werden. Einzelne Wertkettenpartner stehen damit in der Verantwortung ihren Beitrag für einen möglichst niedrigen PCF zu leisten. Dies kann insbesondere dann von Bedeutung sein, wenn die CO₂-Kennzeichnung von Produkten einen Vergleich innerhalb gemeinsamer Produktgruppen ermöglicht. Aufgrund unterschiedlicher Regelungen und Auslegungsfreiheiten bei der Bewertung, bedarf es jedoch einer kritischen Betrachtung der erhaltenen Ergebnisse. ([BUÖ09]).

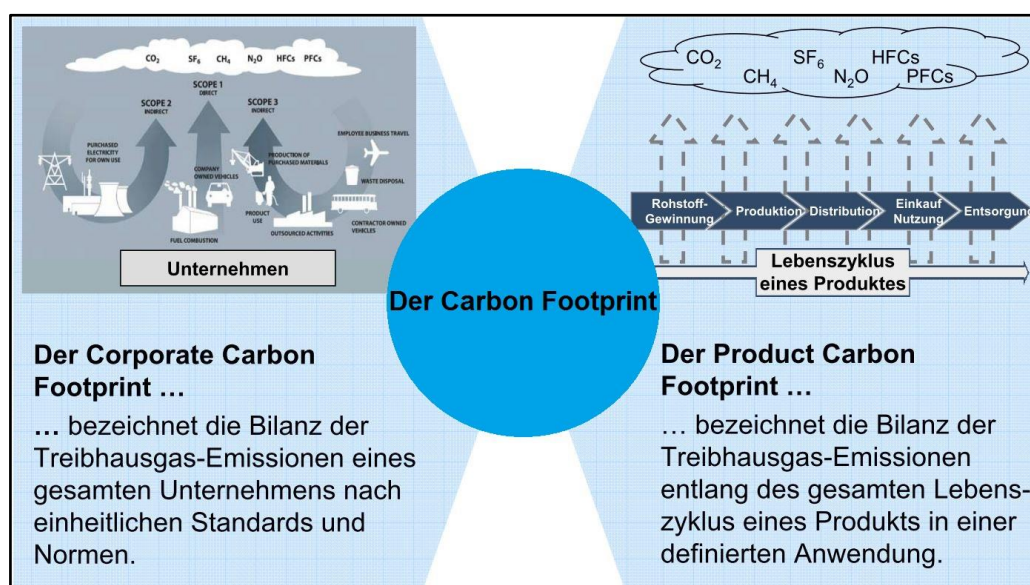


Abbildung 10: Corporate versus Product Carbon Footprint. In Anlehnung an ([SCH09], S.4)

Die Abbildung 10 soll die Unterschiede zwischen dem CCF und dem PCF nochmal verdeutlichen. Ähnlich wie beim PCF können auch beim CCF vor- und nachgelagerte Prozesse der Supply Chain miteinbezogen werden. Der Unterschied liegt darin, dass beim CCF die THG-Emissionen der Wertkette auf Unternehmensebene bilanziert werden, während beim PCF die Lebenszyklus-Emissionen auf Produktebene bilanziert werden. Für die Berechnung des CCF muss nicht jedes einzelne Produkt des Unternehmens analysiert werden. Andererseits sollte die Summe der Lebenszyklusemissionen aller Produkte eines produzierenden Unternehmens, kombiniert mit den zusätzlichen nicht energiebedingten indirekten THG-Emissionen (Mitarbeiteranfahrt, Geschäftsreisen, Beteiligungen, etc.) ungefähr den CCF des Unternehmens ergeben. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass alle indirekten THG-Emissionen bei der Erstellung des CCF berücksichtigt wurden. (vgl. [WW11a])

2.4.2.3 Der Transport Carbon Footprint

Der Transport Carbon Footprint (TCF) berechnet alle Treibhausgase, die beim Transport entstehen. Ähnlich wie beim Corporate Carbon Footprint unterscheidet man auch hier zwischen den direkten und indirekten Treibhausgasemissionen. Direkte Treibhausgasemissionen (tank-to-wheel, vom Tank bis zum Rad) entstehen durch den Betrieb des Transportmittels. Ein Beispiel sind die Abgasemissionen, die durch die Verbrennung des Kraftstoffes im Motor entstehen. Bei den indirekten Treibhausgasemissionen werden die Emissionen, die bei der Energieherstellung und -bereitstellung entstehen, berücksichtigt (well-to-tank, von der Quelle zum Tank). Die Kombination der direkten und indirekten Emissionen wird als „well-to-wheel“ (von der Quelle bis zum Rad) bezeichnet. ([CEN12])

Der Einfluss dieser Betrachtungsweisen auf die CO₂-Bilanz lässt sich anhand von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen recht einfach verdeutlichen. Bei einer tank-to-wheel Betrachtung verursachen Elektroautos, im Gegensatz zur well-to-wheel Betrachtung, keinerlei Emissionen. ([KSS11])

Sowohl beim CCF als auch beim PCF werden die Treibhausgasemissionen bei der Beförderung von Personen oder Waren berücksichtigt. Die quantitative Bestimmung und Allokation der Treibhausgasemissionen zu einem einzelnen Produkt sind schwierig, da zahlreiche Einflussgrößen berücksichtigt werden müssen. Einflussgrößen sind zum Beispiel das Transportmittel an sich (PKW, LKW, Flugzeug, Zug, Flurförderzeuge,...), die Auslastung des Transportmittels, die Wegstrecke, die Antriebsart und die bereitgestellte Energie (thermisch, chemisch, elektrisch, etc.). Allein die Verwendung unterschiedlicher Kraftstoffe

(z.B. Biodiesel) bei ein und demselben Transportmittel kann zu einer veränderten Treibhausgasbilanz führen.

Aufgrund des hohen Anteils des Transportes und insbesondere des Straßenverkehrs (siehe Abbildung 11) an den gesamten Treibhausgasemissionen, steht dieser Sektor oftmals im besonderen Fokus von Reduzierungs- und Überwachungsmaßnahmen, sowohl auf gesetzlicher Ebene, als auch auf freiwilliger Basis. Beispielsweise verpflichtete Frankreich als erstes europäisches Land ab dem 1. Oktober 2013 Transportunternehmen die CO₂-Emissionen für kommerziell durchgeführte Personen- und Gütertransporte, die ihren Ausgangs- oder Endpunkt in Frankreich haben, dem Kunden auszuweisen (vgl. [FRA12]).

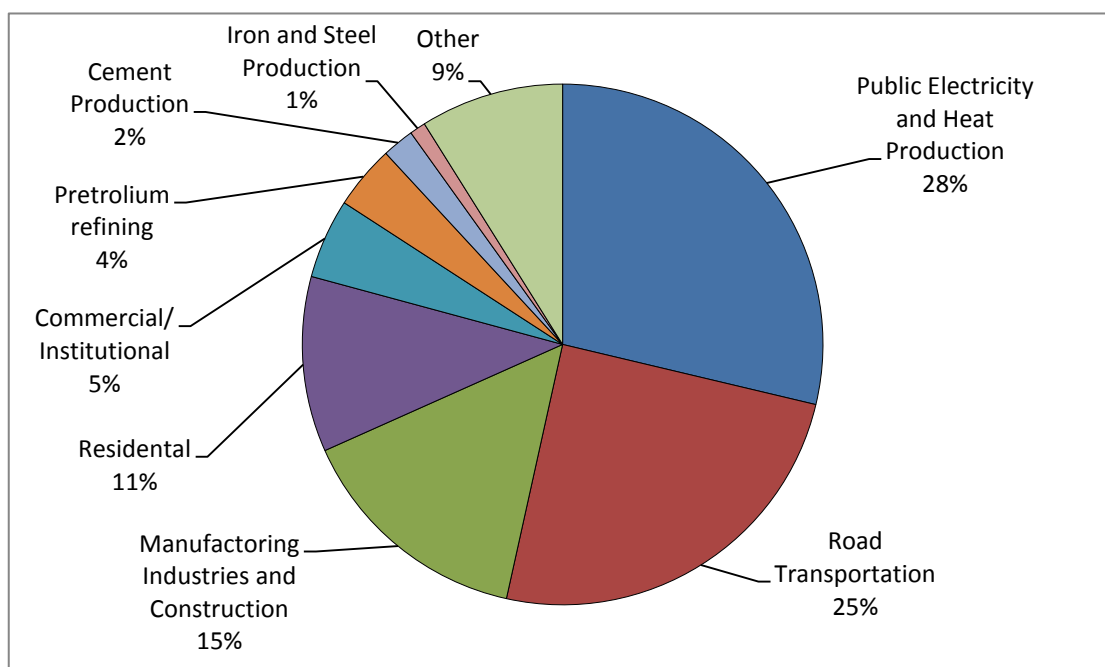


Abbildung 11: Anteile der Treibhausgasemissionen der EU-15 im Jahr 2011 nach Sektoren. In Anlehnung an ([EEA13], S.12)

Auf unternehmerischer Ebene ist besonders die Speditions- und Logistikbranche bemüht ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Je nach Produkt und dessen Herkunft kann der Transport einen erheblichen Teil des CO₂-Fußabdrucks ausmachen. Dabei macht es einen beträchtlichen Unterschied, ob dieses Produkt per Luft- oder Schifffracht aus Asien nach Europa gelangt oder regional per Zug transportiert wird. Aufgrund der Komplexität bei der Berechnung und der ökologischen und ökonomischen Bedeutung des Transportsektors, macht es Sinn, diesen getrennt zu betrachten.

2.5 Die CO₂-Bilanz im betrieblichen Umweltmanagement

Unter Umweltmanagement versteht man den Teilbereich des Managements einer Organisation, der sich mit den Umweltauswirkungen von Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen beschäftigt ([UGA14]). Die Zielsetzungen der unternehmerischen Umweltpolitik sollten schriftlich formuliert werden und neben anderen Umweltaspekten auch die Reduktion von umweltbelastenden Emissionen berücksichtigen (vgl. [FM11]). Die Hauptaufgabe des betrieblichen Umweltmanagements besteht im weitesten Sinne darin, die ökologischen und die ökonomischen Unternehmensziele miteinander in Einklang zu bringen ([FÖR12]). Diese beiden Ziele schließen sich grundsätzlich nicht aus, sondern gehen in vielen Fällen einher. Reduziert man beispielsweise durch gezielte Maßnahmen den Stromverbrauch innerhalb eines Unternehmens, werden als Folge sowohl die Energiekosten als auch die CO₂-Emissionen sinken.

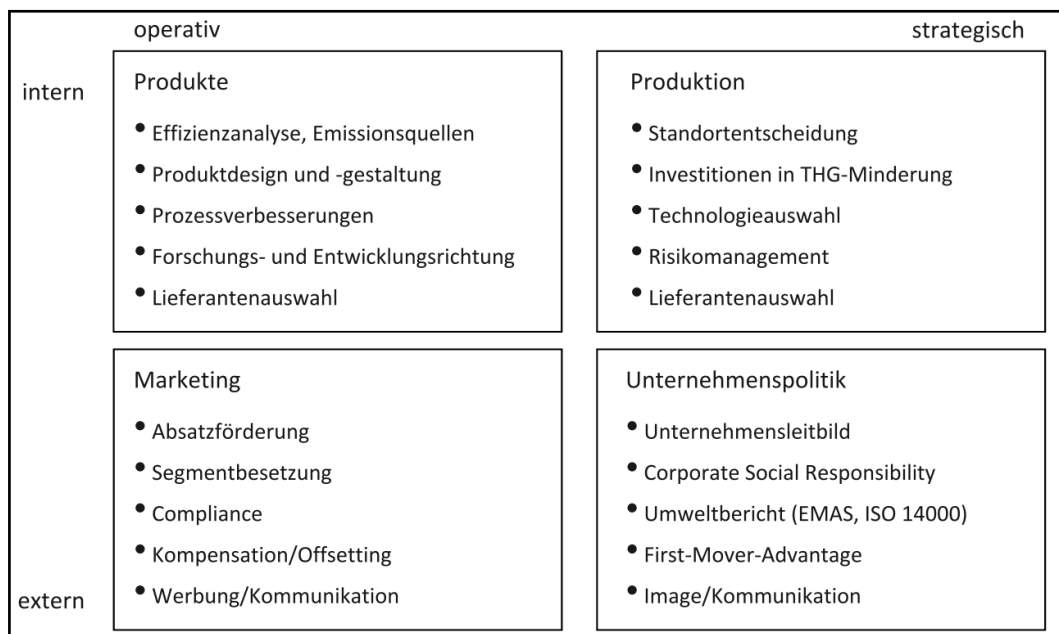


Abbildung 12: Anwendungsgebiete von Maßnahmen zur Steigerung der Umweltperformance bzw. von Informationen über die Umweltperformance in Unternehmen ([HAU13], S. 62)

Die Abbildung 12 zeigt verschiedene Möglichkeiten die Umweltperformance von Unternehmen zu beeinflussen und diese öffentlichkeitswirksam darzustellen. Auch wenn sich die Abbildung auf alle umweltrelevanten Aspekte bezieht, trifft sie auch auf Treibhausgasemissionen zu. Einflussgrößen wie zum Beispiel das Produktdesign, die Lieferantenauswahl aber auch Standortentscheidungen, haben indirekt einen großen Einfluss auf die CO₂-Bilanz.

2.5.1 Carbon Accounting

Unter Carbon Accounting versteht man das systematische Erfassen von CO₂ und anderen Treibhausgasemissionen und die anschließende monetäre und/oder nicht-monetäre Bewertung mit dem Ziel der externen Rechnungslegung, der Berichterstattung sowie der Steuerung bzw. Entscheidungsfindung. Steht die Steuerung und Entscheidungsfindung im Mittelpunkt spricht man auch von Carbon Controlling (vgl. [GS10], [HR13])

Carbon Accounting kann als Teildisziplin des Rechnungswesens angesehen werden, aber auch als Teil des betrieblichen Umweltmanagements. Zur Umsetzung des betrieblichen Umweltmanagements werden sogenannte Umweltmanagementsysteme verwendet, die dem systematischen und strukturierten Aufbau des betrieblichen Umweltschutzes dienen. Zu den bekanntesten Umweltmanagementsystemen zählen die EMAS⁵-Verordnung der Europäischen Union und die Umweltmanagementnorm ISO 14001. (vgl. [FM11], [HR13])

Das Ziel der EMAS-Verordnung ist es, die Umweltleistung des Unternehmens anhand vorgegebener Kernindikatoren zu verbessern. Dabei handelt es sich um Kennzahlen, welche die Umweltleistung des Unternehmens unverfälscht darstellen sollen. Diese Kernindikatoren müssen in die Umwelterklärung des Unternehmens aufgenommen werden, soweit sie sich auf die direkten Umweltaspekte der Organisation beziehen. Sollten ein oder mehrere Indikatoren nicht zutreffen, ist dies vom Unternehmen zu begründen. Neben Energieeffizienz, Materialeffizienz, Abfall, und biologischer Vielfalt zählen auch die jährlichen Gesamtemissionen von Treibhausgasen zu den Kernindikatoren. Es sollen zumindest die Emissionen CO₂, CH₄, N₂O, Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe und SF₆ angegeben und mittels einer Zahl in Tonnen CO₂-Äquivalent ausgedrückt werden. Daneben sollen auch SO₂, NO_x und PM Emissionen in Kilogramm oder Tonnen angegeben werden. Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen gibt es keine Vorschrift, jedoch sollten neben den direkten Umweltaspekten auch die indirekten Umweltaspekte berücksichtigt werden. Zu den indirekten Umweltaspekten zählen laut Verordnung u.a. das Ergebnis der Wechselbeziehung mit Dritten und produktlebenszyklusbezogene Aspekte (Transport, Verpackung, Verwendung...). ([ER09])

⁵ Eco- Management and Audit Scheme, auch EU-Öko-Audit

Umgelegt auf den Corporate Carbon Footprint bedeutet das, dass sowohl direkte als auch indirekte Treibhausgasemissionen (siehe Kapitel 2.4.2.1) eines Unternehmens berücksichtigt werden sollen und beim Product Carbon Footprint der gesamte Lebenszyklus (siehe Kapitel 2.4.2.2) eines Produktes betrachtet wird.

Die Umwelterklärung und die darin enthaltene Treibhausgasbilanz werden von einem zugelassenen Gutachter validiert und soll danach öffentlich zugänglich gemacht werden. Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt das EMAS-Logo, das von erfolgreich validierten Organisationen verwendet werden darf. Das Logo darf jedoch nicht auf Produkten und Verpackungen angebracht werden. ([ER09])



Abbildung 13: EMAS-Logo ([UGA14])

Die bekannte Umweltmanagementnorm ISO 14001 legt allgemein die Anforderungen an Umweltmanagementsysteme fest. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer Umweltmanagementnormen. Die sogenannte ISO 14000er Reihe beinhaltet auch mehrere relevante Normen für die Erstellung und Kommunikation eines CO₂-Fußabdrucks. Dabei sind Normen für die Treibhausgasbilanzierung von Organisationen und Normen für die Treibhausgasbilanzierung von Produkten zu unterscheiden.

Zu den produktorientierten Normen zählen u.a.:

- **ISO 14040:2006:** Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- **ISO 14044:2006:** Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- **ISO/TS 14067:2013:** Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation

Zu den organisationsorientierten Normen zählen u.a.:

- **ISO 14064-1:2006:** Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene
- **ISO 14064-2:2006:** Treibhausgase – Teil 2: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Reduktionen der Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs von Treibhausgasen auf Projektebene
- **ISO 14064-3:2006:** Treibhausgase – Teil 3: Spezifikation mit Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Erklärungen über Treibhausgase

Die internationalen Normen zur Ökobilanz ISO 14040 und ISO 14044 beziehen sich nicht explizit auf die Treibhausgasbilanzierung von Produkten, sondern berücksichtigen deren gesamte Umwelteinwirkung. Eine CO₂-Bilanz kann jedoch Teil einer Ökobilanz (engl. Life-Cycle-Assessment, LCA) sein. Die Ökobilanznormen bilden dabei den wesentlichen methodischen Rahmen für die Ermittlung des PCF und sind deswegen auch Grundlage für die in Entwicklung befindliche Norm ISO 14067 zum PCF ([PCF09]).

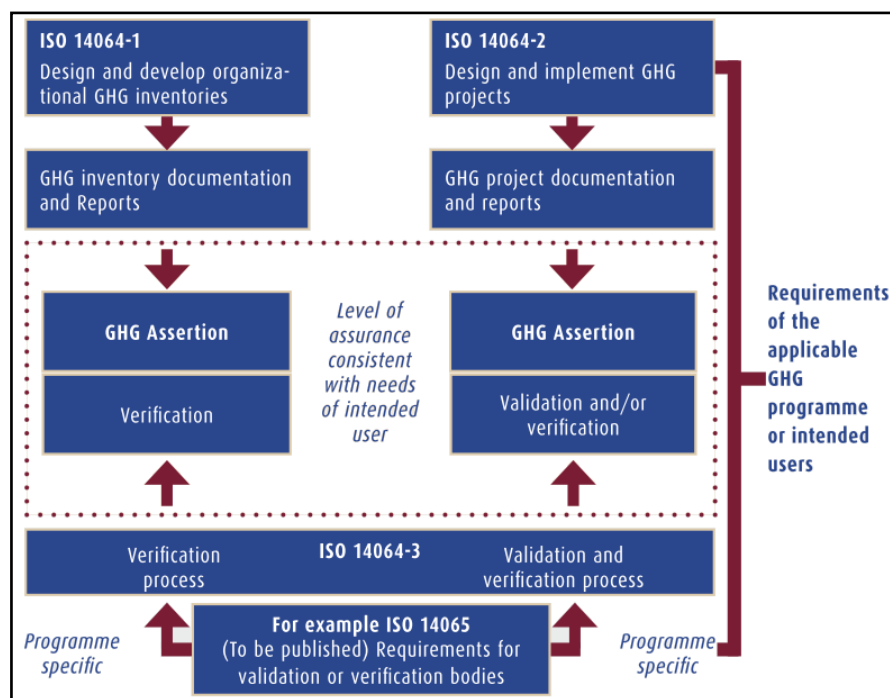


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen den Teilen der Norm ISO 14064 ([WB06], S.15)

Die Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen den drei Normen der ISO 14064er Reihe. Während die ISO 14064-1 eine Anleitung zur Erstellung einer Treibhausgasbilanz eines Unternehmens ist, steht bei der ISO 14064-2 die Planung und Umsetzung von Klimaschutzprojekten im Vordergrund. Mittels

der Norm ISO 14064-3 kann verifiziert werden, dass die Anforderungen der beiden Normen erfüllt werden. Dies ist insbesondere für die Glaubwürdigkeit der THG-Berichte von Bedeutung.

Die öffentliche Berichterstattung der unternehmerischen Treibhausgasemissionen kann recht unterschiedlich erfolgen. So findet man die CO₂-Bilanz als eigenständigen Bericht, aber auch als Teil einer Umwelterklärung oder eines Umweltberichts. Auch in Nachhaltigkeitsberichten sollen, laut der Global Reporting Initiative, Angaben zu den direkten und indirekten Treibhausgasemissionen nicht fehlen ([GRI06a]). Dabei sollen Unternehmen im Logistik- und Transportsektor ihre THG-Emissionen in bewegliche (Straße, Luft, Bahn,...) und nicht bewegliche (Büros, Lager) Quellen aufschlüsseln ([GRI06b]). Da es wie erwähnt für die meisten Unternehmen in der EU keine gesetzlichen Vorschriften gibt, ihre Treibhausgase zu ermitteln und auch keine einheitlichen Regelungen darüber existieren, wie die Emissionen erfasst werden sollen, bleibt es den Unternehmen selbst überlassen, in welcher Form sie eine CO₂-Bilanz aufstellen.

2.5.2 Carbon Disclosure

Unter dem Begriff Carbon Disclosure ist die Offenlegung der THG-Emissionen von Unternehmen gegenüber von Kunden oder Investoren zu verstehen. Das bekannteste und größte Projekt, das sich mit dem Sammeln und Veröffentlichen von Klimadaten wie beispielsweise Emissionen beschäftigt, ist das Carbon Disclosure Project.

Das Carbon Disclosure Project ist eine neuerdings nur CDP genannte Non-Profit-Organisation, die weltweit mit Investoren zusammenarbeitet, um die Risiken des Klimawandels zu reduzieren und auch Investitionsmöglichkeiten zu fördern. 2013 wurden im Rahmen des Climate Change Project über 5000 der weltweit größten Unternehmen von CDP gefragt, ihre Treibhausgasemissionen, Klimastrategien und ihren Energieverbrauch über ein standardisiertes Format zu berichten. 81% der 500 größten börsennotierten Unternehmen weltweit, gelistet im Global500 Index, haben die effektive Messung ihres CO₂-Fußabdrucks ermöglicht. ([CDP13])

Der Fragebogen des CDP ist grob gesehen in die drei Kategorien Management, Risiken & Chancen sowie Emissionen klassifiziert. Im ersten Teil Management geht es um die Implementierung der Klimawandelthematik in die Unternehmens- und Managementstruktur. Die Fragen des zweiten Teils beziehen sich auf die Risiken & Chancen, die Unternehmen im Zusammenhang mit dem Klimawandel sehen. Im dritten und umfangreichsten Teil des

Fragebogens werden die eigentlichen Emissionsdaten des Unternehmens erhoben. 2012 gab die Mehrheit der Unternehmer aus der DACH-Region an, bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen mit dem GHG-Protocol gearbeitet zu haben und am zweithäufigsten wurde die ISO-Norm 14064-1 genutzt. ([CDP12])

2.5.3 Klimakompensation und der Begriff CO₂-neutral

Neben den internen Maßnahmen zur Vermeidung der Treibhausgasemissionen eines Unternehmens, gibt es auch die Möglichkeit, diese im Rahmen externer Verringerungsmaßnahmen zu kompensieren. In der Regel leisten Unternehmen finanzielle Unterstützung an Klimaschutzprojekte, wodurch die Emissionen an einem anderen Ort verringert werden sollen. ([BL07])

Dieser Vorgang wird allgemein als Klimakompensation bzw. im internationalen Sprachgebrauch auch als Carbon Offset bezeichnet. Die Klimakompensation erfolgt meist über einen Kompensationsdienstleister und umfasst die in Abbildung 15 dargestellten Schritte.

Klimaschutzprojekte sind zum Beispiel der Bau eines Windparks oder die Verbesserung der Effizienz eines Fernwärmenetzes. Für die beim Projekt eingesparten Emissionen werden sogenannte Emissionszertifikate ausgestellt. Die Inhaber dieser Zertifikate sind dazu berechtigt, die entsprechende Menge an Treibhausgasen ohne zusätzlichen Klimaeffekt zu emittieren. ([DEH08])

Auf diese Art wollen Unternehmen ihre CO₂-Bilanz neutralisieren, um sich selbst oder ihre Produkte als CO₂-neutral zu bezeichnen. Der Begriff CO₂-neutral bedeutet also nicht unbedingt, dass das Unternehmen oder Produkt selbst keine Treibhausgasemissionen verursacht.

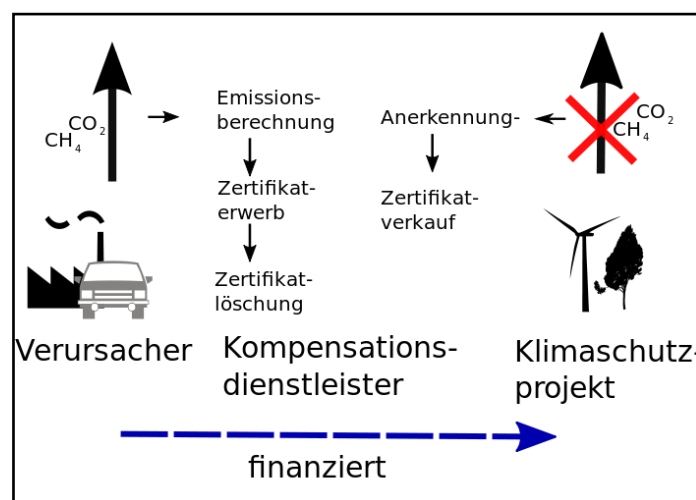


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Klimakompensation ([WIK14])

Beim Handel mit Emissionszertifikaten gibt es auf der einen Seite den sogenannten Verpflichtungsmarkt, der durch die Umsetzung des Kyoto-Protokolls entstanden ist, und auf der anderen Seite Märkte zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen ([DEH08]).

Zur Quantifizierung der THG-Emissions-Reduktionen durch Klimaschutzprojekte können einander ergänzend das „GHG-Protocol for Project Accounting“ und die Norm ISO 14064-2 herangezogen werden. Wichtige internationale Standards für die Klimakompensation auf dem freiwilligen Markt sind der „Gold Standard“ und der „Voluntary Carbon Standard 2007“. ([BK11])

3 Die Erstellung einer CO₂-Bilanz

In diesem Kapitel sollen die Rahmenbedingungen für die Erstellung einer CO₂-Bilanz erörtert werden. Ziel ist es, eine Basis zu schaffen, auf dessen Grundlage eine CO₂-Bilanz für Distributionszentren aufgebaut werden kann.

Daher werden am Anfang dieses Kapitels alle bestehenden Standards und Normen für die Erstellung eines CO₂-Fußabdrucks sowohl von Unternehmen als auch Produkten oder Transporten vorgestellt. Dabei soll der Begriff Standards und Normen in dieser Diplomarbeit für Veröffentlichungen stehen, die international anerkannt, unparteiisch und unabhängig von einzelnen Klimaschutzprogrammen sind. Anschließend erfolgt ein Vergleich zwischen den bestehenden Standards und Normen der drei Betrachtungsweisen, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten darzustellen.

Im zweiten Teil dieses Kapitels wird eine mögliche Vorgehensweise zur Erstellung einer CO₂-Bilanz für Unternehmen beschrieben. Dabei sollen die für den Corporate Carbon Footprint vorgestellten Standards und Normen als methodischer Rahmen dienen. Des Weiteren werden die notwendigen Ablaufschritte und die wesentlichen Einflussgrößen für die Erstellung der CO₂-Bilanz näher beleuchtet.

Um eine CO₂-Bilanz zu erstellen, ist es notwendig, die von einem Unternehmen verursachten THG-Emissionen quantitativ zu erfassen. Hierfür eignet sich eine einfache und kostengünstige Berechnungsmethode, die im dritten Teil dieses Kapitels vorgestellt wird. Ein Teil dieser Berechnungsmethode basiert auf sogenannten Emissionsfaktoren, die entweder selbst entwickelt oder aus Datenbanken entnommen werden können. Diese Datenbanken werden im letzten Teil dieses Kapitels betrachtet.

3.1 Standards und Normen für die Erstellung einer CO₂-Bilanz

Obwohl Organisationen wegen fehlender gesetzlicher Vorgaben den CO₂-Fußabdruck nach ihren eigenen Regeln erstellen können, haben sich gewisse Standards und Normen etabliert. Die Vorgaben dieser Standards und Normen können entweder direkt übernommen werden oder als Basis für die Entwicklung einer eigenen Methodik dienen. Aufgrund dessen existieren auch eine Vielzahl von individuellen und/oder bereichsspezifischen Anleitungen, Methodiken und Leitfäden, die mehr oder weniger auf den bestehenden Standards oder Normen aufbauen.

3.1.1 Standards und Normen für den Corporate Carbon Footprint

Die weltweit anerkannte und in den westlichen Industrieländern am meisten verwendete Grundlage zur Erstellung eines CO₂-Fußabdrucks von Unternehmen ist das GHG-Protocol. Zusammen mit der auf dem GHG-Protocol aufbauenden Norm ISO-14064 bilden sie aktuell das geeignetste Gesamtpaket zur Erstellung des CCF. In der nachfolgenden Tabelle 3 werden diese Standards und Normen mit ihrer genauen Bezeichnung dargestellt. (vgl. [KSS11], [KUM13], [WD07], [PAP+14])

Organisation	Bezeichnung
WRI/WBCSD	GHG-Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard (Corporate Standard)
WRI/WBCSD	GHG-Protocol: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard
ISO	ISO 14064-1:2006 Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene
ISO	ISO/TR 14069:2013-05 Treibhausgase – Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen für Organisationen – Leitfaden für die Anwendung der ISO 14064-1

Tabelle 3: Normen und Standards für den Corporate Carbon Footprint

Schon im Jahre 1998 begann das World Resource Institut (WRI) gemeinsam mit dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) an einer standardisierten Methode für die Treibhausgasbilanzierung zu arbeiten. Nach drei Jahren Entwicklungsarbeit wurde der Standard „Greenhouse Gas Protocol (GHG-Protocol): Corporate Standard“ erstmals veröffentlicht. Damit zählt dieser zu einer der ersten und wichtigsten Standards im Bereich des Corporate Carbon Footprint. Mittlerweile gibt es eine überarbeitete Auflage, die im Internet frei verfügbar ist. Der Standard soll Organisationen, wie zum Beispiel Unternehmen, NGOs, Universitäten und Regierungen, helfen ihre Treibhausgase zu bilanzieren und zu berichten. ([WW14])

Das gesamte GHG Protocol wird laufend aktualisiert und besteht mittlerweile aus vier voneinander getrennten Standards, die sich miteinander verknüpfen lassen ([WW14]):

- Corporate Accounting and Reporting Standard (Corporate Standard)
- Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard
- Project Accounting Protocol and Guidelines
- Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard

Eine Erweiterung zum Corporate Standard stellt der „Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard“ dar. Dieser beleuchtet die indirekten Emissionen genauer, die in der Wertkette entstehen. Daneben gibt es einen Standard für Treibhausgas-Reduktions-Projekte (Stichwort: Klimakompensation) und einen Standard für die Ermittlung des Product Carbon Footprint, der „Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard“.

Aufgrund des steigenden Umweltinteresses und einer fehlenden internationalen Norm für die quantitative Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen in Unternehmen, begann im Jahr 2002 die Internationale Organisation für Normung (ISO), als Ergänzung zu den bereits bestehenden Umweltmanagementnormen der 14000er Reihe, mit der Entwicklung der Norm ISO 14064. Im Jahr 2006 wurde die Norm veröffentlicht und anschließend von zahlreichen nationalen Normungsorganisationen anerkannt. ([WD07])

Die Norm ISO 14064 besteht aus drei Teilen. Bei der ISO 14064-1 steht die Erstellung des CCF im Vordergrund, während die ISO 14064-2 Anforderungen für Klimakompensationsprojekte enthält. Der dritte Teil enthält Bestimmungen zur Validierung und Verifizierung von Treibhausgasberichten (siehe auch Kapitel 2.5.1). Als Leitfaden für die Anwendung der ISO 14064-1 soll die noch in Entwurf befindliche Norm ISO/TR 14069 dienen, besonders in Bezug auf die indirekten Treibhausgasemissionen einer Organisation. ([BK11]).

Im Gegensatz zur ISO 14064-1, die kürzer, direkter und weniger erklärend ist, ist der Corporate Standard des GHG-Protocols länger, beschreibender und enthält mehr anregende Gründe für die Treibhausgasbilanzierung. Die Schlüsselaspekte der ISO 14064-1 stehen grundsätzlich im Einklang mit denen des Corporate Standard und sind in vielen Fällen davon abgeleitet. Trotz kleiner Unterschiede ergänzen sich die beiden Dokumente, indem die ISO bestimmt, was zu tun ist, und das GHG-Protocol beschreibt, wie es zu tun ist. ([SPA03], [WD07])

Neben den genannten Standards und Normen für Unternehmen gibt es noch weitere bereichsspezifische Anleitungen. Als Leitfaden zur Erstellung von nationalen Treibhausgasinventaren hat der Weltklimarat die „IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ veröffentlicht (vgl. [EBM+06]). Regelungen für die am EU-Emissionshandel beteiligten Unternehmen finden sich in der „Verordnung über die Überwachung von und die Berichterstattung über Treibhausgasemissionen“ (vgl. [EUR14]). Neben der Verordnung stellt die Europäische Kommission den beteiligten Unternehmen auch weitere Anleitungen und Vorlagen für die Treibhausgasbilanzierung zur Verfügung, um

sicherzustellen, dass der sprichwörtliche Grundsatz „eine Tonne CO₂-eq muss eine Tonne CO₂-eq sein“ eingehalten wird (vgl. [EUR12a]).

Einen interessanten Ansatz für Unternehmen, die auf freiwilliger Basis einen CCF oder PCF erstellen wollen, bietet die EU mit dem „Organisation Environmental Footprint (OEF) Guide“ und dem „Product Environmental Footprint (PEF) Guide“. Diese Leitfäden entstanden im Rahmen der Initiative der Europäischen Union zur Schaffung eines Binnenmarktes für Grüne Produkte. Ähnlich wie bei der Ökobilanz handelt es sich auch hier um lebenszyklusorientierte Umweltanalysen, die neben der Treibhausgasbetrachtung auch andere Umweltwirkungen berücksichtigen. Ziel ist eine vereinheitlichte Messung der Umweltleistung, da die Anwendung der bisherigen Methoden für ein und dieselbe Organisation verschiedene Ergebnisse lieferten. Der OEF Guide wurde unter Berücksichtigung der bestehenden Bilanzierungsmethoden, wie zum Beispiel der ISO-14064, ISO-14069 und dem GHG-Protocol, erstellt. (vgl. ([EUR13], [EUR12b])

Organisation	Bezeichnung	Bezug zu GHG-P. oder ISO
DEFRA ⁶	Guidance on how to measure and report your greenhouse gas emissions	Ja
DEFRA	Environmental Reporting Guidelines: Including mandatory greenhouse gas emissions reporting guidance	Ja
US EPA ⁷	Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol	Ja
EU	Organisation Environmental Footprint (OEF) Guide	Ja
EU ETS	The Monitoring and Reporting Regulation (MMR) – General guidance for installations	Nein
ADEME ⁸	Bilan Carbone	Ja
The Climate Registry	General Reporting Protocol	Ja
UNEP ⁹	The GHG Indicator: Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Business and Non-Commercial Organisations	Nein

Tabelle 4: Anleitungen, Methodiken und Leitfäden für den Corporate Carbon Footprint

Die Tabelle 4 zeigt eine Liste mit weiteren allgemeinen Anleitungen, Methodiken und Leitfäden für die Treibhausgasbilanzierung. Die meisten dieser Bilanzierungsverfahren bauen entweder auf dem GHG-Protocol oder den bestehenden ISO-Normen auf, oder sind zumindest damit kompatibel. Neben

⁶ Department for Environment, Food and Rural Affairs (Großbritannien)

⁷ United States Environmental Protection Agency

⁸ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (Frankreich)

⁹ United Nations Environment Programme

den allgemeinen Anleitungen gibt es noch branchenspezifische Anleitungen auf der Grundlage des GHG-Protocols. So gibt es zum Beispiel das „ENCORD¹⁰ Construction CO_{2e} Measurement Protocol“ für das Baugewerbe oder das „Protocol for the quantification of greenhouse gases emissions from waste management activities“ für das Abfallmanagement.

3.1.2 Standards und Normen für den Product Carbon Footprint

Ausgangspunkt aller Standards und Normen für den Product Carbon Footprint ist die Ökobilanz nach ISO 14040/14044. Im Gegensatz zum PCF berücksichtigt diese alle Umweltwirkungen von Produkten. Die Ökobilanz gliedert sich in vier Schritte, welche in Abbildung 16 dargestellt sind.

In einem ersten Schritt werden das Ziel der Ökobilanz und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Dabei werden u.a. die Systemgrenzen, die Funktion des Systems und die Anforderung an die Datenqualität definiert. In einem zweiten Schritt wird die Sachbilanz (engl. Life Cycle Inventory, LCI) erstellt. Hier werden alle Daten der eingehenden und ausgehenden Stoff- und Energieströme (z.B. Emissionen) gesammelt. Die Wirkungsabschätzung berücksichtigt alle potentiellen Umwelteinwirkungen. Im letzten Schritt werden die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung in Bezug auf das Ziel der Ökobilanz interpretiert. ([IBP14])

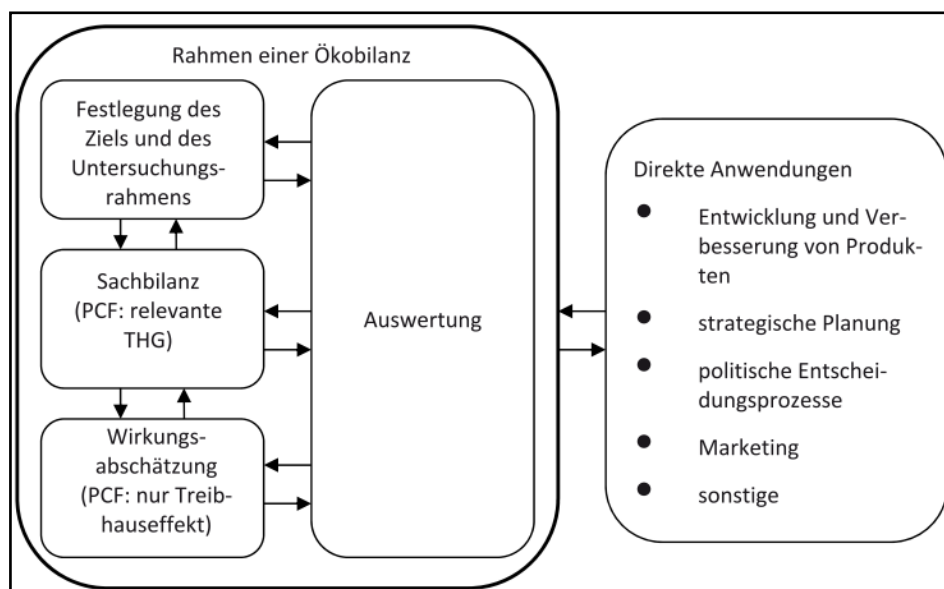


Abbildung 16: Ökobilanz und direkte Anwendungen nach ISO 14040 und die davon ausgehende Betrachtung des Product Carbon Footprint ([HAU13], S. 49; [ISO06a])

¹⁰ European Network of Construction Companies for Research and Development

Aufbauend auf den Ökobilanznormen ISO 14040/14044 veröffentlichte 2008 die British Standards Institution (BSI) die „Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050)“. Dieser britische Standard war der erste Versuch eine konsistente Grundlage für die Ermittlung des Product Carbon Footprint zu schaffen [PCF09].

Mit der internationalen Technischen Spezifikation ISO/TS 14067 befindet sich eine weitere Methode zur Bestimmung des PCF in Vorbereitung. Auch diese beruht auf der Ökobilanz und möchte als eines der Hauptziele eine Harmonisierung zwischen den bereits bestehenden Standards und Normen erreichen. ([DIN13])

Die nachfolgende Tabelle 5 gibt einen Überblick über bestehende Standards und Normen für den CO₂-Fußabdruck von Produkten.

Organisation	Bezeichnung
BSI	PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services
WRI/WBCSD	Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard
ISO	ISO/TS 14067:2013 Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation
ISO	ISO 14040:2006 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
ISO	ISO 14044:2006 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen

Tabelle 5: Normen, Standards und Anleitungen für den Product Carbon Footprint

3.1.3 Standards und Normen für den Transport Carbon Footprint

Um die Treibhausgasemissionen für Güter- und Personentransporte zu bestimmen, hat das Europäische Komitee für Normung 2012 die Norm EN 16258 veröffentlicht. Die Norm soll eine höhere Genauigkeit, Transparenz und Einheitlichkeit bei der Berechnung von THG-Emissionen in der Speditions- und Logistikbranche ermöglichen. Da weder die Standards und Normen auf Produktebene noch auf Unternehmensebene konkrete Vorgaben zur Berechnung des TCF machen, haben Logistikunternehmen recht unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung der THG-Emissionen ihrer Transporte gewählt. ([SKU12])

Obwohl die Norm EN 16258 den stationären Bereich derzeit nicht berücksichtigt, können Emissionen von mit Diesel oder Flüssiggas betriebenen Flurförderzeugen berechnet werden. Zu beachten ist, dass laut Corporate

Standard und ISO-14064-1 nur die Bilanzierung der direkten THG-Emissionen verpflichtend ist, während bei der Norm EN 16258 die indirekten THG-Emissionen, die bei der Herstellung des Kraftstoffes entstehen, ebenfalls berücksichtigt werden müssen. ([DSL13])

Neben der europäischen Norm gibt es noch länderspezifische Vorgaben. Eine Auswahl bestehender Normen und Leitfäden zeigt die nachfolgende Tabelle 6.

Organisation	Bezeichnung
CEN ¹¹	EN 16258: Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)
DEFRA et. al.	Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations
ADEME	CO ₂ information for transport services – Methodological guide
US EPA	Direct Emissions from Mobile Combustion Sources
US EPA	Optional Emissions from Commuting, Business Travel and Product Transport

Tabelle 6: Normen und nationale Leitfäden für den Transport Carbon Footprint

3.1.4 Vergleich der aktuellen Standards und Normen

Auch wenn es unterschiedliche Standards und Normen für die drei Sichtweisen des Carbon Footprint gibt, haben alle das gleiche Ziel, und zwar die Bilanzierung der THG-Emissionen, die durch Aktivitäten des unternehmerischen Handelns entstanden sind. Egal welche Sichtweise man wählt, die durch eine Anlage oder durch ein Verkehrsmittel real verursachten THG-Emissionen sind immer dieselben. Je nach Wahl der Methode zur quantitativen Bestimmung der THG-Emissionen, müssen die THG-Emissionen aus ein und derselben Aktivität, trotz unterschiedlicher Sichtweisen, auch nicht voneinander abweichen. Unterschiede in der CO₂-Bilanz entstehen erst durch die unterschiedliche Berücksichtigung der Aktivitäten, die Festlegung der Systemgrenzen und durch die Zuordnung der THG-Emissionen (Siehe auch Tabelle 7).

Berechnet ein Unternehmen den TCF seines Fuhrparks für sich selbst oder für einen Kunden, können die ermittelten THG-Emissionen sowohl für den PCF als auch für den CCF verwendet werden. Beim PCF werden die Gesamtemissionen des Fuhrparks auf die einzelnen Produkte aufgeteilt. Dieser Vorgang wird auch als Allokation bezeichnet und ist für den CCF nicht notwendig. ([SKU12])

¹¹ Comité Européen de Normalisation (dt. Europäisches Komitee für Normung)

	Corporate Carbon Footprint	Product Carbon Footprint	Transport Carbon Footprint
Normen und Standards	ISO 14064-1 sowie GHG Protocol	PAS 2050, GHG Protocol, ISO 14067, ISO 14040 ff.	EN 16258:2012
Systemgrenzen	Aktivitäten des eigenen Unternehmens verpflichtend; Freiwilliger Einbezug von Subunternehmen	Gesamte Wertschöpfungskette mit allen Lebenszyklen, unabhängig, ob eigene oder Fremdprozesse	Gesamte Transportkette, unabhängig, ob eigene Fahrzeuge oder Fahrzeuge von Subdienstleistern
Umweltkenngrößen	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente)	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente)	alle Treibhausgase (als CO ₂ -Äquivalente) + Energieverbrauch
Emissionen durch Herstellung von Energieträgern (z. B. Diesel)	Herstellung von selbst verbrauchten Strom: ja Andere Energieträger: freiwillig	müssen berücksichtigt werden	müssen berücksichtigt werden
Methoden zur Allokation der Emissionen auf Einzelsendung	keine Vorgaben	möglichst physische Größen (z. B. Gewicht), aber auch monetäre Größen zulässig	nur physische Größen (bevorzugt Gewicht; aber auch Anzahl Paletten, etc.)

Tabelle 7: Vergleich der Standards und Normen des CCF, PCF und TCF. In Anlehnung an ([SKU12], [BVL12])

Trotz der Bemühungen für eine Standardisierung, können Treibhausgaskennwerte, die von verschiedenen Unternehmen unabhängig voneinander ermittelt wurden, nicht miteinander verglichen werden. Dies trifft sowohl für den CCF, den PCF als auch für den TCF zu. Gründe dafür sind u.a. die unterschiedliche Herkunft und Qualität der verwendeten Daten, unterschiedliche Systemgrenzen, unterschiedliche Annahmen und optionale Vorgaben. (vgl. [DSL13], [BB10], [LAN11])

3.2 Vorgehensweise zur Erstellung eines Corporate Carbon Footprint

Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Erstellung eines Corporate Carbon Footprint anhand des Corporate Standards des GHG-Protocol und der Norm ISO-14064-1 dargestellt. Einerseits gehören diese beiden Methoden zu den bedeutendsten Grundlagen zur Erstellung einer Treibhausgasbilanz. Andererseits werden in der Norm ISO 14064-1 die Schlüsselkonzepte und

Anforderungen des GHG-Protocols übernommen und es wird ausdrücklich dazu geraten das GHG-Protocol als ergänzende Anleitung zu verwenden (vgl. [ISO06]).

Laut GHG-Protocol und der Norm ISO 14064-1 sollen in einer Treibhausgasbilanz die sechs Treibhausgase der UNFCCC bzw. des Kyoto-Protokolls (siehe Kapitel 2.2) berücksichtigt werden (vgl. [ISO06], [WW14]). Im Mai 2013 wurde das Stickstofftrifluorid (NF₃) durch einen Zusatz ebenfalls in das GHG-Protocol aufgenommen ([WW13]).

Separat können auch andere Treibhausgase, wie zum Beispiel Gase des Montreal-Protokolls, ausgewiesen werden. Dies ist insofern sinnvoll, da beispielsweise ein Anstieg der Kyoto-Protokoll Gase in der THG-Bilanz durch den Ersatz von FCKW-Gasen (Montreal-Protokoll) durch H-FKW-Gase (Kyoto-Protokoll) erklärt werden kann. ([WW14])

Das GHG-Protocol und die Norm ISO 14064-1 sehen für die Bilanzierung und Berichterstattung die Anwendung von sechs Grundsätzen vor (vgl. [WW04], [ISO06]):

- Relevanz
- Vollständigkeit
- Konsistenz
- Transparenz
- Genauigkeit

Der Grundsatz Relevanz dient der Sicherstellung, dass das Treibhausgasinventar die THG-Emissionen des Unternehmens angemessen widerspiegelt und den Bedürfnissen der Nutzer bei der Entscheidungsfindung entspricht. Unter Vollständigkeit versteht man die Bilanzierung und Berichterstattung aller THG-Emissionen und -Aktivitäten innerhalb der gewählten Systemgrenzen. Ausnahmen müssen offengelegt und begründet werden. Die Konsistenz soll sinnvolle Vergleiche der Emissionen über die Zeit ermöglichen, indem einheitliche Methoden benutzt werden. Änderungen sollen dokumentiert werden. Transparenz bedeutet alle relevanten Themen in sachlicher und schlüssiger Weise darzustellen. Annahmen sollen offen gelegt und die verwendeten Berechnungs- und Bilanzierungsmethoden sowie Datenquellen sollen referenziert werden. Mittels der Genauigkeit soll sichergestellt werden, dass die bestimmten THG-Emissionen weder über noch unter den aktuellen Emissionen liegen. Unsicherheiten sollen so weit wie möglich reduziert werden ([WW04]).

Die Abbildung 17 zeigt die wichtigsten Schritte zur Bestimmung des Corporate Carbon Footprint, angelehnt an den Vorgehensweisen nach der Norm ISO 14064-1 und des GHG-Protocol. Auf die einzelnen Schritte wird in den nachfolgenden Seiten näher eingegangen.

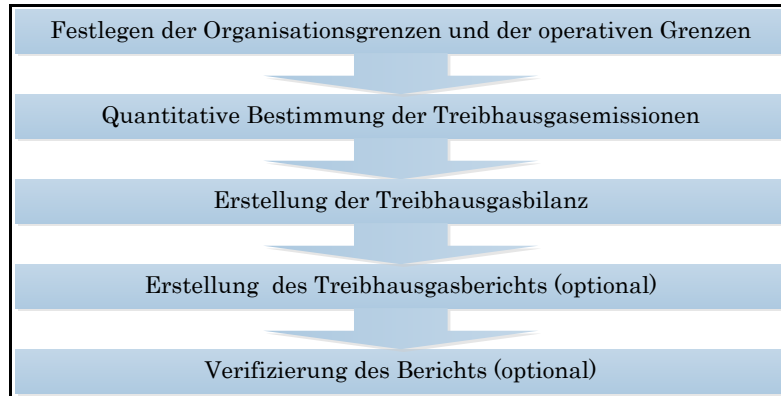


Abbildung 17: Schritte zur Erstellung eines CCF. Eigene Darstellung (vgl. [ISO06])

Der erste Schritt bei der Erstellung einer Treibhausgasbilanz ist das Festlegen der Organisationsgrenzen. Die Schwierigkeit besteht in der oftmals komplexen Organisationsstruktur. Hier stellt sich die Frage, wie Anlagen zu bewerten sind, die nicht zu 100% im Besitz der Organisation stehen, wie zum Beispiel Joint Ventures oder Tochtergesellschaften. Für die Festlegung der Organisationsgrenzen gibt es zwei unterschiedliche Konsolidierungsansätze, der Beteiligungsansatz und der Kontrollansatz. Der Beteiligungsansatz berücksichtigt die THG-Emissionen von Anlagen, an denen die Organisation finanziell beteiligt ist, anteilig im Umfang dieser Beteiligung. Der Kontrollansatz berücksichtigt nur THG-Emissionen von Tätigkeiten und Anlagen, über die die Organisation Kontrolle hat. Diese Kontrolle kann sowohl finanzieller als auch operativer Natur sein. Besitzt die Organisation beispielsweise Anteile an einem Unternehmen/einer Anlage, hat aber über dieses/diese keine Kontrolle, so werden beim Beteiligungsansatz die THG-Emissionen anteilmäßig verrechnet, beim Kontrollansatz jedoch nicht berücksichtigt. Unternehmen sollen sich für einen der beiden Ansätze entscheiden und diese Entscheidung dokumentieren. ([WW14], [ISO06])

Nachdem die Organisationsgrenzen festgelegt wurden, werden die operativen Grenzen bestimmt. Dies umfasst die Identifizierung der mit der Organisation verbundenen THG-Emissionen, sowie deren Aufteilung in direkte und indirekte Emissionen. Welche Emissionen zu den direkten und welche zu den indirekten zählen, hängt u.a. von dem gewählten Konsolidierungsansatz ab. Außerdem ist zu beachten, dass Treibhausgase nicht nur emittiert, sondern auch aus der Atmosphäre entzogen werden können. Das heißt neben THG-Quellen können auch THG-Senken vorhanden sein. ([WW14], [ISO06])

Das GHG-Protocol sieht für die Kategorisierung der direkten und indirekten THG-Emissionen drei Scopes vor ([WW14]):

- Scope 1 – Direkte THG-Emissionen: Hierunter fallen THG-Emissionen, dessen Quellen direkt im Besitz oder unter der Kontrolle des Unternehmens stehen. (z.B. Verbrennung fossiler Rohstoffe, Transport von Produkten und Mitarbeitern durch den eigenen Fuhrpark, physikalische und chemische Prozesse)
- Scope 2 – Indirekte THG Emissionen durch den Bezug von Elektrizität, Dampf oder Wärme: Scope 2 berücksichtigt somit die THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung.
- Scope 3 – Andere indirekte THG-Emissionen: Dieser Bereich ist optional und berücksichtigt alle anderen indirekten Emissionen. Sie sind die Folge der Aktivitäten eines Unternehmens, aber stammen aus Quellen, die nicht im Besitz oder unter der Kontrolle des Unternehmens stehen.

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die drei Scopes des GHG-Protocols und Beispiele für die Zuordnung von Aktivitäten und Objekten.

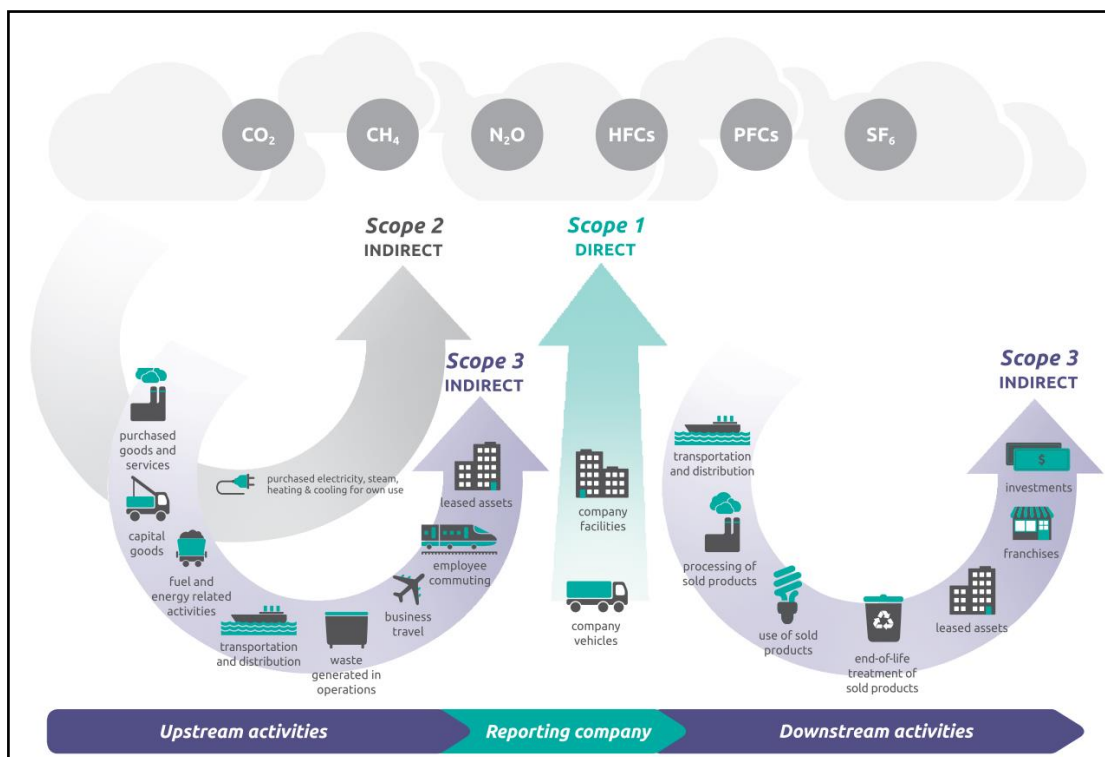


Abbildung 18: Überblick über die drei Scopes des GHG-Protocols ([WW11b], S.5)

Scope 1 und Scope 2 sollen separat berechnet und ausgewiesen werden. Scope 3 erlaubt Unternehmen ihre gesamte Wertschöpfungskette in die CO₂-Bilanz miteinzubeziehen. Die Bilanzierung der Scope 3 Emissionen ist nicht verpflichtend, ermöglicht dem Unternehmen jedoch einen Überblick über die gesamten THG-Emissionen entlang der Wertkette zu erhalten. Dadurch können

zusätzliche Verflechtungen und Einsparungspotentiale erkannt werden ([WW14]).

Scope 3 Emissionen können, je nach Organisation, den größten Anteil an den Gesamtemissionen eines Unternehmens ausmachen. Als Ergänzung zum Corporate Standard existiert daher der „Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard“. Dieser baut auf dem Corporate Standard auf, beinhaltet aber zusätzliche Hilfestellungen für die Erfassung und Bilanzierung der indirekten Emissionen aus Scope 3. Organisationen, die ihre THG-Emissionen nach diesem Standard ermitteln, sind im Gegensatz zum Corporate Standard verpflichtet auch die Scope 3 Emissionen zu berücksichtigen. ([WW11b])

Analog zu den drei Scopes des Corporate Standards spricht die ISO 14064-1 von direkten THG-Emissionen, energiebedingten indirekten THG-Emissionen und anderen indirekten THG-Emissionen. Auch hier dürfen Unternehmen falls gewollt die „anderen indirekten Treibhausgasemissionen“ ausweisen, müssen dies aber nicht. Tätigkeiten, die zu anderen indirekten Treibhausgasemissionen führen, sind u.a. ([ISO06]):

- Pendlerverkehr und Geschäftsreisen der Mitarbeiter
- Transport von Produkten, Materialien oder Personen der Organisation durch eine andere Organisation
- Ausgliederte Tätigkeiten und Auftragsfertigung
- THG-Emissionen aus den Phasen der Nutzung von Produkten und Dienstleistungen der Organisation
- THG-Emissionen aus der Produktion von erworbenen Rohstoffen oder Ausgangsmaterialien

Für die quantitative Bestimmung der THG-Emissionen sieht die Norm ISO-14064-1 fünf Schritte vor, welche in der Abbildung 19 dargestellt werden ([ISO06]):

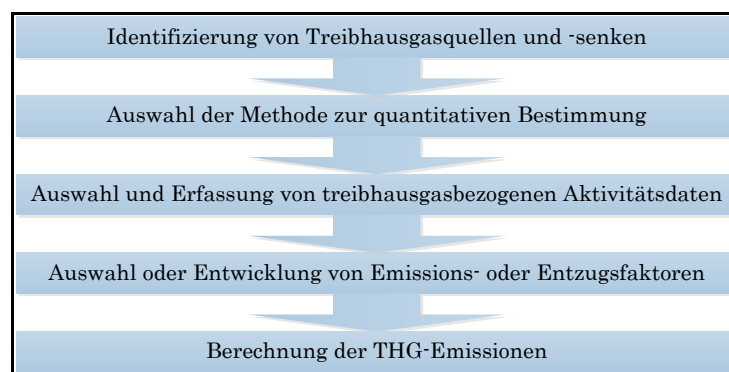


Abbildung 19: Schritte zur quantitativen Bestimmung der Treibhausgasemissionen. Eigene Darstellung (vgl. [ISO06])

Es dürfen nur THG-Emissionen ausgeschlossen werden, die nicht wesentlich sind oder deren Bestimmung nicht durchführbar ist, und der Ausschluss muss durch das Unternehmen begründet werden. ([ISO06]) Bei der Identifizierung der Treibhausgasquellen können typischerweise vier Kategorien von Quellen unterschieden werden ([WW04]):

- **Stationäre Verbrennung:** Verbrennung von Treibstoffen in Öfen, Motoren, Dampfkesseln, Turbinen, Heizaggregaten, Fackeln, etc.
- **Mobile Verbrennung:** Verbrennung von Treibstoffen in Fahrzeugen, Flugzeugen, Schiffen, etc.
- **Prozessemissionen:** Emissionen durch physikalische und chemische Prozesse, beispielsweise katalytisches Cracken in der Petrochemie, FKW-Emissionen beim Schmelzen von Aluminium, etc.
- **Flüchtige Emissionen:** Beabsichtigte oder unbeabsichtigte Freisetzungen von Emissionen, beispielsweise FKW-Emissionen durch die Benützung von Kälte- und Klimaanlage, Leckagen, Abwasseraufbereitung, etc.

Die quantitative Bestimmung der THG-Emissionen kann mittels Konzentrationsmessungen und Durchflussraten erfolgen, was allerdings nicht üblich ist. Die Emissionen für Anlagen und Prozesse können auch mit Hilfe des Massengleichgewichts oder auf stöchiometrischer Basis berechnet werden. Am häufigsten werden zur Ermittlung der THG-Emissionen jedoch Emissionsfaktoren verwendet. Mit Hilfe dieser Kennzahlen lassen sich die THG-Emissionen recht einfach anhand der Verbrauchs- (z.B. Treibstoff, Strom) oder anderen Aktivitätsdaten (z.B. zurückgelegten Wegstrecken) berechnen (siehe auch Kapitel 3.3). Dabei sind quellen- oder anlagenspezifische Emissionsfaktoren auf jeden Fall allgemeinen Faktoren vorzuziehen. Für die Berechnung der Treibhausgase empfiehlt das GHG Protocol die auf deren Homepage befindlichen Berechnungstools zu verwenden. Unternehmen dürfen auch ihre eigenen Berechnungsmethoden verwenden, wenn diese genauer oder zumindest mit den Berechnungsansätzen des GHG-Protocol vereinbar sind. Die Berechnungstools des GHG-Protocol sind entweder Sektor-spezifisch oder Sektor-übergreifend und beinhalten vorgefertigte Arbeitsblätter für die Eingabe von Verbrauchs- und Aktivitätsdaten. ([WW04])

Strukturelle Änderungen, wie zum Beispiel Übernahmen oder Outsourcing von emittierenden Aktivitäten, Änderungen der Berechnungsmethoden oder die Entdeckung von Berechnungsfehlern können zu signifikanten Sprüngen bei den Treibhausgasemissionen führen. Um in diesen Fällen eine Vergleichbarkeit über die Jahre hinweg zu gewährleisten, sollte eine rückwirkende Neuberechnung der Basisjahr-Emissionen vorgenommen werden. Änderungen der THG-Emissionen aufgrund natürlichen Wachstums oder eines natürlichen

Rückgangs führen nicht zu einer Neuberechnung, da dies die Ergebnisse verfälschen würde. ([WW04])

Nach der quantitativen Bestimmung der THG-Emissionen erfolgt die Erstellung der Treibhausgasbilanz. Die einzelnen Treibhausgasemissionen müssen mithilfe des Treibhauspotentials (GWP) umgerechnet werden, damit eine Angabe in Tonnen CO₂-e erfolgen kann. Dabei wird empfohlen die GWP-Werte des IPCC zu verwenden. Die Treibhausgasbilanz ist getrennt nach Anlagenebene und Organisationsebene zu dokumentieren und soll laut ISO 14064-1 folgendes enthalten ([ISO06]):

- Direkte Treibhausgasemissionen für jedes Treibhausgas (Scope 1)
- Entzug von Treibhausgasen
- Energiebedingte indirekte Treibhausgasemissionen (Scope 2)
- Andere indirekte Treibhausgasemissionen (Scope 3)
- Direkte CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse

Neben der Treibhausgasbilanz soll die Organisation auch einen Treibhausgasbericht erstellen, um deren Verifizierung zu ermöglichen, die Teilnahme an Klimaschutzprogrammen zu erleichtern oder um externe und interne Nutzer zu informieren. Das GHG-Protocol und die Norm ISO 14064-1 enthalten neben der Liste der verpflichtenden Angaben auch einige optionale Vorschläge. Insgesamt nennt die ISO 14064-1 17 verpflichtende und 11 freiwillige Angaben. Zu den verpflichtenden Angaben gehören neben den Informationen zu den Treibhausgasmissionen unter anderem auch der erfasste Berichtszeitraum, eine Beschreibung der Organisation und die Dokumentation der Grenzen der Organisation. (vgl. [WW04], [ISO06])

Um eine objektive Überprüfung der Genauigkeit und Vollständigkeit der im Treibhausgasbericht veröffentlichten Informationen zu gewährleisten, empfehlen sowohl die ISO 14064-1 als auch der Corporate Standard den Treibhausgasbericht verifizieren zu lassen. Die Norm ISO 14064-1 verweist für die Durchführung der Verifizierung auf die Grundsätze und Anforderungen der Norm ISO 14064-3 (Spezifikation mit Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Erklärungen über Treibhausgase). Der Corporate Standard erklärt hingegen ausdrücklich, keine Regelungen über den Verifikationsprozess zu beinhalten. Beide bieten jedoch einen allgemeinen Überblick über die Vorbereitungen und Anforderungen für einen solchen Prozess. (vgl. [WW04], [ISO06])

Das GHG-Protocol und die ISO-Norm 14064-1 enthalten noch weitere Hilfsstellungen, beispielsweise für das Qualitätsmanagement von Treibhausgasbilanzen, für Tätigkeiten der Organisation zur Reduktion von

Treibhausgasemissionen und für das Setzen geeigneter Treibhausgasreduktionsziele. (vgl. [WW04], [ISO06])

3.3 Methoden zur quantitativen Bestimmung der THG-Emissionen

Bei den Methoden zur quantitativen Bestimmung der Treibhausgasemissionen eines Unternehmens kann zwischen Messung, Berechnung oder einer Kombination aus Berechnung und Messung unterschieden werden. Wichtig bei der Wahl der Methode ist, dass die Unsicherheit auf ein annehmbares Mindestmaß reduziert wird. Außerdem sollen die Ergebnisse widerspruchsfrei und reproduzierbar sein. ([ISO06])

Die genaueste aber auch aufwendigste Methode zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen ist die direkte Messung. Diese setzt die Messung der THG-Konzentration und des Durchsatzes des Gasstroms an der Messstelle voraus ([EUR12a]). Für Distributionszentren ist diese Methode eher von theoretischer Natur, da einerseits der Aufwand wesentlich größer ist, als der Nutzen, und andererseits die stationäre und mobile Verbrennung am Standort eher eine untergeordnete Rolle spielt. Die Abbildung 20 zeigt exemplarisch die direkte Messung der THG-Emissionen am Abgasstrom.

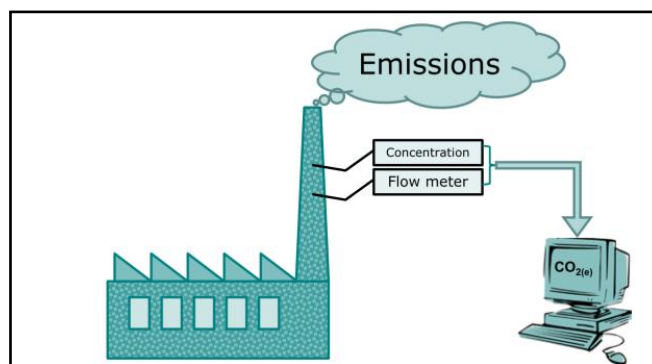


Abbildung 20: Messung der Treibhausgasemissionen ([EUR12a], S.27)

Werden die Messungen nur stichprobenhaft durchgeführt, müssen die Gesamtemissionen auf den Bilanzierungszeitraum hochgerechnet werden. Als Resultat erhält man für jedes einzelne Treibhausgas den mengenmäßigen Ausstoß im Bilanzierungszeitraum. Aufgrund der unterschiedlichen Klimawirksamkeit der Treibhausgase müssen diese noch mit dem Treibhauspotential (GWP) multipliziert werden:

$$CO_2e [t] = \text{gemessene Emission [t]} * GWP$$

CO₂-e...CO₂-Äquivalent
GWP...Global Warming Potential

Durch aufsummieren der so erhaltenen CO₂-Äquivalenten erhält man die Gesamtemissionen in Tonnen CO₂-e im Bilanzierungszeitraum.

Eine weitere Methode zur quantitativen Bestimmung der THG-Emissionen ist die Berechnung auf der Grundlage von Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten. Aktivitätsdaten können beispielweise der Verbrauch von Stoffen, der Bezug von Energie oder eine zurückgelegte Wegstrecke sein. Dabei ist zu beachten, dass diese Aktivitäten unterschiedliche Einheiten haben können. Eine Liste mit möglichen Aktivitätsdaten und Einheiten findet sich in Tabelle 8. Durch Multiplikation der Aktivitätsdaten mit den Emissionsfaktoren wird versucht den Zusammenhang zwischen der Aktivität und den Treibhausgasemissionen des realen Prozesses möglichst gut abzubilden. Die Abbildung 21 stellt die Ermittlung der Emissionen eines Unternehmens mittels Emissionsfaktor und Aktivitätsdaten grafisch dar. Die Aktivitäten sind örtlich nicht auf das Unternehmen begrenzt, weshalb auch Geschäftsreisen oder die Anfahrtswege der Mitarbeiter mittels Emissionsfaktoren berechnet werden können.

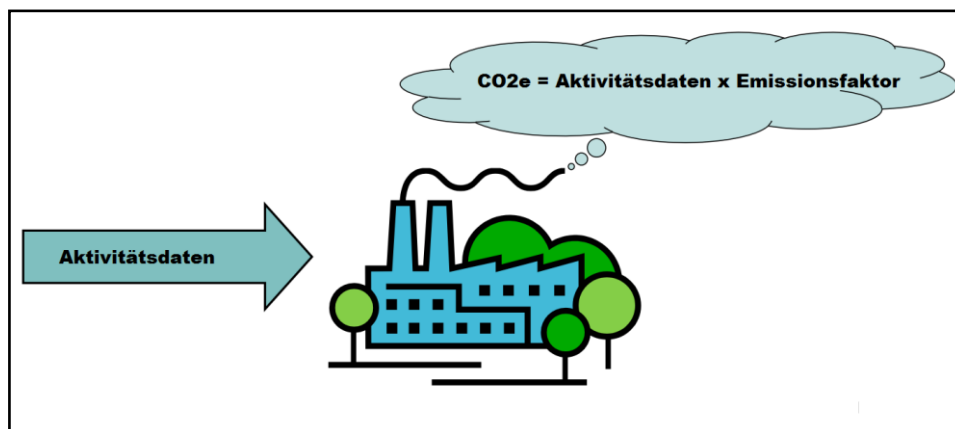


Abbildung 21: Berechnung der THG-Emissionen mittels Emissionsfaktor. In Anlehnung an ([EUR12a], S. 22)

Die Aktivitätsdaten sind ähnlich wie bei der Messung auf den Bilanzierungszeitraum anzupassen. Für die Erstellung einer Treibhausgasbilanz müssen die THG-Emissionen in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. Diese Umrechnung kann entweder im Emissionsfaktor berücksichtigt sein oder muss mittels Multiplikation des GWP-Werts durchgeführt werden:

$$CO_2e [t] = AD [AD \text{ Einheit}] * EF \left[\frac{t \text{ THG}}{AD \text{ Einheit}} \right] * GWP$$

$$CO_2e [t] = AD [AD \text{ Einheit}] * EF \left[\frac{t \text{ CO}_2e}{AD \text{ Einheit}} \right]$$

AD...Aktivitätsdaten
 EF...Emissionsfaktor
 CO₂-e...CO₂-Äquivalent
 GWP...Global Warming
 Potential
 THG...Treibhausgas

Es können auch noch weitere Faktoren berücksichtigt werden, wie zum Beispiel der Oxidationsfaktor oder der Umsetzungsfaktor. Sollte beispielsweise bei einer Verbrennung oder einem Prozess eine unvollständige chemische Reaktion stattfinden, kann dies mittels der beiden Faktoren korrigiert werden. ([EUR12a])

Aktivitätsdaten	Einheit
Bezug von elektrischer Energie	kWh
Verbrauch von Gas	m ³
Wärmeerzeugung	kJ
Zurückgelegte Wegstrecken	km
Verbrauch von Kältemittel	l
Verbrauch von Treibstoffen	l
Durchgeführte Transporte	tkm
Benutzung von Flurförderzeugen	h
Aufwendungen für bezogene Stoffe	€
Aufwendungen für bezogene Dienstleistungen	€

Tabelle 8: Beispiele für Aktivitätsdaten und mögliche Einheiten

Die Genauigkeit des ermittelten CO₂-Fußabdrucks hängt von der Datenqualität ab. Die genauesten Aktivitätsdaten erhält man durch die Messung. Dies ist jedoch nicht immer möglich oder wirtschaftlich. Daher können Aktivitätsdaten auch durch Berechnungen, Schätzung oder durch Extrapolation aus Vergangenheitswerten ermittelt werden.

Passen die Aktivitätsdaten und die Emissionsfaktoren einheitenmäßig nicht zusammen, können diese umgerechnet werden. Ist zum Beispiel bei Transporten der gesamte Treibstoffverbrauch nicht bekannt, die Emissionsfaktoren aber in [CO₂e/Liter] angegeben, werden die Aktivitätsdaten mittels dem entfernungsbasierten Ansatz ermittelt. Dazu werden das Transportgewicht, die Transportentfernung und der spezifische Treibstoffverbrauch benötigt. Die CO₂e-Emissionen lassen sich dann folgendermaßen ermitteln (vgl. [WW11c], [DSL13]):

$$CO_2e [t] = G [t] * W [km] * e \left[\frac{l}{tkm} \right] * EF \left[\frac{t CO_2e}{l} \right]$$

G...Gewicht
W...Wegstrecke
CO₂-e...CO₂-Äquivalent
e...spezifischer Treibstoffverbrauch
EF...Emissionsfaktor

Ein ähnliches Beispiel ergibt sich, wenn der Brennstoffverbrauch in Tonnen gegeben ist und der Emissionsfaktor in Tonnen je Terrajoule. Hier erfolgt die Umrechnung mithilfe des unteren Heizwertes: (vgl. [EUR12a])

$$CO_2e [t] = BV [t] * Hu \left[\frac{TJ}{t} \right] * EF \left[\frac{t CO_2e}{TJ} \right]$$

BV...Brennstoffverbrauch
Hu...unterer Heizwert
CO₂-e...CO₂-Äquivalent
EF...Emissionsfaktor

Die beiden obigen Rechnungen sollen als Beispiel für viele weitere Möglichkeiten zur rechnerischen Ermittlung von Aktivitätsdaten dienen, je nachdem, welche Emissionsfaktoren zur Verfügung stehen oder am exaktesten ermittelt werden können.

Aktivitätsdaten können auch aus den monetären Bewertungen von Prozessen oder Dienstleistungen abgeleitet werden. Hier werden also nicht physikalische Größen gemessen, sondern finanzielle Transaktionen bewertet. Diese Daten werden dann mit einem ökonomischen Emissionsfaktor [z.B.: CO₂e/€] multipliziert. Vorteil dieser Methode ist, dass in den meisten Fällen finanzielle Daten bereits in der Buchhaltung (Rechnungen, Belege, etc.) vorhanden sind und nicht extra berechnet werden müssen. Aber auch in Bereichen, in denen der Aufwand für die exakte Bestimmung der physikalischen Größen (z.B.: Geschäftsreisen mit dem Flugzeug) zu groß wäre oder keine anderen Daten vorliegen, ist diese Methode sinnvoll.

Damit die realen Emissionen möglichst gut mittels Emissionsfaktoren abgebildet werden können, ist deren Auswahl von entscheidender Bedeutung. Die ISO 14064-1 verlangt von den Emissionsfaktoren u.a., dass sie von anerkannten Quellen abgeleitet werden, für die betreffende THG-Quelle oder -Senke geeignet sind und zum Zeitpunkt der quantitativen Bestimmung aktuell sind ([ISO06]). Emissionsfaktoren können entweder aus Datenbanken entnommen (siehe Kapitel 3.4) oder selbst entwickelt werden. Eine mögliche Vorgehensweise zur Bestimmung solcher Emissionsfaktoren legt die Norm ISO 11771¹² fest. Diese weist ausdrücklich darauf hin mit der ISO 14064-1 und ISO 14064-3 kompatibel zu sein (vgl. [ISO10]).

Die Auswahl der Emissionsfaktoren bestimmt auch, ob und in welchem Ausmaß indirekte Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden. Je nach gewähltem Emissionsfaktor werden diese miteinbezogen oder nicht. Dies spielt insbesondere bei der Verwendung von Brennstoffen für die Heizung oder den Transport eine Rolle. Werden indirekte Treibhausgase berücksichtigt, werden nicht nur die Treibhausgase bei der Verbrennung, sondern auch die Treibhausgase bei der Gewinnung, Herstellung und dem Transport des Brennstoffs in die THG-Bilanz eines Unternehmens miteinbezogen, in Sinne eines well-to-wheel Ansatzes.

Eine Ausnahme bei der Berechnung der THG-Emissionen gilt für die Verwendung von Kältemitteln. Zuerst muss bestimmt werden, wieviel

¹² ISO 11771:2010 – Luftbeschaffenheit – Ermittlung von zeitlich gemittelten Massenemissionen und Emissionsfaktoren – Allgemeine Vorgehensweise

Kältemittel in die Atmosphäre gelangt ist. Ursachen dafür können Leckagen, Havarien und Reparaturarbeiten sein. Die Bestimmung der Kältemittelverluste kann beispielsweise über die nachgefüllte Menge an Kältemittel erfolgen. Da Kältemittel (FKW, HFKW) selbst Treibhausgase sind, wird die Verlustmenge direkt mit dem GWP-Wert multipliziert, um die THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten zu ermitteln.

$$CO_2e [t] = \text{Menge an Kältemittelverlusten [kg]} * GWP$$

Die Berechnung der THG-Emissionen mittels Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten kann für alle Normen und Standards des CCF, PCF und TCF angewendet werden und wird von diesen auch explizit unterstützt. Weitere Methoden zur Bestimmung der THG-Emissionen sind der Massenbilanzansatz und der stöchiometrische Ansatz. Beim Massenbilanzansatz werden die über die Systemgrenzen gehenden Massenströme bilanziert und daraus die THG-Emissionen ermittelt. Beim stöchiometrischen Ansatz erfolgt die Bestimmung anhand der Gesetzmäßigkeiten bei der Verbrennung. Neben all diesen Messungs- und/oder Berechnungsmethoden gibt es noch die Möglichkeit die THG-Emissionen durch Abschätzen, beispielsweise anhand von historischen Daten, zu ermitteln.

3.4 Emissionsfaktoren – Quellen und Bedeutung

Wie im vorigen Abschnitt erläutert, erfolgt die Bestimmung der THG-Emissionen häufig mit Hilfe von Emissionsfaktoren. Die Emissionsfaktoren können durch eigene Messungen ermittelt oder aus frei zugänglichen oder kostenpflichtigen Datenbanken entnommen werden. Neben den spezifischen Datenbanken (z.B. für Transportemissionen) gibt es sogenannte Ökobilanzdatenbanken, die Daten zur Erstellung einer Sachbilanz in Sinne der Ökobilanznorm ISO 14040 (siehe Kapitel 3.1.2) enthalten. In diesen finden sich auch Emissionsfaktoren für die Ermittlung der THG-Emissionen, die außerdem die Grundlagen für die im Internet angebotenen CO₂-Rechner bilden. Eine Auswahl an Datenbanken und -modellen für Emissionsfaktoren findet sich in der Tabelle 9.

Bei GEMIS handelt es sich um ein Lebensweg- und Stoffstromanalyse-Modell mit integrierter Datenbank für Energie-, Stoff- und Verkehrssysteme. GEMIS speichert für verschiedene Prozesse die Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ und FKW), die zu CO₂-Äquivalenten aggregiert werden können. Die Datenbasis umfasst über 10000 Prozesse zu den Gruppen Energieträger, Erzeugung von Strom und Wärme, Stoffherstellung und Transporte. ([INA14])

Datenbank/-modell	Homepage
Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS)	www.iinas.org/gemis-de.html
Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas)	www.probas.umweltbundesamt.de
ecoinvent	www.ecoinvent.ch
European Reference Life Cycle Database (ELCD)	eplca.jrc.ec.europa.eu
IPCC Emissions Factor Database (EFDB)	www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB
U.S. Life Cycle Inventory Database	www.nrel.gov/lci
Government conversion factors for company reporting	www.ukconversionfactorscarbon.smart.co.uk
Base Carbone	http://www.basecarbone.fr
Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)	http://www.hbefa.net

Tabelle 9: Datenbanken und -modelle für Emissionsfaktoren

Das Öko-Institut und das deutsche Umweltbundesamt haben mit ProBas eine Web-basierte Datenbank mit Basisdaten zum Umweltmanagement erstellt. In dieser kann zwischen den Themen Energie, Materialien und Produkte, Transport, Entsorgung und sonstige Dienstleistungen gewählt werden. Der Datensatz der GEMIS Datenbank ist in ProBas integriert. ([ÖU14])

Sowohl GEMIS als auch ProBas sind kostenfreie Datenbanken mit Suchfunktion. Beide stellen Emissionsfaktoren für stationäre und mobile Logistikprozesse bereit. Außerdem besitzen sie schlüssige und transparente Datensätze mit detaillierten Beschreibungen. ([BVL12])

Die europäische Referenzdatenbank für Lebenszyklusdaten (ELCD) wurde von der Europäischen Kommission entwickelt. Sie soll die Verfügbarkeit und Qualität der Lebenszyklusdaten verbessern und die Datensätze stammen von führenden Industrievereinigungen. Die Referenzdatenbank, auf XML-Basis, nutzt ein eigens entwickeltes Datenaustauschformat (ILCD¹³-Format). Ziel ist es, ein allgemeines Format zu schaffen, das einen dezentralen Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendergruppen ermöglicht. ([KUS09], [WPC+12])

Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr kann man dem HBEFA entnehmen, das Emissionsfaktoren für die gängigsten Fahrzeugtypen zur Verfügung stellt. Die Emissionsfaktoren werden in Gramm pro Kilometer [g/km] differenziert nach Emissionskonzepten (Euro 0 bis Euro VI) und verschiedenen Verkehrssituationen angegeben. Die HBEFA-Emissionsfaktoren finden sich sowohl in Emissionsmodellen (z.B. TREMOD) als auch in Emissionsrechentools (z.B. EcoTransIT). (vgl. [INF10], [KSS11])

¹³ International Life Cycle Data

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt beispielhaft verschiedene Emissionsfaktoren für den Strom-, Wärme-, Kraftstoff- und Kältemittelverbrauch. Dabei entsprechen die Emissionsfaktoren für die direkten THG-Emissionen der Kältemittel deren GWP-Werten. Eine Besonderheit ergibt sich bei der Verbrennung von Biokraftstoffen/Biomassen. Bei einer tank-to-wheel (direkt) Betrachtung wird oftmals angenommen, dass diese keine CO₂-Emissionen verursachen und deren Emissionsfaktor somit null sind. Dies kann damit begründet werden, dass bei der Verbrennung gleich viel CO₂ entsteht wie beim Wachstum der Pflanzen aufgenommen wird. Da jedoch bei der Herstellung und dem Transport zusätzliche THG-Emissionen entstehen, ist bei einem well-to-wheel (gesamt) Ansatz der Emissionsfaktor ungleich null. Die ISO-14064-1 verlangt daher auch eine getrennte Ausweisung der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse (vgl. [ISO06], [DSL13]).

	Einheit	CO ₂ -Emission		THG-Emissionen	
		direkt	gesamt	direkt	gesamt
Strom aus dem öffentlichen Netz					
EU 27 + Türkei	g/kWh	0	403	0	424
Österreich	g/kWh	0	171	0	186
Deutschland	g/kWh	0	564	0	589
Schweiz	g/kWh	0	48	0	52
Ökostrom Deutschland	g/kWh	0	282	0	295
Kraftstoffe					
Benzin	kg/l	2,34	2,68	2,35	2,72
Diesel	kg/l	2,65	2,95	2,68	3,01
Erdgas	kg/kg	2,53	2,82	2,53	3,13
Ethanol	kg/l	0	0,79	0	1,15
Biodiesel	kg/l	0	0,82	0	1,78
Wärmeerzeugung					
Erdgas Deutschland	g/kWh	201	223	202	249
Erdgas Österreich	g/kWh	199	226	199	264
Erdgas Schweiz	g/kWh	199	216	199	230
Fernwärme Deutschland	g/kWh	0	183	0	253
Flüssiggas Deutschland	kg/l	1,6	1,88	1,62	1,9
Heizöl Deutschland	kg/l	2,66	3,12	2,67	3,15
Heizöl Österreich	kg/l	2,67	3,18	2,67	3,22
Kältemittel					
R22 (CHF ₂ Cl)	kg/kg	0	5	1810	1886
R134a (CH ₂ FCF ₃)	kg/kg	0	7	1430	1533
R717 (NH ₃)	kg/kg	0	2	3	5

Tabelle 10: Auswahl unterschiedlicher Emissionsfaktoren ([KSS11])

Je nachdem wie hoch der Anteil der regenerativen Energien ist, ergibt sich in den einzelnen Ländern ein unterschiedlicher Emissionsfaktor für den Bezug von elektrischer Energie. Die direkten Emissionsfaktoren für den Strom- und

Fernwärmeverbrauch werden mit Null angegeben. Das ist auch richtig, da im zu bilanzierenden Unternehmen keine THG-Emissionen anfallen. Bei den indirekten Emissionsfaktoren gibt es Unterschiede je nachdem, wie sie ermittelt wurden. Sie können nur die THG-Emissionen vom Kraftwerk bis zum Kunden enthalten oder auch die Emissionen, die bei der Herstellung und dem Transport der Energieträger (Kohle, Erdgas, Öl) zum Kraftwerk entstanden sind. Die Energieversorger geben in der Regel nur die Kohlenstoffdioxid-Emissionen an, die vom Kraftwerk bis zum Kunden anfallen, wobei diese Werte nicht sehr genau sind, da sie durch den Zukauf von Strom an den Energiebörsen und den Import von Strom verfälscht werden. ([KSS11])

Auch anhand des Beispiels Fernwärme sieht man, wie wichtig die Beachtung der indirekten Treibhausgasemissionen ist. Würde man nur mit direkten Emissionsfaktoren rechnen, hätte ein mit Fernwärme beheiztes Unternehmen, im Gegensatz zu einem Unternehmen, welches mit Erdgas heizt, keinerlei Emissionen. In beiden Fällen entstehen jedoch THG-Emissionen. Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen eines Unternehmens sollten daher für den Bezug vom Strom und Fernwärme (Scope 2) immer die gesamten THG-Emissionen berücksichtigt werden. Beim Verbrauch von Brennstoffen wie Erdgas, Heizöl, Benzin, Diesel, etc., sowie beim Verbrauch von Kältemitteln können sowohl nur die direkten als auch die gesamten THG-Emissionen miteinbezogen werden. Werden die gesamten THG-Emissionen miteinbezogen, muss bei der Erstellung der THG-Bilanz nach den Vorgaben der Norm ISO 14064-1 und dem GHG-Protocol darauf geachtet werden, dass die direkten Treibhausgasemissionen in Scope 1 und die indirekten in Scope 3 ausgewiesen werden.

4 Das Distributionszentrum aus der Sicht des CO₂-Fußabdrucks

Nachdem im vorherigen Kapitel eine allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung einer CO₂e-Bilanz für Unternehmen vorgestellt wurde, sollen in diesem Kapitel die relevanten Einflussfaktoren eines Distributionszentrums für die Treibhausgasbilanzierung betrachtet werden. Dazu wird zuerst definiert, was man unter einem Distributionszentrum versteht und welche Aufgaben es erfüllen muss. Im Sinne der späteren CO₂-Bilanz-Betrachtungen sollen dabei nur der Gebäudekomplex und die Vorgänge innerhalb von diesem Berücksichtigung finden.

Anschließend wird der typische Aufbau eines Distributionszentrums und dessen Systeme erläutert. Hierfür erfolgt eine Aufteilung des Distributionszentrums in die Logistikimmobilie und die Intralogistik. Durch diese Trennung können die eigentlichen Kernaufgaben des Distributionszentrums unabhängig von der restlichen Gebäudetechnik betrachtet werden.

4.1 Aufgaben von Distributionszentren

Unter einem Distributionszentrum (DZ) versteht man ganz allgemein ein geschlossenes Logistikzentrum. Dies bedeutet, dass sich alle Leistungsstellen¹⁴, im Gegensatz zu einem offenen Logistikzentrum, in einem zusammenhängenden Gebäudekomplex befinden. Weitere Beispiele für geschlossene Logistikzentren sind Versandzentren, Lagerzentren, Zentrallager, Warenverteilzentren, Regionalverteilzentren, Warendienstleistungszentren (WDZ), Versorgungszentren und Umschlagzentren. Der Hauptgrund für die Vielfalt der Bezeichnungen liegt in den unterschiedlichen Leistungsschwerpunkten. ([GUD12])

Das Distributionszentrum ist Teil der Distributionslogistik innerhalb der Unternehmenslogistik. Die Distributionslogistik umfasst den Informations-, Waren- und Materialfluss zur zeitlichen und räumlichen Überbrückung zwischen dem Ende der Produktion und dem Kunden. Deren Aufgabe besteht darin, die Produkte und/oder Handelswaren art- und mengenmäßig den Kunden und Abnehmern bereitzustellen. Die Distributionslogistik kann als das

¹⁴ „In einer Leistungsstelle [LS] werden nach Aufträgen oder Anweisungen unter Einsatz von Material und Ressourcen, wie Personen, Flächen, Gebäude, Einrichtungen, Maschinen und andere Betriebsmittel, materielle Produkte erzeugt oder immaterielle Leistungen erbracht.“ ([GUD12], S. 9)

Gegenstück der Beschaffungslogistik angesehen werden, obgleich Teile der Distributionslogistik des Lieferanten Teile der Beschaffungslogistik des Kunden darstellen. ([MAR14], [KOE12])

Distributionszentren sind von einer abgegrenzten Verkehrsfläche umgeben und haben neben einem Straßenanschluss in besonderen Fällen auch einen Bahnanschluss oder eine unmittelbare Verbindung zu Wasserstraßen oder Flughäfen. Sie können entweder nur einen Auftraggeber haben und auf dessen Bedürfnisse eingerichtet sein oder mehrere Nutzer haben und entsprechend flexibel eingerichtet sein. ([GUD12])

Zur rationellen Ausführung der innerbetrieblichen Logistikleistungen und um einen besseren Service zu bieten, werden die in Abbildung 22 angeführten Funktionen in einem Logistikzentrum zentralisiert. Zu den operativen Standardleistungen eines Distributionszentrums gehören ([GUD12]):

- das Lagern der Waren eines oder mehrerer Lieferanten,
- das Kommissionieren der Aufträge für viele Kunden und
- das Umschlagen von Transferware vieler Lieferanten für viele Kunden.

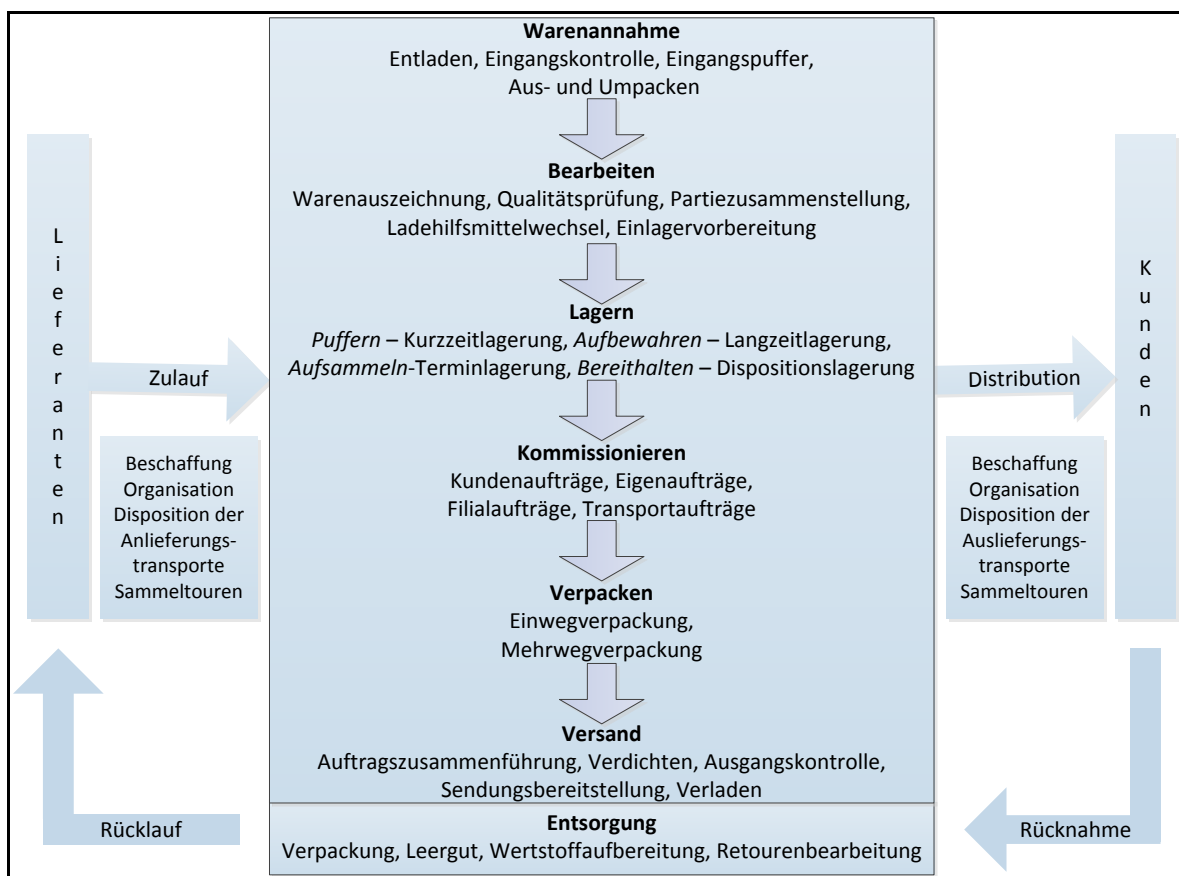


Abbildung 22: Funktionen eines Logistikzentrums. In Anlehnung an ([GUD12], S. 20)

Neben den Standardleistungen können in einem DZ auch Zusatzleistungen angeboten werden, wie zum Beispiel ([GUD12]):

- Qualitätssicherung
- Warenbearbeitung
- Abfüllen und Verpacken
- Ein- und Auspacken
- Reparaturdienste
- Retourenbearbeitung
- Reklamationsdienst
- Leergutbearbeitung
- Entsorgen

Große Distributionszentren besitzen nicht nur Bereiche für die oben genannten operativen Aufgaben, sondern auch administrative und dispositive Leistungsstellen. In diesen finden Tätigkeiten wie die Lagerverwaltung, die Auftragsdisposition oder die Lagerbestandsoptimierung statt. ([GUD12])

4.2 Aufbau von Distributionszentren

Für die weitere Betrachtung sowohl hinsichtlich des Aufbaus als auch der CO₂-Bilanz soll das Distributionszentrum als System angesehen werden. Das System Distributionszentrum beinhaltet innerhalb der Systemgrenzen weitere Systemkomponenten, die miteinander in Relation stehen und wiederum Systeme beinhalten können. Diese werden als Subsysteme bezeichnet. (vgl. [TSB11])

Im Sinne eines Top-Down Ansatzes kann das System Distributionszentrum in einem ersten Schritt, wie in Abbildung 23 dargestellt, in die Systemkomponenten Intralogistik und Logistikimmobilie aufgeteilt werden.

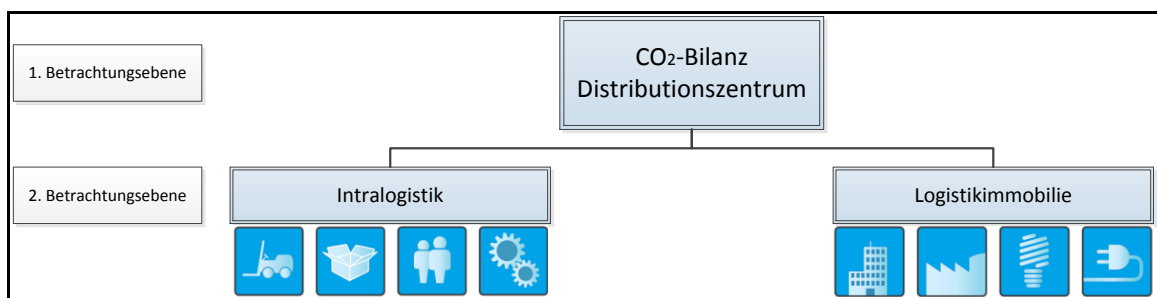


Abbildung 23: Aufteilung des Distributionszentrums (Eigene Darstellung)

Die Systemkomponente Intralogistik erfasst alle Anlagen, Aktivitäten und Personen, die direkt mit der Erbringung der operativen Standard- und Zusatzleistungen innerhalb eines Distributionszentrums im Zusammenhang stehen. Dazu zählen alle Vorgänge, die den innerbetrieblichen Materialfluss betreffen. In einem Distributionszentrum sind das in erster Linie Bereiche der Förder-, Lager- und Kommissioniertechnik.

Im Gegensatz zur Intralogistik werden in der Systemkomponente Logistikimmobilie alle Anlagen, Aktivitäten und Personen berücksichtigt, die nicht direkt mit der operativen Logistikleistung zusammenhängen. Hierunter fallen alle Vorgänge, die zum Betrieb der Logistikimmobilie (Beleuchtungs-, Heizungs-, Lüftungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, etc.) notwendig sind.

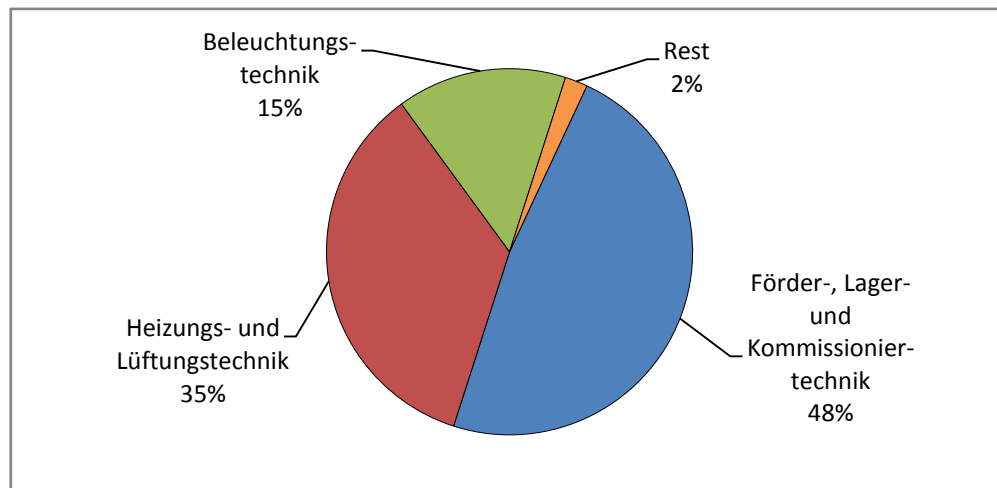


Abbildung 24: Aufteilung der Energiekosten eines Logistikdienstleisters. Eigene Darstellung in Anlehnung an ([KRA08])

Die obige Abbildung 24 zeigt beispielhaft die Aufteilung der Energiekosten eines Logistikdienstleisters, wobei die Kosten ungefähr je zur Hälfte der Logistikimmobilie und der Intralogistik zugeordnet werden.

4.2.1 Logistikimmobilie

Die Logistikimmobilie kann in einem weiteren Schritt in die Subsysteme Halle und Büro aufgeteilt werden (siehe Abbildung 25). Diese Aufteilung soll sicherstellen, dass der für die operative Leistungserstellung notwendige Hallenbetrieb unabhängig von den administrativen und dispositiven Tätigkeiten, welche in Büros erbracht werden, betrachtet werden kann.

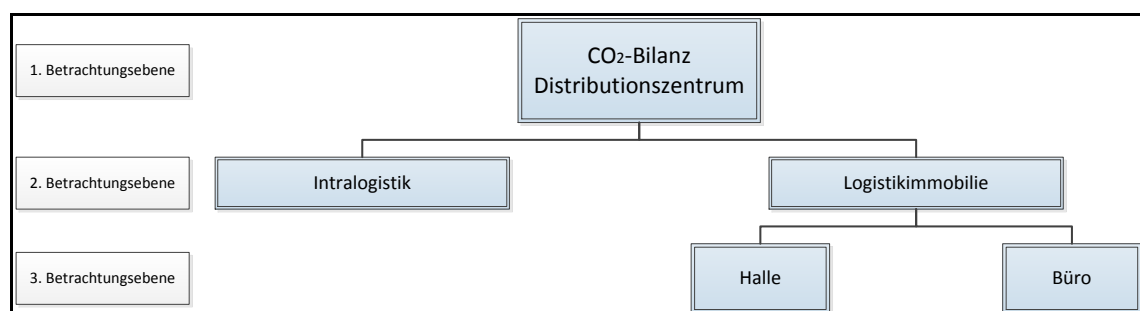


Abbildung 25: Aufteilung der Logistikimmobilie in verschiedene Subsysteme (Eigene Darstellung)

Die genaue Aufteilung des Energiebezugs variiert natürlich je nach Logistikzentrum. Allen gemein ist jedoch, dass die Beleuchtungs- und Klimatechnik die Hauptenergieverbraucher innerhalb der Systemkomponente Logistikimmobilie sind (vgl. [KSS11]). Während die Beleuchtung und Klimatisierung in den Büros in der Regel gleichermaßen erfolgt, können in den verschiedenen Hallen eines Logistikzentrums unterschiedliche Bedingungen vorherrschen. In vollautomatisierten Bereichen, in denen sich keine Mitarbeiter dauerhaft aufhalten, können zum Beispiel die Helligkeit und die Temperatur reduziert werden. Eine weitere große Rolle bei der Beleuchtung spielt das natürliche Licht. Durch gut platzierte Fenster können künstliche Lichtquellen eingespart werden.

Der Wärmeenergieverbrauch der Logistikimmobilie hängt in erster Linie von der Heizungsanlage ab. Moderne Logistikgebäude verwenden moderne Brennwert-Heizungsanlagen oder sind mit CO₂-ärmeren Hell- und Dunkelstrahlern, Blockheizkraftwerken oder Hackschnitzelheizungen ausgestattet. Auch der genutzte Energieträger hat Einfluss auf den Energieverbrauch. Während ältere Gebäude noch mit Strom oder Heizöl beheizt wurden, wird heute oftmals Erdgas oder Fernwärme verwendet. Weitere Faktoren sind der Wärmeverlust des Gebäudes, die geographische Lage der Logistikimmobilie und die Gebäudeleittechnik. ([KSS11])

Andere Einflussfaktoren für die CO₂-Bilanz innerhalb der Logistikimmobilie ergeben sich großteils durch den Bezug von elektrischer Energie für die Gebäudetechnik. Hierzu zählen neben der Beleuchtung der Immobilie zum Beispiel elektrische Tore und Fenster. Auch die Informations- und Kommunikationstechnik und deren Peripheriegeräte, soweit diese nicht zur Intralogistik zählen, können hier hinzu gerechnet werden. Zusätzlich können noch Produkte und Einrichtungen zur Versorgung der Mitarbeiter eine Rolle spielen, u.a. Hygienemittel und Papier, der Verbrauch von Warmwasser, aber auch das Catering oder die Kantine.

Neben der Intralogistik kann auch die Logistikimmobilie einen wertvollen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen liefern. Die Logistikimmobilie kann nicht nur als Verbraucher von Energie gesehen werden, sondern sie kann auch Energie liefern. Beispiele hierfür sind Solaranlagen auf dem Dach oder Systeme zur Wärmerückgewinnung. Durch die Nutzung von regenerativen Energiequellen zusammen mit einer guten Wärmedämmung und einem effizienten Gebäudemanagement können sogenannte Nullemissionsgebäude entstehen ([ZH11]).

4.2.2 Intralogistik

Die Intralogistik oder innerbetriebliche Logistik beschäftigt sich mit der Organisation, Durchführung und Optimierung der innerbetrieblichen Material- und Informationsflüsse im Unternehmen. ([TH11])

Die Intralogistik kann von der externen Logistik abgegrenzt werden und ist in erster Linie für die Umsetzung der operativen Standard- und Zusatzleistungen eines Distributionszentrums verantwortlich. Diese Standardleistungen werden innerhalb verschiedener operativer Leistungsbereiche¹⁵ eines Distributionszentrums ausgeführt. Das sind im Wesentlichen die Bereiche Wareneingang, Lager, Kommissionierung und Warenausgang. Diese Bereiche beinhalten Systeme der Förder-, Lager- und Kommissioniertechnik und werden in einem Distributionszentrum meist in der in Abbildung 26 dargestellten Abfolge durchlaufen. (vgl. [TSB11], [GUD12])



Abbildung 26: Operative Leistungsbereiche der Intralogistik. In Anlehnung an ([TSB11])

Der Durchlauf der logistischen Objekte von Wareneingang bis zum Warenausgang wird auch als Materialfluss bezeichnet und wird von einem Informationsfluss bzw. Datenfluss begleitet. Dabei kann der Weg der einzelnen Waren unterschiedlich sein. Beispielsweise können einzelne Bereiche ausgelassen werden, aber auch ein Materialfluss direkt vom Wareneingang zum Warenausgang ist möglich. (vgl. [GUD12])

Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt die Einordnung der vier operativen Leistungsbereiche in die Systembetrachtung des Distributionszentrums. Diese werden als Subsysteme der Systemkomponente Intralogistik betrachtet.

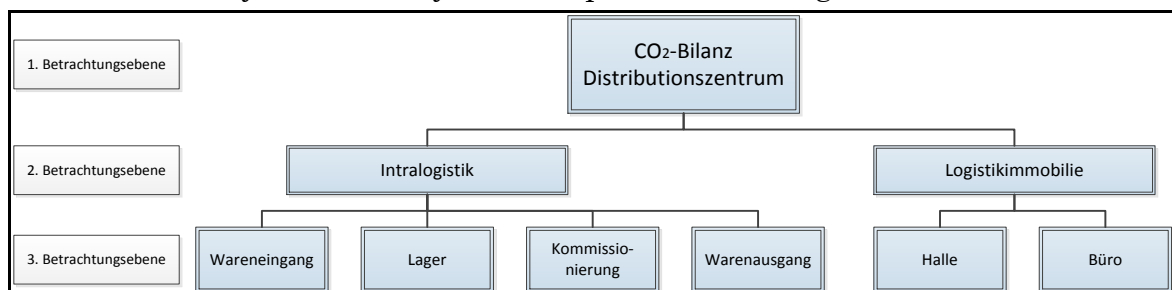


Abbildung 27: Aufteilung der Intralogistik in verschiedene Subsysteme (Eigene Darstellung)

¹⁵ Ein Leistungsbereich setzt sich aus mehreren einzelnen Leistungsstellen zusammen. ([GUD12])

Es kann auch noch zusätzliche Subsysteme für die operativen Zusatzleistungen eines Distributionszentrums geben. Dazu gehören beispielsweise ein Verpackungs- und Konsolidierungsbereich oder Bereiche für Zusatzleistungen, die eine Werterhöhung des Produktes bewirken. Diese Bereiche können entweder eigens betrachtet oder zu den vier oben genannten Subsystemen für die operativen Standardleistungen gezählt werden. (vgl.[WIS09])

Die einzelnen Subsysteme können weiter unterteilt werden. So gibt es oftmals nicht nur ein Lager, sondern viele verschiedene Läger in einem Distributionszentrum. Diese können einen unterschiedlichen Aufbau und unterschiedliche Aufgaben haben und innerhalb eines Distributionszentrums räumlich verteilt sein (z.B. Hochregallager, Kommissionierlager, Kühllager). Dasselbe gilt für den Wareneingang, die Kommissionierung und den Warenausgang.

Die nachfolgende Abbildung 28 zeigt beispielhaft die einzelnen Subsysteme der Intralogistik und listet einzelne Teilvorgänge innerhalb dieser Systeme auf.

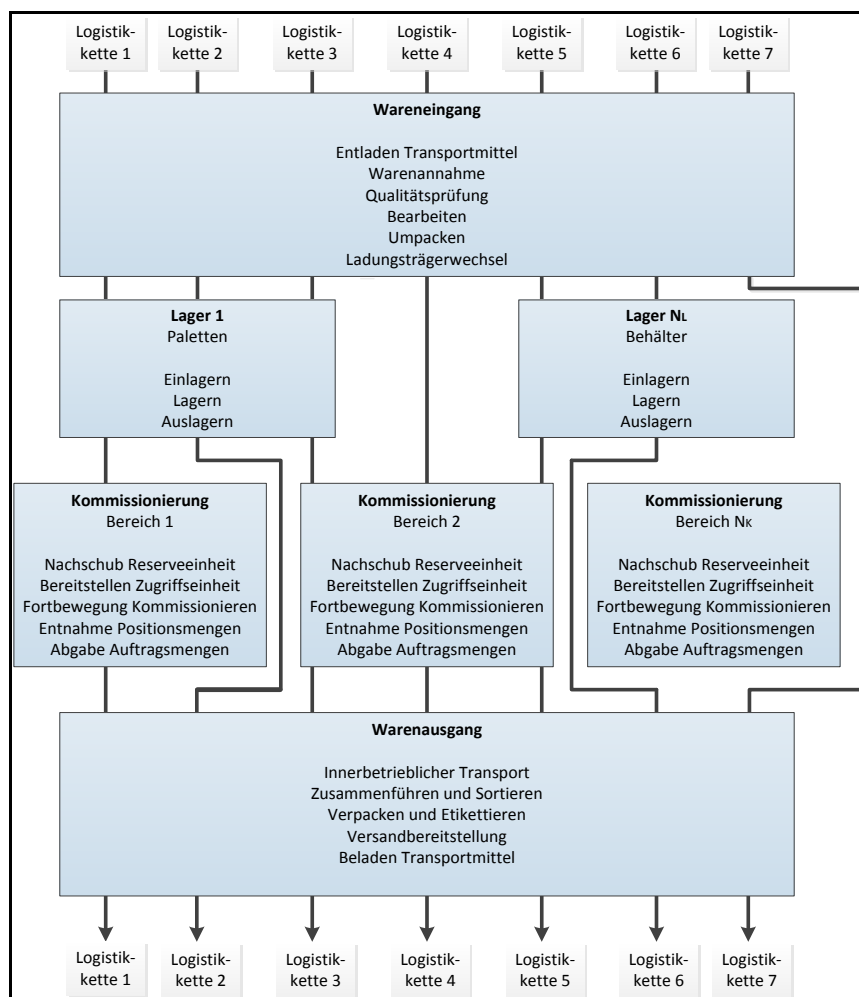


Abbildung 28: Operative Leistungsbereiche eines Distributionszentrums. In Anlehnung an ([GUD12], S. 21)

Innerhalb der einzelnen Subsysteme der Intralogistik und um diese miteinander zu verbinden, kommen Materialflusssysteme zum Einsatz. In diesen durchlaufen die logistischen Objekte verschiedene Transformationsprozesse, die den Systemzustand der Objekte hinsichtlich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität verändern. ([TSN07])

Zu den Materialflusssystemen zählen:

- Transport-/Fördersysteme
- Verpackungssysteme
- Lagersysteme
- Prüfsysteme
- Handhabungssysteme
- Sortier- und Verteilsysteme
- Kommissioniersysteme
- Umschlagsysteme
- Informations- und Steuerungssysteme

Die Auswahl und Kombination der einzelnen Materialflusssysteme ist von Logistikzentrum zu Logistikzentrum unterschiedlich. In den verschiedenen operativen Leistungsbereichen (Wareneingang, Lager,...) können daher ein oder mehrere dieser Systeme vorkommen. Innerhalb dieser Materialflusssysteme kommen verschiedene Anlagen und Fahrzeuge (z.B. Rollenförderer, Sorter, Regalbediengeräte, Stapler, usw.) zum Einsatz. Diese verbrauchen durch ihre Aktivitäten Strom und/oder Kraftstoffe und verursachen daher THG-Emissionen. Für die CO₂-Bilanz sind daher die Antriebsarten innerhalb der einzelnen Materialflusssysteme von Interesse, insbesondere ob es sich um motorische Antriebe handelt. Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt beispielsweise die verschiedenen Antriebsarten für Transportmittel.

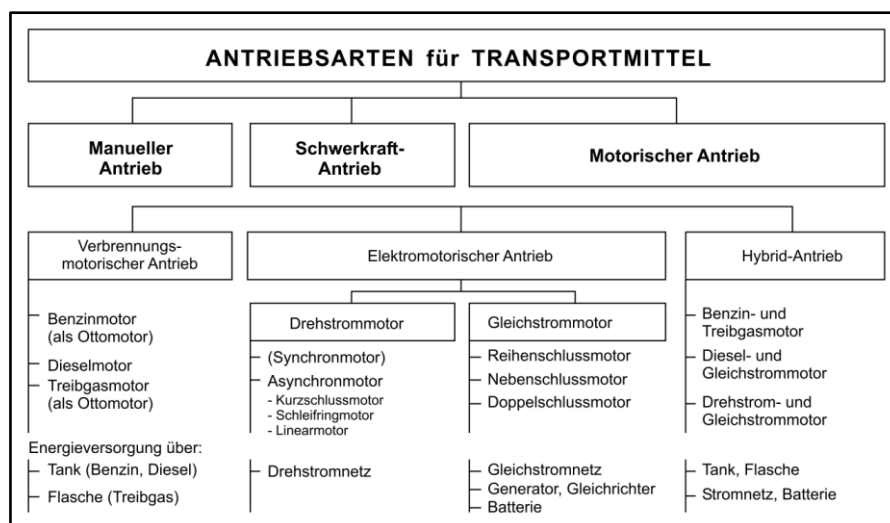


Abbildung 29: Strukturierung der Antriebsarten von Transportmitteln ([MAR14], S.100)

Verbrennungsmotorische Antriebe werden über deren Kraftstoffverbrauch bilanziert, sie erzeugen also direkte THG-Emissionen. Elektromotorische Antriebe beziehen elektrische Energie über das Distributionszentrum und erzeugen daher energiebedingte indirekte Treibhausgasemissionen. Neben den konventionellen Antrieben können auch Hybrid-Antriebe zum Einsatz kommen. Diese erzeugen, wenn es sich um eine Kombination mit Elektromotoren handelt, direkte und indirekte THG-Emissionen.

5 Die Erstellung einer CO₂-Bilanz für ein Distributionszentrum

In diesem Kapitel werden die zuvor erarbeiteten Vorgehensweisen und Methoden für die Erstellung einer CO₂-Bilanz auf Distributionszentren angewandt. Dazu müssen zunächst die Organisationsgrenzen und operativen Grenzen eines Distributionszentrums festgelegt werden. Bei der Festlegung der operativen Grenzen ist zu bestimmen, welche Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden sollen und welche nicht.

Nach der Identifizierung der für eine CO₂-Bilanzierung relevanten Systeme und Subsysteme werden die darin enthaltenen Treibhausgasquellen den drei Scopes zugeordnet. Für die einzelnen Treibhausgasquellen können die THG-Emissionen quantitativ bestimmt werden. Dazu wird die im Kapitel 3.3 vorgestellte Berechnungsmethode mittels Emissionsfaktoren verwendet. Nach der Bestimmung der THG-Emissionen kann eine Treibhausgasbilanz erstellt werden.

In diesem Kapitel werden außerdem geeignete Kennzahlen für den Vergleich verschiedener Distributionszentren ausgearbeitet. Anschließend erfolgt die Vorstellung von verschiedenen Ansätzen, mit denen die THG-Emissionen eines Distributionszentrums vermindert und somit die Treibhausgasbilanzen verbessert werden können. Diese Ansätze betreffen sowohl die Materialflusstechnik, als auch das Gebäude selbst. Obwohl in diesem Kapitel die Begriffe Treibhausgasemissionen und Treibhausgasquellen verwendet werden, gelten die vorgestellten Annahmen und Vorgangsweisen auch für Treibhausgassenken und den Entzug von Treibhausgasen. Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die explizite Erwähnung verzichtet.

5.1 Festlegen der Organisationsgrenzen und der operativen Grenzen

In einem ersten Schritt erfolgt das Festlegen der Organisationsgrenzen des Distributionszentrums. Für die CO₂-Bilanzierung wird im Rahmen der Diplomarbeit nur der betreffende Standort betrachtet. Eventuelle Mutter- oder Tochterunternehmen sowie andere Beteiligungen finden keine Berücksichtigung. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden an Drittunternehmen ausgelagerte Aktivitäten.

Nach dem Festlegen der Organisationsgrenzen werden die operativen Grenzen des Distributionszentrums festgelegt. In dieser Diplomarbeit sollen die THG-Emissionen eines Unternehmens nicht im Sinne einer Nachhaltigkeitsberichterstattung erfasst werden. Es sollen diejenigen Tätigkeiten im Vordergrund stehen, die direkt mit der Erbringung der Logistikleistung eines Distributionszentrums im Zusammenhang stehen. Ziel ist es, eine einheitliche Bilanzierung und damit Vergleichbarkeit der THG-Emissionen unterschiedlicher Distributionszentren zu erreichen. Daher werden für die THG-Bilanzierung Einschränkungen sowohl hinsichtlich der miteinbezogenen Aktivitäten als auch der räumlichen Systemgrenzen getroffen.

Alle THG-Emissionen, die durch Lieferanten und die Supply Chain entstehen, werden nicht miteinbezogen. Das heißt, dass sowohl alle vorgelagerten als auch alle nachgelagerten Prozesse keine Berücksichtigung finden. In Sinne der Lebenszyklusbetrachtung wird also ein gate-to-gate Ansatz verfolgt. Es sollen nur diejenigen THG-Emissionen berücksichtigt werden, deren Ursache zwischen den Toren des Unternehmens liegt. Auf das Distributionszentrum umgelegt bedeutet diese Betrachtung vom Wareneingang bis zum Warenausgang. Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt ein Distributionszentrum in der Supply Chain und die möglichen Ansätze für die CO₂e-Bilanzierung.

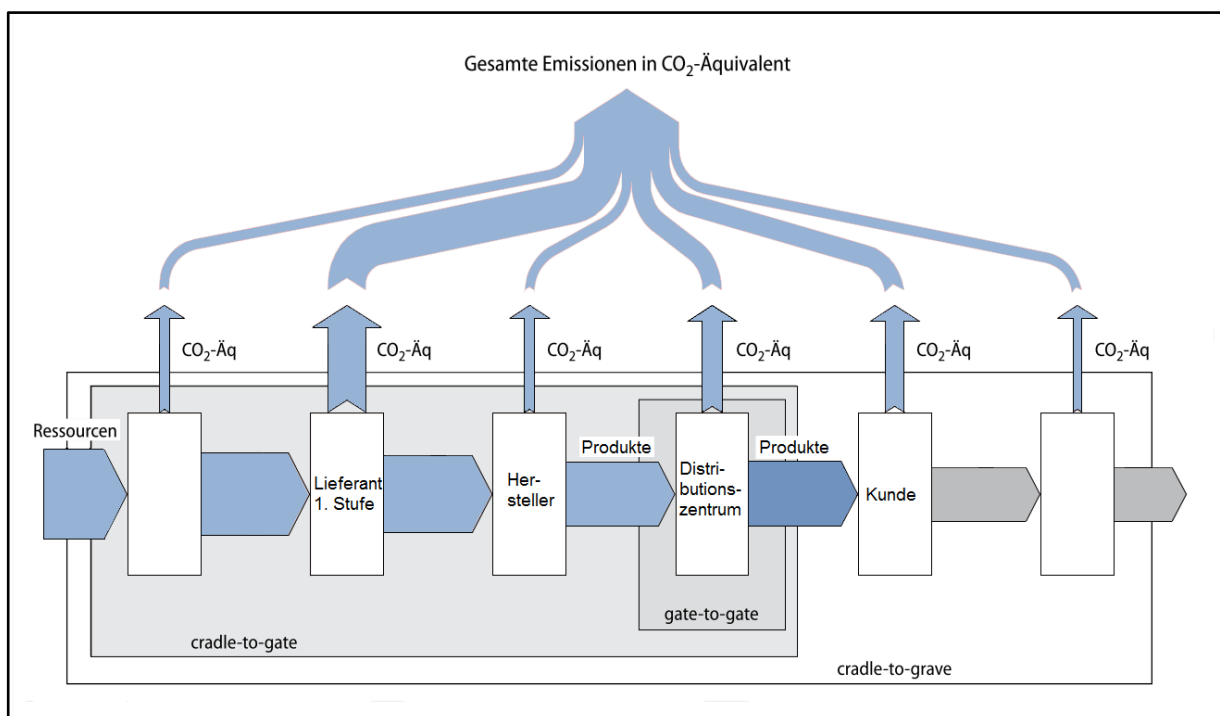


Abbildung 30: Emissionen entlang der gesamten Lieferkette und mögliche Bilanzgrenzen. In Anlehnung an ([SCH10a])

Die obige Einschränkung bedeutet nicht, dass energiebedingte indirekte Treibhausgasemissionen (Scope 2), die durch den Bezug von Elektrizität, Dampf

oder Wärme entstehen, nicht berücksichtigt werden. Diese THG-Emissionen entstehen zwar außerhalb der Tore, haben aber einen direkten Bezug zur Leistungserbringung innerhalb des Unternehmens. Deren Berücksichtigung steht auch im Einklang mit den betrachteten Normen und Standards.

Andere indirekte THG-Emissionen (Scope 3) werden dagegen nicht berücksichtigt. Scope 3 Emissionen eines Distributionszentrums können beispielsweise entstehen durch:

- Kauf und Entsorgung von Verpackungsmaterial
- Kauf und Entsorgung von Schmierstoffen und sonstigen Hilfsstoffen
- Gewinnung, Herstellung und Transport von gekauften Brennstoffen
- Wasserverbrauch
- Catering
- Papierverbrauch
- Kauf und Entsorgung von Reinigungs- und Hygienemittel
- Geschäftsreisen

Eine Ausnahme bilden hierbei die Mitarbeiter des Standortes. Deren Weg von und zur Arbeitsstätte soll in der CO₂-Bilanz erfasst werden. Die dabei entstehenden THG-Emissionen können einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Gesamtemissionen ausmachen. So weist zum Beispiel die WM-Logistik GmbH & Co. KG im Corporate Carbon Footprint des Logistikzentrums den Anteil der Mitarbeiteranfahrt mit 10,9% aus (vgl. [WM 12]). Die Mitarbeiteranfahrt zu berücksichtigen ist außerdem notwendig, um den Einfluss einer zukünftigen Automatisierung von Teilbereichen auf die CO₂-Bilanz abschätzen zu können. Ein höherer Automatisierungsgrad hat einerseits einen erhöhten Stromverbrauch zur Folge, andererseits sinkt die Anzahl der Mitarbeiter.

Die Abbildung 31 zeigt die Systemgrenze des Distributionszentrums. Die Betrachtungsweise vom Wareneingang bis zum Warenausgang soll auch implizieren, dass der im Besitz des Unternehmens befindliche Fuhrpark (Firmenauto, Firmen-Lkw) nicht berücksichtigt werden soll. Vorausgesetzt es handelt sich nicht um Fahrzeuge, die ausschließlich innerhalb des Gebäudes eingesetzt werden. Diese Einschränkung ist bei einer THG-Bilanzierung nach der Norm ISO 14064-1 und dem GHG-Protocol eigentlich nicht zulässig. Die THG-Emissionen aus dem eigenen Fuhrpark sind Scope 1 oder Scope 2 Emissionen und müssen berücksichtigt werden. Da diese Emissionen nicht direkt mit der Erbringung der Logistikleistung des Distributionszentrums im Zusammenhang stehen, wird aus den oben genannten Gründen eine Ausnahme gemacht. Generell empfiehlt es sich, aufgrund der erhöhten Anforderungen, den

Transport Carbon Footprint getrennt zu betrachten und diesen erst anschließend in die THG-Bilanz der stationären Einrichtungen aufzunehmen.

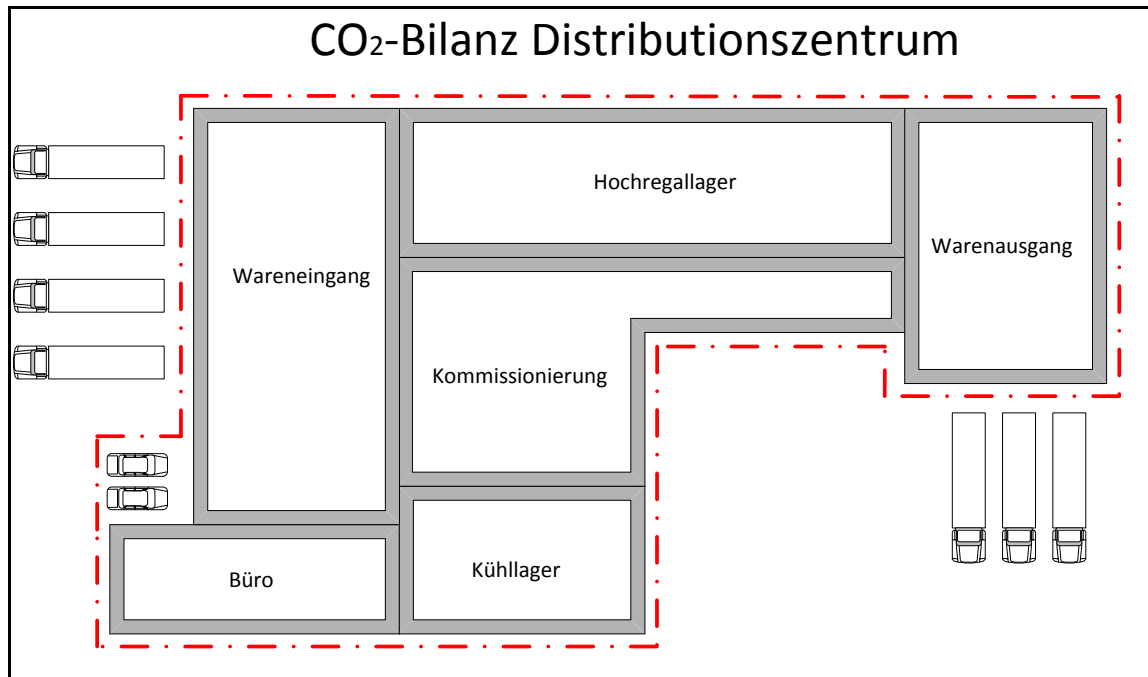


Abbildung 31: Systemgrenze des Distributionszentrums. Eigene Darstellung in Anlehnung an ([TSB11])

Da in einem Distributionszentrum in der Regel keine Prozessemissionen entstehen und durch die oben festgelegten Einschränkungen, ergibt sich für die Identifikation der mit dem Distributionszentrum verbundenen THG-Emissionen folgende beispielhafte Einteilung:

- Scope 1 (direkte THG-Emissionen): Verbrennungsprozesse im Gebäude, Kältemittlemissionen
- Scope 2 (energiebedingte indirekte THG-Emissionen): Bezug von Elektrizität und Fernwärme
- Scope 3 (andere indirekte THG-Emissionen): Pendeln der Mitarbeiter

5.2 Quantitative Bestimmung der Treibhausgasemissionen

Im nächsten Schritt werden die Treibhausgasquellen des Distributionszentrums identifiziert. Dies erfolgt anhand der im Kapitel 4 vorgestellten hierarchischen Systembetrachtung. Wie bereits erwähnt können die Subsysteme Wareneingang, Lager, Kommissionierung und Warenausgang weiter unterteilt werden. Dies führt zur vierten Betrachtungsebene. Die Materialflusssysteme und Mitarbeiter werden als Subsysteme der fünften Betrachtungsebene angesehen (siehe Abbildung 32).

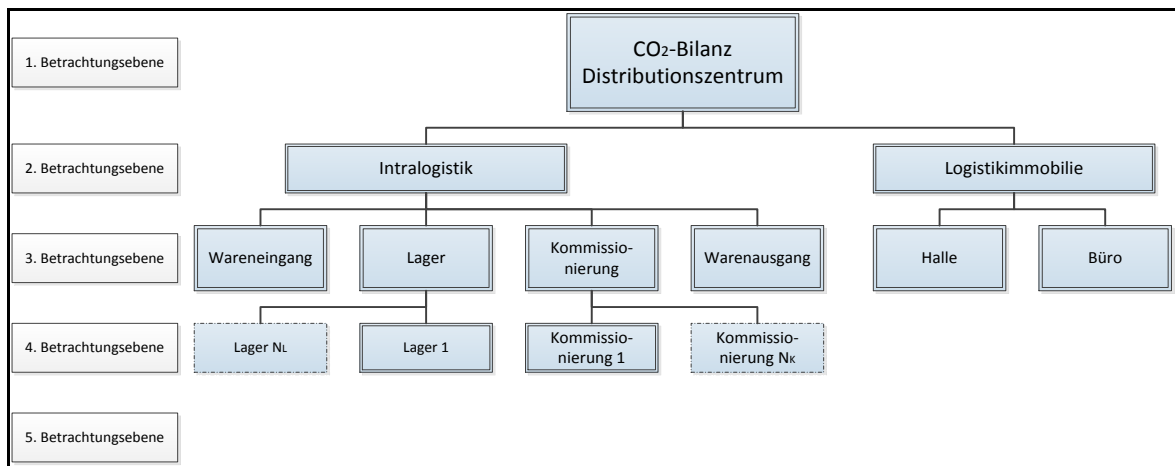


Abbildung 32: Die Betrachtungsebenen des Systems Distributionszentrum (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 33 zeigt eine exemplarische Darstellung der Subsysteme der fünften Betrachtungsebene innerhalb der Systemkomponente Intralogistik. Die Materialflusssysteme unterscheiden sich je nach Subsystem.

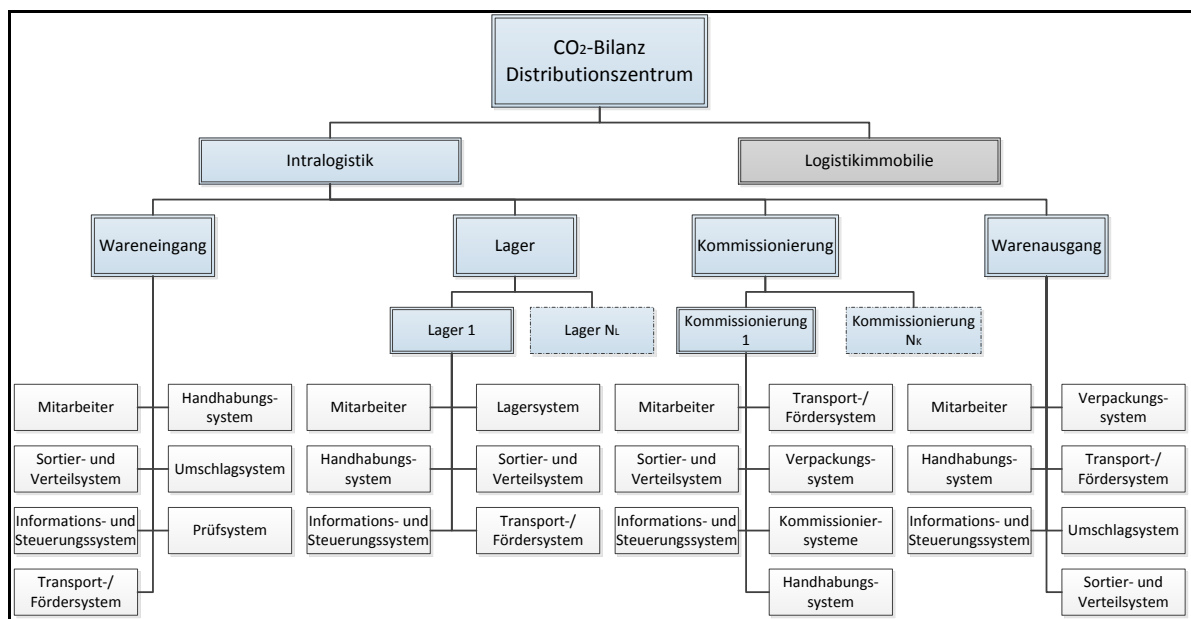


Abbildung 33: Darstellung der Subsysteme innerhalb der Systemkomponente Intralogistik (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 34 zeigt beispielhaft die Subsysteme innerhalb der Systemkomponente Logistikkimmobilie. Das Subsystem sonstige Gebäudetechnik umfasst alle anderen Anlagen und Aktivitäten, die sonst nicht zugeordnet werden können. Beispiele hierfür sind Personenaufzüge, die Warmwasseraufbereitung und elektrische Tore.

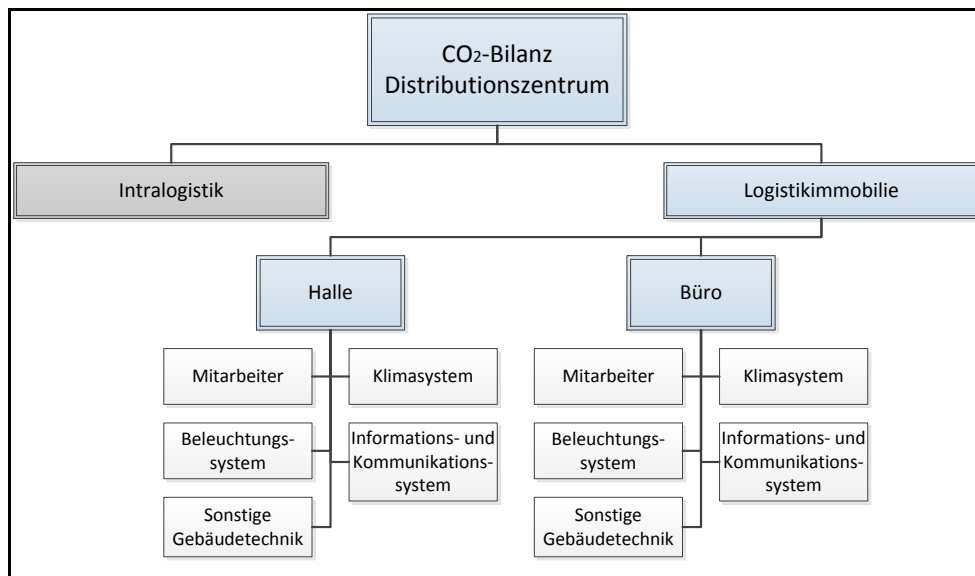


Abbildung 34: Darstellung der Subsysteme innerhalb der Systemkomponente Logistikimmobilie (Eigene Darstellung)

Innerhalb der Subsysteme befinden sich Treibhausgasquellen, die THG-Emissionen direkt oder indirekt verursachen. Diese Quellen werden, geordnet nach den drei Scopes, innerhalb der Subsysteme identifiziert. Transportmittel mit hybriden Antrieben müssen aufgeteilt und deren Kraftstoffverbrauch in Scope 1 und deren Stromverbrauch in Scope 2 berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle 11 zeigt anhand eines ausgewählten Subsystems der Intralogistik und eines der Logistikimmobilie eine beispielhafte Zuordnung der Treibhausgasquellen zu den einzelnen Scopes.

	Intralogistik – Lager	Logistikimmobilie – Halle
Scope 1 (direkte THG-Emissionen)	Kraftstoffverbrauch Transportsystem (z.B. Stapler)	Brennstoffverbrauch Klimasystem (z.B. Heizung)
	Kältemittelverbrauch Lagersystem (z.B. Kühlager)	Kältemittelverbrauch Klimasystem (z.B. Klimaanlage)
Scope 2 (energiebedingte indirekte THG-Emissionen)	Stromverbrauch Lagersystem (z.B. Regalbediengerät)	Stromverbrauch Klimasystem (z.B. Lüftungsanlage)
	Stromverbrauch Fördersystem (z.B. Rollenförderer)	Stromverbrauch Gebäudetechnik (z.B. Warmwasseraufbereitung)
	Stromverbrauch Transportsystem (z.B. Stapler)	Wasser-/Dampfverbrauch Klimasystem (z.B. Fernwärme)
Scope 3 (andere indirekte THG-Emissionen)	Mitarbeiteranfahrt (z.B. Zug)	Mitarbeiteranfahrt (z.B. PKW)

Tabelle 11: Zuordnung der Treibhausgasquellen eines Subsystems zu den Scopes

Die Logistikimmobilie und die Intralogistik sind stark miteinander verknüpft, weshalb eine scharfe Trennung bei der Zuordnung der einzelnen Treibhausgasquellen nicht immer möglich ist. Beispiele hierfür sind

Lastenaufzüge für den Materialfluss, die auch von administrativ tätigen Personen benutzt werden oder Computer, die sowohl für administrative als auch für operative Tätigkeiten genutzt werden. Auch einzelne Anlagen innerhalb der Intralogistik können nicht immer sauber abgegrenzt werden. Hierzu zählen insbesondere Förder- und Transportsysteme, die sich über mehrere Bereiche vom Wareneingang bis zum Warenausgang erstrecken. Hier empfiehlt es sich, ein und dieselbe Anlage in allen Subsystemen zu berücksichtigen. Für die Berechnung wird dann der Energieverbrauch der gesamten Anlage gemessen/berechnet und dieser anschließend den einzelnen Subsystemen anteilig am Gesamtenergieverbrauch zugeordnet. Analog kann auch die Anfahrt eines Mitarbeiters, der in mehreren Bereichen tätig ist, prozentual aufgeteilt werden. Verbringt ein Mitarbeiter 50% seiner Arbeitszeit im Wareneingang und 50% im Büro, so kann dessen Anfahrt je zur Hälfte der Logistikimmobilie und der Intralogistik zugeordnet werden.

Der nächste Schritt besteht in der Auswahl einer der im Kapitel 3.3 vorgestellten Methoden für die quantitative Bestimmung der THG-Emissionen. Folgend wird beispielhaft für einzelne Aktivitäten die Berechnung mit Hilfe von Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten gezeigt.

In der Regel werden für die Berechnung der THG-Emissionen die Energieverbräuche herangezogen. Am einfachsten erhält man diese, indem die Zählerstände (z.B. Stromzähler) abgelesen werden, oder über die Jahresabrechnungen. Dabei ist zu beachten, dass bei den Abrechnungen von Brennstoffen entweder der Heizwert oder der Brennwert angegeben ist. Dies muss bei der Berechnung und bei der Wahl der Emissionsfaktoren berücksichtigt werden. Um die Energieverbräuche und somit auch die Treibhausgasemissionen über verschiedene Standorte und Jahre miteinander vergleichbar zu machen, können die Verbrauchswerte witterungsbereinigt werden. Dies geschieht über sogenannte Klimafaktoren, die bei den Wetterdiensten vorliegen. ([KSS11])

Da eine Abrechnung des Energiebezugs durch den Versorger meist für das gesamte Distributionszentrum erfolgt und nicht jede einzelne Anlage über Zähler verfügt, muss der Energieverbrauch den einzelnen Verbrauchern der Subsysteme zugeordnet werden. Um die einzelnen Energieverbräuche zu erhalten, können auch Messungen vor Ort durchgeführt und die erhaltenen Werte auf das Jahr hochgerechnet werden. Wird für ein Distributionszentrum eine Energiebilanz erstellt, können die darin erhobenen Daten für die Treibhausgas-Berechnungen hilfreich sein. Eine fortschrittliche Lösung bei der Messung der elektrischen Energie einzelner Verbraucher wäre der Einsatz von sogenanntem „Digitalstrom“. (vgl. [ZAD11], [SÜS11])

5.2.1 Berechnung der Scope 1 THG-Emissionen

Die Scope 1 Emissionen werden auf Basis der verbrauchten Brennstoffe berechnet. Daher müssen die Brennstoffverbräuche beispielsweise in kWh Gas, Liter Heizöl, Liter Flüssiggas oder Liter Treibstoff mit dem passenden Emissionsfaktor multipliziert werden. Diese Emissionsfaktoren können sich von Land zu Land unterscheiden, daher sollten immer die Emissionsfaktoren des jeweiligen Landes herangezogen werden. (vgl. [KSS11])

Wie in Kapitel 5.1 erklärt, werden bis auf die Mitarbeiteranfahrt THG-Emissionen aus Scope 3 nicht berücksichtigt. Zu diesen zählen auch die indirekten THG-Emissionen, die bei der Gewinnung, Herstellung und dem Transport der Brennstoffe entstehen. Das heißt, es sollen hier nur diejenigen THG-Emissionen ermittelt werden, die direkt durch die Verbrennung der Brennstoffe im Unternehmen entstehen. Dies ist bei der Auswahl der Emissionsfaktoren zu beachten.

Nachfolgend gibt es ein Beispiel für die Berechnung der CO₂e-Emissionen aufgrund des Erdgasverbrauchs in einem Unternehmen. Dabei erfolgt die Ermittlung des Verbrauchs auf Basis des Brennwertes. Der Verbrauch soll bei 3,38 Millionen kWh liegen. Der zugehörige Emissionsfaktor, der die indirekten Treibhausgasemissionen nicht miteinbezieht, soll 225 g CO₂e/kWh sein. ([KSS11]):

$$CO_2e = 3,38 \text{ Mio [kWh]} * 182 \left[\frac{g CO_2e}{kWh} \right] = 615,2 \text{ t } CO_2e$$

Anstatt der direkten Berechnung der CO₂-Äquivalenten können auch die Treibhausgase (CO₂, CH₄, SF₆,...) einzeln berechnet und anschließend mittels GWP-Wert umgerechnet werden. Dies ist sogar notwendig, wenn die Treibhausgasbilanz in Übereinstimmung mit den Anforderungen des GHG-Protocol und der Norm ISO 14064-1 erstellt werden soll, da dort die getrennte Ausweisung der einzelnen Treibhausgase verlangt wird (vgl. [ISO06], [WW04]).

Die meisten Materialflusssysteme werden mit elektrischer Energie betrieben und verursachen daher Scope 2 Emissionen. Ausnahmen bilden beispielsweise diesel-, flüssiggas- oder erdgasbetriebene Gabelstapler. Deren Treibhausgasemissionen können entweder über den Treibstoffverbrauch berechnet werden oder hilfsweise über die Anzahl der Betriebsstunden und den Normverbrauch pro Stunde. Handelt es sich um einen Elektrostapler, werden die THG-Emissionen über den Strombezug ermittelt. ([DSL13])

Ebenfalls zu den Scope 1 Emissionen zählen die Treibhausgasemissionen aufgrund des Kältemittelverbrauchs in Kühltürmen, Tiefkühlagern und

Klimaanlagen. Auf die Berechnung dieser Emissionen wurde bereits in Kapitel 3.3 eingegangen. Hervorzuheben ist, dass bei dem Kältemittel R717 (Ammoniak), das in vielen Kühl- und Tiefkühlagern eingesetzt wird, oftmals ein GWP-Wert von Null angenommen wird und dieses Kältemittel daher keinen Beitrag zu den gesamten Treibhausgasemissionen eines Unternehmens liefert (vgl. [KSS11]).

5.2.2 Berechnung der Scope 2 THG-Emissionen

Die Scope 2 Emissionen werden in erster Linie durch die zugekaufte und im Unternehmen verbrauchte elektrische Energie bestimmt, aber auch durch den Bezug von Wärme oder Wasserdampf. Hierzu müssen die Energieverbräuche beispielsweise in kWh Strom oder kWh_{th} Fernwärme ermittelt und mit den entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert werden. Die Faktoren hängen vom Kraftwerksmix des jeweiligen Landes ab und können sich von Land zu Land erheblich unterscheiden. (vgl. [KSS11])

Für das nachfolgende Rechenbeispiel soll angenommen werden, dass ein Lagersystem 0,35 Millionen kWh Strom verbraucht und der Emissionsfaktor 589 g CO₂e/kWh sein soll (vgl. [KSS11]):

$$CO_2e = 0,35 \text{ Mio } [kWh] * 589 \left[\frac{g \text{ CO}_2e}{kWh} \right] = 206,15 \text{ t CO}_2e$$

Erzeugt ein Distributionszentrum selbst elektrische Energie, beispielsweise durch Photovoltaikanlagen auf den Dachflächen oder durch eigene Blockheizkraftwerke, dann kann diese Energie nur dann bilanzmildernd angesetzt werden, wenn der Strom nicht in das öffentliche Stromnetz fließt, sondern selbst verwendet wird. ([KSS11])

Dient die Berechnung der THG-Emissionen eines Distributionszentrums einem Vergleich mit anderen Distributionszentren ist darauf zu achten, dass die Auswahl der Emissionsfaktoren für den Strom- und Fernwärmebezug unter gegenseitiger Abstimmung erfolgt. Je nachdem, ob nur die THG-Emissionen vom Kraftwerk bis zum Kunden oder auch die THG-Emissionen bei der Herstellung der Energieträger für das Kraftwerk berücksichtigt werden, also die Scope 3 Emissionen des Kraftwerks, ergeben sich unterschiedliche Emissionsfaktoren (siehe auch Kapitel 3.4). Deren Auswahl wird in erster Linie davon abhängen, welche Emissionsfaktoren für den jeweiligen Standort verfügbar sind.

5.2.3 Berechnung der Scope 3 THG-Emissionen

Innerhalb der Scope 3 Emissionen soll der Pendelverkehr der Mitarbeiter des Distributionszentrums berücksichtigt werden. Davon abzugrenzen sind Geschäftsreisen.

Mögliche Transportmittel, bei denen THG-Emissionen anfallen, sind: Autos, Motorräder, Busse, Züge oder Flugzeuge. Die Berechnung erfolgt abermals über Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten, wobei prinzipiell zwei Ansätze unterschieden werden können. Entweder erfolgt die Berechnung für jeden Mitarbeiter und für jedes Verkehrsmittel über dessen ermittelte Wegstrecke im Jahr oder es werden Durchschnittswerte für eine Gruppe von Mitarbeitern angenommen. ([WW11c])

Bei der exakten Berechnungsweise benötigt das Unternehmen von jedem Mitarbeiter ([WW11c]):

- die zurückgelegte Wegstrecke pro Arbeitstag
- die verwendeten Verkehrsmittel
- die Anzahl der Tage in der Woche, an denen das jeweilige Verkehrsmittel genutzt wird
- die Anzahl der Pendeltage in der Woche und die Anzahl der Arbeitswochen im Jahr

Diese Daten werden beispielsweise über Umfragen gesammelt. Ist es nicht möglich alle Mitarbeiter zu befragen, kann eine repräsentative Auswahl von Mitarbeitern getroffen werden, und die so erhaltenen Daten können extrapoliert werden. Daneben wird für jedes Verkehrsmittel der passende Emissionsfaktor benötigt. Üblicherweise liegt dieser Faktor in Gramm oder Kilogramm Treibhausgasemissionen je Kilometer vor. ([WW11c])

Anhand der gesammelten Daten kann für jeden einzelnen Mitarbeiter die jährliche Wegstrecke für jedes genutzte Verkehrsmittel berechnet werden. Mittels Emissionsfaktor werden die jährlichen THG-Emissionen berechnet (vgl. [WW11c]):

$$CO_2e [t] = \text{Wegstrecke je Verkehrsmittel [km]} * \text{Emissionsfaktor} \left[\frac{t \text{ THG}}{km} \right]$$

Die gesamten CO₂-Emissionen aus dem Pendelverkehr eines Mitarbeiters erhält man durch aufsummieren der THG-Emissionen der einzelnen Verkehrsmittel des Mitarbeiters. Werden die Ergebnisse aller Mitarbeiter zusammengefasst, können die jährlichen THG-Emissionen durch die Mitarbeiteranfahrt ausgewiesen werden. [WW11c])

Der zweite Ansatz ist grundsätzlich ähnlich und stellt eine vereinfachte Variante dar. Hier werden von vornherein Durchschnittswerte verwendet und vereinfachte Annahmen getroffen. Die Durchschnittswerte, wie zum Beispiel die durchschnittliche Wegstrecke, die durchschnittlichen Arbeitstage im Jahr oder das durchschnittlich verwendete Verkehrsmittel können bei statistischen Ämtern oder nationalen Verkehrsministerien erfragt oder anderen vertrauenswürdigen Quellen entnommen werden. (vgl. [WW11c])

Im Gegensatz zum ersten Ansatz ist der zweite mit einer großen Unsicherheit hinsichtlich der exakten THG-Emissionen aus der Mitarbeiteranfahrt behaftet und sollte daher nur in Ausnahmefällen verwendet werden. Eine Kombination der beiden Ansätze ist ebenfalls möglich.

5.3 Erstellung der Treibhausgasbilanz

Bei der Erstellung der Treibhausgasbilanz nach der Norm ISO 14064-1 müssen die direkten, die energiebedingten indirekten und die anderen indirekten Treibhausgasemissionen getrennt nach Anlagen- und Organisationsebene dargestellt werden. Dabei sind die direkten Treibhausgasemissionen für jedes Treibhausgas zu dokumentieren. Zusätzlich können auch andere Kategorisierungen gewählt werden. ([ISO06])

Die Treibhausgasbilanz eines Distributionszentrums kann mittels der Zuordnung der Treibhausgasquellen zu den einzelnen Scopes für jedes Subsystem erstellt werden. Dabei werden die berechneten oder gemessenen THG-Emissionen für jede Treibhausgasquelle ausgewiesen. Die nachfolgende Tabelle 12 zeigt dies beispielhaft für das Subsystem Lager. Die einzelnen Treibhausgase wurden dabei bereits zu einer CO₂-Äquivalenten Emission zusammengefasst.

Intralogistik –Lager	THG-Emissionen [t CO _{2e}]
Scope 1	
Kraftstoffverbrauch Transportsystem (z.B. Stapler)	5
Kältemittelverbrauch Lagersystem (z.B. Kühllager)	6
Scope 2	
Stromverbrauch Lagersystem (z.B. Regalbediengerät)	60
Stromverbrauch Transportsystem (z.B. Stapler)	30
Scope 3	
Mitarbeiteranfahrt (z.B. Zug)	15

Tabelle 12: Treibhausgasbilanz des Subsystems Lager

Durch die genaue Aufschlüsselung der THG-Emissionen innerhalb eines Subsystems können die Hauptemissionsverursacher ausgeforscht und gezielt

nach Einsparungsmöglichkeiten gesucht werden. Die Subsysteme und deren THG-Emissionen können beliebig miteinander kombiniert werden. Dadurch können, je nach Verwendungszweck, geeignete Teil-CO₂-Bilanzen erstellt werden.

Um die gesamten THG-Emissionen eines Distributionszentrums zu erfassen, werden die THG-Emissionen der einzelnen Subsysteme, getrennt nach den drei Scopes, zusammengefasst. Innerhalb der einzelnen Scopes können verschiedene Kategorien erstellt werden. Die Tabelle 13 zeigt eine beispielhafte Treibhausgasbilanz für ein Distributionszentrum mit einer möglichen Unterteilung in verschiedene Kategorien. Die Kategorien können je nach Verwendungszweck der Treibhausgasbilanz variiert werden. So können die Scope 1 Emissionen beispielsweise in die Kategorien mobile Verbrennung, stationäre Verbrennung, flüchtige Emissionen und Prozessemissionen aufgeteilt werden, aber auch eine Aufteilung in die einzelnen Treibhausgase ist vorstellbar.

CO ₂ -Bilanz Distributionszentrum	THG-Emissionen [t CO ₂ e]	Prozent
Scope 1		
Heizstoffe (Erdgas, Heizöl)	185	29%
Kraftstoffe (Diesel, Benzin)	22	4%
Kältemittel	6	1%
Scope 2		
Strom	355	57%
Scope 3		
Mitarbeiteranfahrt	60	10%
Summe	628	100%

Tabelle 13: Treibhausgasbilanz des Distributionszentrums

Anschließend an die Erstellung der Treibhausgasbilanz sieht die Norm ISO-14064-1 optional die Erstellung eines Treibhausgasberichts und die Zertifizierung dieses Berichts vor. Darauf soll hier nicht näher eingegangen werden.

5.4 Kennzahlen für die CO₂-Bilanz

Die CO₂-Bilanz eines Distributionszentrums oder eines Teilbereichs des Distributionszentrums kann als eigene Kennzahl angesehen werden. Sie beschreibt, wie viele THG-Emissionen einem Unternehmen für dessen Aktivitäten zugerechnet werden können. Die CO₂-Bilanz ist eine absolute Kennzahl und deren Heranziehung ist in erster Linie aus ökologischer Sicht sinnvoll, weil darin die THG-Emissionen des ganzen Unternehmens dargestellt werden. Sie dient als Indiz dafür, wie stark die Umwelt von einem

Unternehmen belastet wird. Daneben gibt es auch relative Kennzahlen. Diese setzen die absolute Kennzahl in Verhältnis zu einer relevanten Bezugsgröße (z.B. Anzahl der Mitarbeiter). Dadurch können einzelne Unternehmensbereiche oder ganze Betriebe miteinander verglichen werden. Für einen umfassenden Vergleich und eine umfassende Beurteilung der Entwicklung eines Unternehmens sind sowohl absolute als auch relative Kennzahlen von Bedeutung. (vgl. [BU97], [BMU98])

Innerhalb des betrieblichen Umweltmanagements werden Kennzahlen für den THG-Ausstoß eines Unternehmens als Umweltsleistungskennzahlen oder -indikatoren bezeichnet. Sie gehören zu den operativen Leistungskennzahlen (OPI¹⁶), weil sie mit den operativen Tätigkeiten des Unternehmens zusammenhängen. Sie sollen Unternehmen bei der Quantifizierung und Berichterstattung der Umweltsleistung helfen, einen Vergleich ermöglichen und Änderungen der Umweltsleistungen aufzeigen. ([FM11])

Die EMAS-Verordnung sieht für die Bildung dieser Umweltsleistungsindikatoren vor, dass die THG-Emissionen des Unternehmens durch eine Bezugsgröße dividiert werden sollen. (vgl. [ER09], [WML13]):

$$THG - Kennzahl \left[\frac{t CO_2e}{BG} \right] = \frac{THG - Emissionen}{Bezugsgröße (BG)}$$

Diese Umweltsleistungsindikatoren sind somit relative Kennzahlen. Als Bezugsgröße kann beispielsweise, je nach Art der Organisation, die jährliche Gesamtausbringung, Gesamtbruttowertschöpfung, der jährliche Gesamtumsatz oder die Zahl der Mitarbeiter verwendet werden. Die Gesamtausbringung kann in Tonnen, Stück oder sonstigen geeigneten Größen angegeben werden. ([ER09], [WML13]):

Für ein Distributionszentrum sind Bezugsgrößen interessant, mit deren Hilfe die THG-Emissionen in Bezug auf die Logistikleistung beschrieben werden können. Die erhaltenen Kennzahlen können einerseits intern genutzt werden, um die Auswirkungen von technischen und organisatorischen Änderungen auf die THG-Emissionen zu beschreiben. Andererseits können sie auch extern für ein betriebsübergreifendes Benchmarking mit anderen Distributionszentren verwendet werden.

Für die Erstellung eines Product Carbon Footprint ist die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produktes von Bedeutung. Dazu werden dem Produkt in den einzelnen Lebensphasen

¹⁶ Operational performance indicator

THG-Emissionen (siehe auch Kapitel 2.4.2.2) zugeordnet. Neben der Rohstoffgewinnung, der Produktion, der Nutzung und der Entsorgung spielt auch die Distribution eine Rolle. Dabei geht es um die Frage, um wie viele THG-Emissionen sich der PCF erhöht, weil das Produkt das Distributionszentrum durchlaufen hat. Durch die Allokation der gesamten THG-Emissionen des Distributionszentrums auf die einzelnen Stückgüter oder Ladeeinheiten entsteht eine Kennzahl, die nicht nur für den PCF interessant ist, sondern auch für das Distributionszentrum an sich. Als Bezugsgröße dieser Kennzahl kommen sowohl physikalische Größen (Gewicht, Palettenanzahl,...), als auch monetäre Größen (Wert der Waren) in Frage ([KSS11]). Durch die monetäre Bewertung der Einheiten erhält man allerdings nur Kennzahlen mit geringer Aussagekraft über die Produktivität eines Distributionszentrums. Die für eine physikalische Größe benötigte Anzahl der Stückgüter und Ladeeinheiten kann beispielsweise über den Input/Output festgestellt werden oder auf den durchschnittlichen Lagerbestand eines Distributionszentrums bezogen werden.

$$THG - Kennzahl \left[\frac{t \text{ CO}_2e}{t} \right] = \frac{THG - Emissionen [t \text{ CO}_2e]}{\sum \text{Stückgüter} [t]}$$

Welche physikalische Größe gewählt wird, hängt primär davon ab, welche Stückgüter und Ladeeinheiten betrachtet werden sollen. Vergleicht man beispielsweise zwei Palettenlager oder ein und dasselbe Palettenlager über mehrere Jahre, so kann die Kennzahl „Tonnen CO₂e je Einheit“ sinnvoll sein. Im Gegensatz dazu wird der Vergleich eines Kleinteilelagers mit einem Palettenlager anhand dieser Kennzahl nur eine geringe Aussagekraft besitzen.

Neben den Gütern kann auch die durchschnittliche Anzahl der Mitarbeiter, die Fläche oder das Volumen als Bezugsgröße dienen. Nicht nur das ganze Distributionszentrum kann betrachtet werden, sondern auch einzelne Subsysteme. So bietet es sich beispielsweise an, die THG-Emissionen des Subsystems Büro auf die Anzahl der Mitarbeiter zu beziehen, oder die THG-Emissionen des Subsystems Lager auf dessen Lagerhallenvolumen.

Um geeignete Kennzahlen für Materialflusssysteme zu erhalten, können deren klassische Leistungskennzahlen als Bezugsgröße herangezogen werden. So wird zum Beispiel die Kommissionierleistung üblicherweise in Positionen pro Stunde angegeben ([TSB11]). Nimmt man die THG-Emissionen eines Kommissioniersystems pro Stunde und dividiert diese durch die Kommissionierleistung erhält man die THG-Emissionen je Position:

$$THG - Kennzahl \left[\frac{t \text{ CO}_2e}{h} \right] = \frac{THG - Emissionen \left[\frac{t \text{ CO}_2e}{h} \right]}{\text{Kommissionierleistung} \left[\frac{\text{Positionen}}{h} \right]}$$

Bei anderen Materialflusssystemen kann analog vorgegangen werden. Dabei können die Leistungskennzahlen auch andere Einheiten haben, wie zum Beispiel Tonnen pro Stunde oder Kubikmeter pro Stunde.

Die Tabelle 14 zeigt mögliche Treibhausgaskennzahlen für ein Distributionszentrum und dessen Subsysteme.

Bezugsgröße	Einheit der Kennzahl
Stückgüter, Anzahl Ladeeinheiten	[t CO ₂ e je t], [t CO ₂ e je m ³], [t CO ₂ e je Einheit]
Wert Stückgüter/Ladeeinheiten	[t CO ₂ e je €]
Mitarbeiter	[t CO ₂ e je MA]
Fläche	[t CO ₂ e je m ²]
Volumen	[t CO ₂ e je m ³]
Mitarbeiteranfahrt	[t CO ₂ e je km u. MA]
Kommissionier-/Umschlagleistung	[t CO ₂ e je Position], [t CO ₂ e je t], [t CO ₂ e je m ³]
Durchsatz Transportsystem	[t CO ₂ e je t], [t CO ₂ e je m ³]
Wegstrecke Stückgüter	[t CO ₂ e je tkm], [t CO ₂ e je m ³ km]

Tabelle 14: Treibhausgas-Kennzahlen für Distributionszentren und deren Subsysteme

5.5 Ansätze zur Verbesserung der CO₂-Bilanz

Eine Reduzierung der THG-Emissionen kann sowohl in der Intralogistik als auch in der Logistikimmobilie erreicht werden. Dabei geht es hauptsächlich um die Steigerung der (Energie-)Effizienz, aber auch um die Nutzung von alternativen Energieträgern und erneuerbaren Energien. Ziel ist es, ein energetisches Optimum zwischen den eingesetzten intralogistischen Anlagen, einer energieeffizienten Bauweise und Gebäudetechnik sowie einer CO₂-neutralen Energiebereitstellung zu finden ([FVZ+13]).

Die Hauptenergieverbraucher in der Logistikimmobilie sind die Beleuchtung und die Klimatisierung. Daher ergeben sich hier die effektivsten Ansatzpunkte für Einsparungen. Generell empfiehlt es sich die Logistikimmobilie in verschiedene Zonen einzuteilen, um Bereiche mit unterschiedlicher Helligkeit und klimatischen Verhältnissen zu ermöglichen. Zur Reduzierung des Strombedarfs für die Beleuchtung sollte ein hoher Tageslichtanteil, entweder über das Dach oder über die Außenwände, ermöglicht werden, wobei die Innenflächen möglichst hell gestaltet werden sollten, um dieses Tageslicht zu reflektieren ([SCH11]).

In Bereichen, in denen dies nicht möglich ist, oder in den Abend- und Nachtstunden sollten neben energiesparenden Leuchtmitteln Dämmerungs-

schalter, Bewegungsmelder oder Zeitschaltuhren zur Steuerung der Beleuchtungssysteme eingesetzt werden. In besonders personenintensiven Bereichen kann durch den gezielten Einsatz von Lichtkuppeln eine energieeffiziente Beleuchtung erreicht werden. ([CSD+11])

Für die Beheizung der Logistikimmobilie können energetisch hocheffiziente Hell- und Dunkelstrahler eingesetzt werden, aber auch Fußbodenheizungen in Kombination mit Geothermie, Solarzellen oder Biomassekraftwerken. Eine weitere Möglichkeit ist die Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen oder die Nutzung der Abwärme von Kühllagern. Um die Wärmeverluste und damit den Heizwärmebedarf zu reduzieren, wird eine gute Außenwand- und Dachdämmung benötigt. ([CSD+11], [SCH11])

Um eine gute Wärmedämmung überhaupt nützen zu können und Wärmeverluste zu vermeiden, dürfen bestehende Tore und Fenster nur solange geöffnet bleiben wie nötig. Hier eignen sich Schnellauftore, die sich selbstständig öffnen und nach kurzer Zeit wieder schließen.

Weitere Reduktionspotentiale in Bezug auf die THG-Emissionen eines Distributionszentrums ergeben sich durch den Betrieb eines Blockheizkraftwerks am Standort und der dazugehörigen Kraft-Wärme-Kopplung, sowie durch die Nutzung von erneuerbaren Energien (vgl. [CSD+11]). Blockheizkraftwerke können insbesondere in Kombination mit der Nutzung von Biokraftstoffen THG-Emissionen vermeiden. Zu den erneuerbaren Energien zählt neben den Biokraftstoffen auch die Sonnenenergie. Diese kann durch Photovoltaikanlagen auf Dächern oder Fassaden der Logistikimmobilie genutzt werden. Wie in Kapitel 5.2.2 bereits erwähnt können diese Technologien nur dann bilanzmildernd wirken, wenn die gewonnenen Energien selbst genutzt und nicht in das öffentliche Netz eingespeist werden.

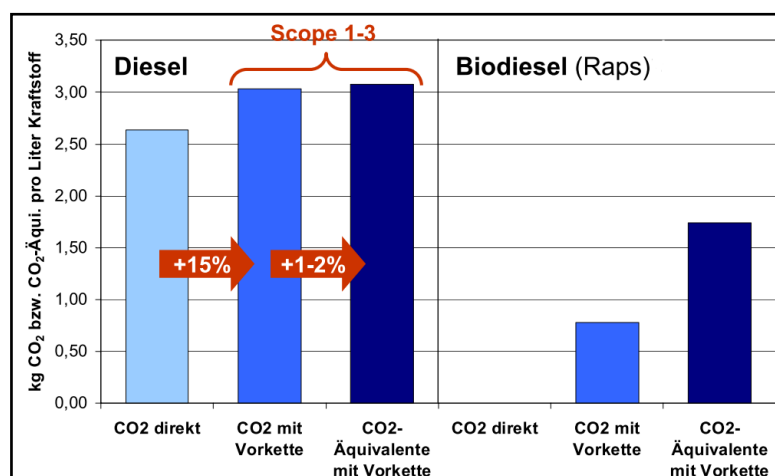


Abbildung 35: Direkte CO₂- und CO₂-Äquivalent-Emissionen für Kraftstoffe im Vergleich ([SCH09], S.12)

Die Abbildung 35 zeigt die Einsparungspotentiale durch die Verwendung von Biokraftstoffen anhand des Vergleichs der Emissionsfaktoren von herkömmlichen Diesel und Biodiesel.

Neben den oben genannten Ansätzen für die Logistikimmobilie können auch in der Intralogistik THG-Emissionen eingespart werden. Bei den Unstetigförderern (Stapler, Elektrogabelhubwagen,...) können einerseits die Leerfahrten mittels Staplerleitsystemen reduziert werden und andererseits kann deren Energieeffizienz durch technische Maßnahmen gesteigert werden. Eine solche technische Maßnahme ist etwa der Einsatz von alternativen Antrieben wie zum Beispiel Hybridantrieben. ([CSD+11])

Die Energieeffizienz von Flurförderzeugen kann außerdem durch die Verringerung des Rollwiderstands der Räder/Reifen und die Verringerung der Drosselverluste in der Hydraulik, sowie durch die Verwendung von elektrischen Direktantrieben oder effizienteren elektrischen Energiespeichersystemen erhöht werden ([BRU09]). Weitere Einsparungspotentiale ergeben sich bei den Unstetigförderern durch die Rekuperation der Brems- und Hubenergie oder durch die Anpassung des Verhältnisses Nutzlast zu Eigengewicht an die jeweiligen Anforderungen bei Regalbediengeräten ([GTG09]).

Bei den Stetigförderern können durch den Einsatz von effizienten und geregelten Antrieben Einsparungen erzielt werden. Synchronmotoren haben gegenüber Asynchronmotoren den Vorteil, dass sie einen höheren Wirkungsgrad besitzen und daher energieeffizienter sind. Weiters können Maßnahmen zur Verringerung der Übertragungsverluste und eine präzise Dimensionierung des Motors zu energetisch günstigen Förderanlagen führen. Im Bereich der Fördertechnik sollte das Prinzip „Run on Demand“ gelten. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit an den Bedarf angepasst wird und die Anlagen gegebenenfalls ausgeschaltet oder auf Standby geschaltet werden. Im Bereich der Ausschleusung sollten pneumatische Pusher aufgrund des hohen Druckluftbedarfs vermieden werden. ([GTG09])

Neben den gerätespezifischen Aspekten kann bereits eine nachhaltige Planung des Distributionszentrums und dessen Prozesse helfen Energie zu sparen. Dies beginnt bereits bei der Layout- und Materialflussplanung. Die Strecken zwischen dem Wareneingang und Warenausgang sollten kurz gehalten werden und möglichst gerade verlaufen. Ein weiteres Ziel ist die Minimierung des Versandvolumens. Durch kompakte, an den Ladungsträger angepasste Produkte kann der logistische Prozess effizient und mit einem geringen Energieverbrauch vollzogen werden. Neben dem Versandvolumen sollte auch das Volumen und die Fläche der Logistikimmobilie so klein wie möglich

gehalten werden. Dies ist insbesondere bei temperaturregeführten Hallen und Lager von Bedeutung. Um das Volumen der Lager zu reduzieren, können platzsparende Regalbediengeräte verwendet werden, aber auch die Abkehr von Paletten als Ladungsträger hin zu Halbpaletten und Boxen kann die Effizienz des Lagers erhöhen. ([DUL11])

6 Zusammenfassung

Die Internationale Klimapolitik hat sich zum Ziel gesetzt, die globale Erwärmung auf 2 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen und den Treibhausgasausstoß zu regulieren, existieren bereits zahlreiche Regelungen. Es ist anzunehmen, dass die Politik in Zukunft immer mehr Unternehmen in die Pflicht nehmen wird, ihre Treibhausgase zu bilanzieren und zu reduzieren.

Daher existieren auch zahlreiche Bemühungen standardisierte Verfahren zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen auf verschiedenen Ebenen zu entwickeln. Trotz oder gerade wegen der zahlreichen Normen, Standards und Leitfäden für die CO₂-Bilanzierung, erfolgt die Berechnung der CO₂e-Emissionen derzeit bei den verschiedenen Unternehmen nicht einheitlich. Daher muss man aufpassen, nicht Äpfel mit Birnen zu vergleichen. Die bestehenden Standards und Normen für den Corporate Carbon Footprint, wie das GHG-Protocol oder die Norm ISO 14064-1, geben außerdem nur eine Hilfestellung, sind zu vage formuliert und lassen zu viele Freiheiten bei der Treibhausgasbilanzierung. Die derzeit umfassendste Norm mit den exaktesten Vorgaben für die Berechnung der THG-Emissionen, die EN 16258 für Transportdienstleistungen, schließt stationäre Prozesse explizit aus. Nichts desto trotz nutzen derzeitige Logistikunternehmen deren Ansätze, um auch die innerbetrieblichen THG-Emissionen zu berechnen.

Die Treibhausgasbilanz ist auch eine der wichtigsten Kennzahlen für eine ökologische Bewertung logistischer Aktivitäten innerhalb der „Grünen Logistik“. Mit deren Hilfe kann die Umweltfreundlichkeit eines Distributionszentrums quantifiziert und kommuniziert werden. Dabei muss unterschieden werden, ob eine CO₂-Bilanz nur überschlagsmäßig für die öffentliche Kommunikation erstellt wird, oder ob eine genaue Identifizierung der Treibhausgasquellen und deren Treibhausgasemissionen erfolgt. Nur im zweiten Fall können Emissionsverursacher gezielt ausgeforscht und geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Insbesondere beim Vergleich verschiedener Distributionszentren ist eine transparente, einheitliche und vergleichbare Vorgehensweise notwendig.

Literaturverzeichnis

- [APH+10] ANDEREGG, William R.L.; PRALL, James W.; HAROLD, Jacob; SCHNEIDER, Stephen H.: Expert credibility in climate change. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107 (2010), Nr. 27, S. 12107–12109
- [BK11] BAUMANN, Tom; KOLLMUSS, Anja: *GHG schemes addressing climate change – How ISO standards help*. Genève : ISO Central Secretariat, 2011.
- [BGE+10] BECKEN, Katja; GRAAF, Daniel de; ELSNER, Cornelia; HOFFMANN, Gabriele; KRÜGER, Franziska; MARTENS, Kerstin; PLEHN, Wolfgang; SARTORIUS, Rolf; UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): *Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg*. URL <http://www.uba.de/uba-info-medien/3962.html> – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [BB10] BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.); BDI, Bundesverband der Deutschen Industrie (Hrsg.): *Produktbezogene Klimaschutzstrategien – Product Carbon Footprint verstehen und nutzen*. URL http://www.bdi.eu/download_content/PCF-Leitfaden_100810_Online.pdf – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [BU97] BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.); UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.): *Betriebliche Umweltkennzahlen*. URL https://umho.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/umho/Forschung/Forschungsprojekte/betriebliche-umweltkennzahlen_dt.pdf – Abrufdatum: 05.04.2014.
- [BUÖ09] BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.); UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.); ÖKO-INSTITUT (Hrsg.); ÖKO-INSTITUT (Hrsg.): *Memorandum Product Carbon Footprint – Positionen zur Erfassung und Kommunikation des Product Carbon Footprint für die internationale Standardisierung und Harmonisierung*. URL <http://www.bmub.bund.de> – Abrufdatum: 03.03.2014.
- [BMU98] BMUJF Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.): *Kennzahlen zur Messung der betrieblichen Umweltleistung*. Wien : IÖW Wien, 1998.

- [BL07] BODE, Sven; LÜDEKE, Florian: CO₂-neutrales Unternehmen – was ist das? In: *uwf UmweltWirtschaftsForum* 15 (2007), Nr. 4, S. 265–273
- [BRU09] BRUNS, Rainer: *Alternative Antriebe – Steigerung der Energieeffizienz bei Flurförderzeugen*. URL https://www.bghw.de/praevention/veranstaltungen/fachtagung-2014/sicherheit-und-gesundheit-in-der/vortraege/04%20-%20Alternative%20Antriebe.pdf/at_download/file – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [BVL12] BVL Bundesvereinigung Logistik (Hrsg.): *Bestimmung der CO₂-Emissionen in Unternehmen der Logistikbranche mit einem spezifischen Methodenbaukasten*. URL http://www.bvl.de/files/441/481/16618_MBK_-_Abschlussbericht_%28PDF-Version%29.pdf – Abrufdatum: 01.03.2014.
- [CDP12] CDP Carbon Disclosure Project (Hrsg.): *Investieren im Kontext von Klimaschutz – CDP Deutschland, Österreich, Schweiz 350 Klimawandel-Bericht 2012*. URL <https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-DACH-350-Report-2012.pdf> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [CDP13] CDP Carbon Disclosure Project (Hrsg.): *Integration klimarelevanter Aspekte in Unternehmens- und Anlagestrategien – CDP DACH 350 Klimawandel Bericht 2013*. URL <https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-DACH-350-Report-2013-german.pdf> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [CEN12] CEN European Committee for Standardization: *EN 16258:2012 - Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers)*. , 2012.
- [CSD+11] CLAUSEN, Uwe; SCHNEIDER, Marc; DOBERS, Kerstin; INITIATIVE „2° Deutsche Unternehmer für Klimaschutz“ (Hrsg.): *Klimaschutz liefern – Logistikprozesse klimafreundlich gestalten*. URL http://www.deutschebahn.com/file/2240774/data/logistikstudie_2grad_initiative.pdf – Abrufdatum: 08.03.2014.

- [DEF13] DEFRA Department for Environment, Food & Rural Affairs: *Environmental Reporting Guidelines – Including mandatory greenhouse gas emissions reporting guidance*. URL https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/206392/pb13944-env-reporting-guidance.pdf – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [DEH08] DEHSt Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (Hrsg.): *Leitfaden zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen*. URL <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3660.pdf> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [DEU10] Deutsche Post (Hrsg.): *Delivering Tomorrow – Zukunftstrend Nachhaltige Logistik – Wie Innovation und grüne Nachfrage eine CO2-effiziente Branche schaffen*. Bonn : Dt. Post, 2010.
- [DIN13] DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): *Spezifikation für Carbon Footprint veröffentlicht – ISO/TS 14067 Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmung und Kommunikation veröffentlicht*. URL <http://www.din.de> – Abrufdatum: 03.03.2014.
- [DSL13] DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband (Hrsg.): *Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258*. URL [http://www.verkehrsrundschau.de/sixcms/media.php/4513/DSLV-Leitfaden_Berechnung_von_THG-Emissionen_Stand_03-2013.pdf](http://www.verkehrsrundschau.de/sixcms/media.php/4513/DSLVL Leitfaden_Berechnung_von_THG-Emissionen_Stand_03-2013.pdf) – Abrufdatum: 01.03.2014.
- [DUL11] DULLINGER, Karl-Heinz: Modernisierung der Intralogistik zur Steigerung der Energieeffizienz. In: ZADEK, Hartmut; SCHULZ, Robert (Hrsg.): *Sustainable Logistics – Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz*. Hamburg : DVV Media Group/Dt. Verkehrs-Verl., 2011. S. 123–131
- [EEA13] EEA European Environment Agency: *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2011 and inventory report 2013 – Submission to the UNFCCC Secretariat*. URL <http://www.eea.europa.eu> – Abrufdatum: 04.03.2014.

- [EBM+06] EGGLESTON, Simon; BUENDIA, Leandro; MIWA, Kyoko; NGARA, Todd; TANABE, Kiyoto (Hrsg.): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama : IGES, 2006.
- [EPA14] EPA United States Environmental Protection Agency: *Greenhouse Gas Reporting Program*. URL <http://www.epa.gov> – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [EUR09] Europäische Kommission (Hrsg.): *Das Emissionshandelssystem der EU – EU-Maßnahmen gegen den Klimawandel*. Luxemburg : Amt für Amtliche Veröff. der Europ. Gemeinschaften, 2009.
- [EUR12a] Europäische Kommission (Hrsg.): *The Monitoring and Reporting Regulation – General guidance for installations*. URL <http://ec.europa.eu> – Abrufdatum: 24.02.2014.
- [EUR12b] Europäische Kommission (Hrsg.): *Organisation Environmental Footprint (OEF) Guide* URL <http://ec.europa.eu> – Abrufdatum: 26.02.2014.
- [EUR13] Europäische Kommission (Hrsg.): *Schaffung eines Binnenmarktes für grüne Produkte – Erleichterung einer besseren Information über die Umweltleistung von Produkten und Organisationen*. URL <http://eur-lex.europa.eu> – Abrufdatum: 18.02.2014.
- [EUR14] Europäische Kommission (Hrsg.): *Monitoring, reporting and verification of EU ETS emissions*. URL <http://ec.europa.eu> – Abrufdatum: 22.02.2014.
- [ER06] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union: *Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase*. URL <http://eur-lex.europa.eu> – Abrufdatum: 31.01.2014.
- [ER09] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union: *Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäische Parlamentes und des Rat der Europäischen Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung*. URL <http://eur-lex.europa.eu> – Abrufdatum: 14.02.2014.
- [FÖR12] FÖRSTNER, Ulrich: *Umweltschutztechnik*. 8. Aufl. Berlin/Heidelberg : Springer, 2012.

- [FM11] FÖRTSCH, Gabi; MEINHOLZ, Heinz: *Handbuch Betriebliches Umweltmanagement*. Wiesbaden : Vieweg Teubner, 2011.
- [FRA12] FRANCE, Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy (Hrsg.): *CO₂ information for transport services – Application of Article L. 1431-3 of the French transport code*. URL http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Information_CO2_ENG_Web-2.pdf – Abrufdatum: 17.02.2014.
- [FVZ+13] FREIS, Julia; VOHLIDKA, Philipp; ZADOW, Oliver; GÜNTNER A., Willibald; HAUSLADEN, Gerhard: Analyse der Wechselwirkungen zwischen Gebäude, Haustechnik und Intralogistik zur Steigerung der Energieeffizienz von Logistikzentren. In: Otto-von-Guericke-Universität (Hrsg.): *Tagungsband 18. Magdeburger Logistiktage „Sichere und nachhaltige Logistik“*. Magdeburg : Fraunhofer IRB Verlag, 2013. S. 79–89
- [GRI06a] GRI Global Reporting Initiative: *Leitfaden zur Nachhaltigkeitsberichterstattung*. URL <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/German-G3-Reporting-Guidelines.pdf> – Abrufdatum: 14.02.2014.
- [GRI06b] GRI Global Reporting Initiative: *GRI Logistics and Transportation Sector Supplement – Pilot Version 1.0*. URL <https://www.globalreporting.org> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [GUD12] GUDEHUS, Timm: *Logistik 1 – Grundlagen, Verfahren und Strategien*. 4. Aufl. Berlin/Heidelberg : Springer Vieweg, 2012.
- [GS10] GÜNTHER, Edeltraud; STECHEMESSER, Kristin: Carbon Controlling. In: *Controlling & Management* (2010), Nr. 54, S. 62–65
- [GTG09] GÜNTNER, Willibald A.; TENEROWICZ, Peter; GALKA, Stefan: Roadmap für eine nachhaltige Intralogistik. In: Otto-von-Guericke-Universität (Hrsg.): *Tagesband zur 14. Wissenschaftliche Fachtagung „Sustainable Logistics“*. Magdeburg : LOGiSCH, 2009. S. 205–219

- [HHK+04] HARNISCH, Jochen; HÖHNE, Niklas; KOCH, Matthias; WARTMANN, Sina; SCHWARZ, Winfried; JENSEIT, Wolfgang; FABIAN, Peter; JORDAN, Armin: *Risiken und Nutzen von fluorierten Treibhausgasen in Techniken und Produkten – Bewertung technischer Fallbeispiele unter besonderer Berücksichtigung der stoffintrinsic Eigenschaften*. URL <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2755.pdf> – Abrufdatum: 30.01.2014.
- [HAU13] HAUBACH, Christian: *Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten – Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung*. 2. Aufl. Wiesbaden : Springer Gabler, 2013.
- [HR13] HÖLSCHER, Luise; RADERMACHER, Franz J. (Hrsg.): *Klimaneutralität – Hessen geht voran*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2013.
- [IBP14] IBP Fraunhofer-Institut für Bauphysik: *Ökobilanzierung – Life Cycle Assessment (LCA)*. URL <http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [INA14] INAS Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien: *GEMIS – Globales Emissions-Modell integrierter Systeme*. URL <http://www.iinas.org/gemis-de.html> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [INF10] INFRAS (Hrsg.): *HBEFA – Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs*. URL <http://www.hbefa.net> – Abrufdatum: 04.03.2013.
- [IPC07] IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): *Climate change 2007 – synthesis report*. URL www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf – Abrufdatum: 16.01.2014.
- [IPC08] IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): *Klimaänderung 2007 – Synthesebericht*. URL www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC2007-SYR-german.pdf – Abrufdatum: 16.01.2014.
- [IPC13] IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report*. URL

- <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> – Abrufdatum: 04.03.2013.
- [ISO06] ISO International Organization for Standardization: *ISO 14064-1:2006 – Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*.
- [ISO06a] ISO International Organization for Standardization: *ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- [ISO10] ISO International Organization for Standardization: *ISO 11771:2010 – Air quality – Determination of time-averaged mass emissions and emission factors – General approach*. URL http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50765 – Abrufdatum: 03.03.2014.
- [KAP09] KAPPAS, Martin: *Klimatologie – Klimaforschung im 21. Jahrhundert – Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften*. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2009.
- [KOE12] KOETHER, Reinhard: *Distributionslogistik – Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit*. Wiesbaden : Gabler, 2012.
- [KRA08] KRAMM, Matthias: *Der Energieausweis für Distributionszentren. Tagungsband Energieeffizienz im Lager*. Köln : 2008.
- [KSS11] KRANKE, Andre; SCHMIED, Martin; SCHÖN, Andrea Dorothea: *CO₂-Berechnung in der Logistik – Datenquellen, Formeln, Standards*. München : Heinrich Vogel, 2011.
- [KUM13] KUMMETSTEINER, Günter (Hrsg.): *Handbuch Ökologistik – Teil 2: Methoden*. URL <http://www.oth-aw.de/kummetsteiner/weiterbildung/oekologistik/> – Abrufdatum: 26.02.2014.
- [KUS09] KUSCHE, Oliver: International Reference Life Cycle Data Format – Stand und Perspektiven für eine verteilte Datenhaltung. In: SCHEBEK, L. (Hrsg.): *Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit – Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009 ; Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009*. Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2009. S. 231–237

- [LAN11] LANUV NRW Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): *Grobscreening zur Typisierung von Produktgruppen im Lebensmittelbereich in Orientierung am zu erwartenden CO₂e-Fußabdruck*. URL <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe29/fabe29.pdf> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [MAR14] MARTIN, Heinrich: *Transport- und Lagerlogistik – Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*. 9. Aufl. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014.
- [MWP10] MÜBLER, Paul; WOLFGARTEN, Sebastian; PAULUS, Andrea: Methodik und Aussagekraft von Klimabilanzen. In: URBAN, Arnd I.; HALM, Gerhard (Hrsg.): *Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft*. Kassel : Univ. Press, 2010. S. 75–90
- [NAS14] NASA – National Aeronautics and Space Administration: *Global Annual Mean Surface Air Temperature Change*. URL <http://data.giss.nasa.gov/> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [NOA14] NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration: *NOAA's Annual Greenhouse Gas Index*. URL <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/> – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [ÖU14] Öko-Institut; Umweltbundesamt: *Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas)*. URL <http://www.probas.umweltbundesamt.de> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [OJM+13] OLIVER, Joe G.J.; JANSSENS-MAENHOUT, Greet; MUNTEAN, Marilena; PETERS, Jeroen A.H.W.: *Trends in global CO₂ emissions: 2013 Report*. URL http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/pbl-2013-trends-in-global-co2-emissions-2013-report-1148.pdf – Abrufdatum: 08.02.2014.
- [PCF09] PCF Pilotprojekt Deutschland (Hrsg.): *Product Carbon Footprinting – Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum?* URL http://www.pcf-projekt.de/files/1233231277/pcf_pilotprojekt_ergebnisbericht.pdf – Abrufdatum: 15.03.2014.

- [PAP+14] PELLETIER, Nathan; ALLACKER, Karen; PANT, Rana; MANFREDI, Simone: The European Commission Organisation Environmental Footprint method: comparison with other methods, and rationales for key requirements. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19 (2014), S. 387–404
- [RW11] ROEDEL, Walter; WAGNER, Thomas: *Physik unserer Umwelt*. 4. Aufl. Heidelberg : Springer, 2011.
- [SCH10a] SCHMIDT, Martin: Carbon Accounting zwischen Modeerscheinung und ökologischem Verbesserungsprozess. In: *Controlling & Management* (2010), Nr. 1, S. 32–37
- [SCH09] SCHMIED, Martin: *CO₂-Bilanz in der Logistik: Anforderungen und Vorgehensweise*. URL <http://www.oeko.de/oekodoc/934/2009-040-de.pdf> – Abrufdatum: 22.02.2014.
- [SCH10b] SCHMIED, Martin: *Green Logistics: Aktuelle Entwicklungen zur Standardisierung der CO₂-Berechnung*. URL [http://www.baumev.de/global/download/Martin_Schmied_-Aktuelle_Entwicklungen_zur_Standardisierung.pdf](http://www.baumev.de/global/download/Martin_Schmied_-_Aktuelle_Entwicklungen_zur_Standardisierung.pdf) – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [SKU12] SCHMIED, Martin; KNÖRR, Wolfram; UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): *Carbon Footprint – Teilgutachten – Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette*. URL <http://www.uba.de/uba-info-medien/4306.html> – Abrufdatum: 01.03.2014.
- [SCH11] SCHWAB, Alexander: Entwicklung nachhaltiger Logistikzentren. In: ZADEK, Hartmut; SCHULZ, Robert (Hrsg.): *Sustainable Logistics – Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz*. Hamburg : DVV Media Group/Dt. Verkehrs-Verl, 2011. S. 69–81
- [SPA03] SPANNAGLE, Matt: *A Comparison of ISO 14064 Part 1 and the GHG Protocol Corporate Module*. URL http://www.ecologia.org/ems/ghg/news/cop9/SpannagleComparison_Grid.pdf – Abrufdatum: 24.02.2014.
- [SÜS11] SÜSSENGUTH, Wolfram: Ermittlung von Energiebilanzen für Logistikzentren. In: ZADEK, Hartmut; SCHULZ, Robert (Hrsg.): *Sustainable Logistics – Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz..* Hamburg : DVV Media Group/Dt. Verkehrs-Verl, 2011. S. 82–94

- [S96] SVANTE, Arrhenius: On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. In: *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 5 (1896), Nr. 41, S. 237–276
- [TH11] TEN HOMPEL, Michael; HEIDENBLUT, Volker: *Taschenlexikon Logistik – Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. 3. Aufl. Berlin/Heidelberg : Springer, 2011.
- [TSB11] TEN HOMPEL, Michael; SADOWSKY, Volker; BECK, Maria: *Kommissionierung – Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*. Berlin/Heidelberg : Springer, 2011.
- [TSN07] TEN HOMPEL, Michael; SCHMIDT, Thorsten; NAGEL, Lars: *Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik*. 3. Aufl. Berlin/Heidelberg : Springer, 2007.
- [TBS09] TENEROWICZ, Peter (Red.); BOPPERT, Julia (Red.); SEEBAUER, Petra (Red.): *Change to green – Handlungsfelder und Perspektiven für nachhaltige Logistik und Geschäftsprozesse*. 2. Aufl. München : Huss, 2009.
- [THE12] The Carbon Trust (Hrsg.): *Carbon footprinting – The next step to reducing your emissions*. URL http://www.carbontrust.com/media/44869/j7912_ctv043_carbon_footprinting_aw_interactive.pdf – Abrufdatum: 07.02.2014.
- [UGA14] UGA Umweltgutachterausschuss beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: *Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*. URL <http://www.emas.de> – Abrufdatum: 14.02.2014.
- [UNE00] UNEP United Nations Environment Programme: *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. URL <http://ozone.unep.org/pdfs/Montreal-Protocol2000.pdf> – Abrufdatum: 17.02.2014.
- [UNF08] UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change: *Kyoto Protocol Reference Manual*. URL http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf – Abrufdatum: 02.03.2014.

- [UNF13a] UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change: *Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its eighth session, held in Doha from 26 November to 8 December 2012*. URL <http://unfccc.int/resource/docs/2012/cmp8/eng/13a01.pdf> – Abrufdatum: 30.01.2014.
- [UNF13b] UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change: *National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2011*. URL <http://unfccc.int/resource/docs/2013/sbi/eng/19.pdf> – Abrufdatum: 07.02.2014.
- [WR97] WACKERNAGEL, Mathis; REES, William: *Unser Ökologische Fußabdruck – Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt*. Basel : Birkhäuser Verlag, 1997.
- [WML13] WEIß, Daniel; MÜLLER, Roman; LÖSSL, Saskia: *Umweltkennzahlen in der Praxis – Ein Leitfaden zur Anwendung von Umweltkennzahlen in Umweltmanagementsystemen mit dem Schwerpunkt auf EMAS Umweltkennzahlen in der Praxis*. URL http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltkennzahlen_in_der_praxis_leitfaden_barrierefrei.pdf – Abrufdatum: 04.12.2014.
- [WB06] WENG, Chan Kook; BOEHMER, Kevin: Launching of ISO 14064 for greenhouse gas Accounting and verification. In: *ISO Management Systems* March-April (2006), S. 14–16
- [WM07] WIEDMANN, Thomas; MINX, Jan: A Definition of 'Carbon Footprint'. In: PERTSOVA, Carolyn C. (Hrsg.): *Ecological economics research trends*. New York : Nova Science Publ., 2007. S. 1–11
- [WIK14] Wikipedia: *Klimakompensation*. URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Carbon-offsetting.svg> – Abrufdatum: 14.03.2014.
- [WD07] WINTERGREEN, Jay; DELANEY, Tod: *ISO 14064, International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification*. URL <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei16/session13/wintergreen.pdf> – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [WIS09] WISSER, Jens: *Der Prozess Lagern und Kommissionieren im Rahmen des Distribution Center Reference Model (DCRM)*. Karlsruhe : Univ.-Verl. Karlsruhe, 2009.

- [WM 12] WM Logistik (Hrsg.): *Corporate Carbon Footprint 2011*. URL www.wm-group.de – Abrufdatum: 05.03.2014.
- [WPC+12] WOLF, Marc-Andree; PANT, Rana; CHOMKHAMRSRI, Kirana; SERENELLA, Sala; PENNINGTON, David: *The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe*. Luxemburg : Publication Office of the European Union, 2012.
- [WOR09] World Economic Forum (Hrsg.): *Supply Chain Decarbonization – The role of logistics and transport in reducing supply chain carbon emissions*.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_LT_SupplyChainDecarbonization_Report_2009.pdf – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [WW04] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. 2. Aufl. Conches/Geneva : WRI/WBCSD, 2004.
- [WW11a] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. Conches/Geneva : WRI/WBCSD, 2011.
- [WW11b] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard – Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*. Conches/Geneva : WRI/WBCSD, 2011.
- [WW11c] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *Guidance for Calculating Scope 3 Emissions*. URL <http://www.ghgprotocol.org> – Abrufdatum: 02.03.2014.
- [WW13] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *Required Greenhouse Gases in Inventories – Accounting and Reporting Standard Amendment*. URL http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/NF3-Amendment_052213.pdf – Abrufdatum: 22.02.2014.

- [WW14] WRI World Resources Institute; WBCSD World Business Council for Sustainable Development: *The GHG Protocol*. URL <http://www.ghgprotocol.org> – Abrufdatum: 11.03.2014.
- [ZAD11] ZADEK, Hartmut: *Nachhaltigkeit von Logistikzentren – Emissionsbewertung – Ressourcenschonung – Energieeffizienz*. URL http://www.logistik-heute.de/sites/default/files/logistik-heute/fachforen/cemat2011_lh_forum_zadek_pdf_99754.pdf – Abrufdatum: 04.03.2014.
- [ZH11] ZADEK, Hartmut; HAASE, Hartwig: Ansätze zur Nachhaltigkeit in der Logistik. In: ZADEK, Hartmut; SCHULZ, Robert (Hrsg.): *Sustainable Logistics – Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz*. Hamburg : DVV Media Group, Dt. Verkehrs-Verl, 2011. S. 3–11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mögliche Ansätze zur Treibhausgas-Minderung in der Supply Chain	2
Abbildung 2: Treibhausgasemissionen von Logistikaktivitäten.....	3
Abbildung 3: Globale Land- und Meerestemperatur.....	5
Abbildung 4: Atmosphärische Konzentration wichtiger Treibhausgase	8
Abbildung 5: Komponenten des Strahlungsantriebes.....	10
Abbildung 6: Treibhausgasemissionen der EU-27 im Jahr 2011	12
Abbildung 7: Symbolische Darstellung des CO ₂ -Fußabdrucks	13
Abbildung 8: Beispiel eines Corporate Carbon Footprint	17
Abbildung 9: Gesamter Lebenszyklus von Produkten	19
Abbildung 10: Corporate versus Product Carbon Footprint	19
Abbildung 11: Anteile der Treibhausgasemissionen der EU-15 im Jahr 2011 nach Sektoren.....	21
Abbildung 12: Anwendungsgebiete von Maßnahmen zur Steigerung der Umweltperformance bzw. von Informationen über die Umweltperformance in Unternehmen.....	22
Abbildung 13: EMAS-Logo	24
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen den Teilen der Norm ISO 14064.....	25
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Klimakompensation.....	27
Abbildung 16: Ökobilanz und direkte Anwendungen nach ISO 14040 und die davon ausgehende Betrachtung des Product Carbon Footprint.....	33
Abbildung 17: Schritte zur Erstellung eines CCF. Eigene Darstellung.....	38
Abbildung 18: Überblick über die drei Scopes des GHG-Protocols	39
Abbildung 19: Schritte zur quantitativen Bestimmung der Treibhausgasemissionen.....	40
Abbildung 20: Messung der Treibhausgasemissionen.....	43

Abbildung 21: Berechnung der THG-Emissionen mittels Emissionsfaktor	44
Abbildung 22: Funktionen eines Logistikzentrums	52
Abbildung 23: Aufteilung des Distributionszentrums.....	53
Abbildung 24: Aufteilung der Energiekosten eines Logistikdienstleisters	54
Abbildung 25: Aufteilung der Logistikimmobilie in verschiedene Subsysteme ..	54
Abbildung 26: Operative Leistungsbereiche der Intralogistik.....	56
Abbildung 27: Aufteilung der Intralogistik in verschiedene Subsysteme	56
Abbildung 28: Operative Leistungsbereiche eines Distributionszentrums.....	57
Abbildung 29: Strukturierung der Antriebsarten von Transportmitteln.....	58
Abbildung 30: Emissionen entlang der gesamten Lieferkette und mögliche Bilanzgrenzen	61
Abbildung 31: Systemgrenze des Distributionszentrums.....	63
Abbildung 32: Die Betrachtungsebenen des Systems Distributionszentrum	64
Abbildung 33: Darstellung der Subsysteme innerhalb der Systemkomponente Intralogistik.....	64
Abbildung 34: Darstellung der Subsysteme innerhalb der Systemkomponente Logistikimmobilie	65
Abbildung 35: Direkte CO ₂ - und CO ₂ -Äquivalent-Emissionen für Kraftstoffe im Vergleich.....	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Treibhausgase und mögliche Emissionsquellen	7
Tabelle 2: GWP wichtiger Treibhausgase nach	11
Tabelle 3: Normen und Standards für den Corporate Carbon Footprint	30
Tabelle 4: Anleitungen, Methodiken und Leitfäden für den Corporate Carbon Footprint.....	32
Tabelle 5: Normen, Standards und Anleitungen für den Product Carbon Footprint.....	34
Tabelle 6: Normen und nationale Leitfäden für den Transport Carbon Footprint	35
Tabelle 7: Vergleich der Standards und Normen des CCF, PCF und TCF	36
Tabelle 8: Beispiele für Aktivitätsdaten und mögliche Einheiten.....	45
Tabelle 9: Datenbanken und -modelle für Emissionsfaktoren.....	48
Tabelle 10: Auswahl unterschiedlicher Emissionsfaktoren	49
Tabelle 11: Zuordnung der Treibhausgasquellen eines Subsystems zu den Scopes	65
Tabelle 12: Treibhausgasbilanz des Subsystems Lager.....	70
Tabelle 13: Treibhausgasbilanz des Distributionszentrums.....	71
Tabelle 14: Treibhausgas-Kennzahlen für Distributionszentren und deren Subsysteme.....	74

Abkürzungsverzeichnis

BSI	British Standards Institution
CEN	Comité Européen de Normalisation
CCF	Corporate Carbon Footprint
CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äquivalent
CO _{2e}	CO ₂ equivalent
DZ	Distributionszentrum
ELCD	European reference Life Cycle Database
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EU ETS	EU Emissions Trading System
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
GWP	Global Warming Potential
H-FKW	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
ILCD	International Life Cycle Data
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Internationale Organisation für Normung
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LLGHG	Long-Living Greenhouse Gases
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PAS	Publicly Available Specification
PCF	Product Carbon Footprint
RF	Radiative Forcing
SA	Strahlungsantrieb
TCF	Transport Carbon Footprint
THG	Treibhausgas
WDZ	Warendienstleistungszentrum