



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Analyse und Optimierung der Treibhausgasemissionen einer globalen Beschaffungsstruktur am Beispiel Magna Powertrain

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Michael Schopf

(E230 Institut für Verkehrswissenschaften)

und begutachtet von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Burkhard Kittl

(E311 Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Jakob Simonsen BSc

9571346 (E 066 482)



Wien, im Februar 2017

Jakob Simonsen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Sperrvermerk:

Ich weise darauf hin, dass diese Diplomarbeit vertrauliche Informationen und unternehmensinterne Daten beinhaltet. Aus diesem Grund ist eine Veröffentlichung oder Weitergabe von Inhalten an Dritte ohne die vorherige Einverständniserklärung der MAGNA Powertrain GmbH & Co KG nicht gestattet.

Wien, im Februar 2017

Jakob Simonsen

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die mich während des Studiums und im Besonderen während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben, bedanken.

Zuerst gebührt mein Dank meinem Betreuer an der Technischen Universität Wien, Herrn Ao.Univ.Prof. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Michael Schopf, der jederzeit für Fragen und Diskussionen offen war. Dank der konstruktiven Kritik und der richtungsweisenden Anregungen hat er maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Diplomarbeit in dieser Form vorliegt.

Besonderer Dank gilt auch der Firma MAGNA Powertrain GmbH & Co KG, die mir die spannende und kurzweilige Durchführung meiner Diplomarbeit ermöglicht hat. Speziell möchte ich meine Betreuer aus dem Kernteam hervorheben, Herrn Mag. Richard Kammerhofer, Frau Dipl.-Ing. Stefanie Wachter und Herrn Alois Nager, die mich stets mit großer Aufmerksamkeit unterstützt haben und jederzeit bereit waren, Thematiken meine Arbeit betreffend zu diskutieren. Außerdem danke ich für das in mich gesetzte Vertrauen, dieses für die Firma wichtige Thema zu bearbeiten.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Freunden und Kommilitonen für den fachlichen und den emotionalen Rückhalt über die Dauer des gesamten Studiums.

Abschließend gilt ein besonderer Dank meinen Eltern, die mir zum einen dieses Studium erst ermöglicht haben und zum anderen mich in jeder Hinsicht unterstützt sowie, vor allem in schwierigen Phasen, stets motivierende Worte für mich gefunden haben.

„Der Weg ist das Ziel.“ –

Konfuzius, 551-479 v. Chr., chinesischer Philosoph

Kurzfassung

MAGNA Powertrain GmbH & Co KG ist einer der weltweit führenden Zulieferer in der Automobilindustrie. Das Unternehmen hat sich das ehrgeizige Unternehmensziel gesetzt, durch technische Innovationen und effiziente Prozesse die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren und letztendlich das führende Unternehmen bezüglich betrieblicher Umweltschutzpraktiken in der eigenen Branche zu werden.

Darauf bezugnehmend wurde die Entwicklung eines aussagekräftigen Systems, das Möglichkeiten zur Reduktion von Treibhausgasemissionen – die durch die globale Materialbeschaffung des Unternehmens verursacht werden – aufzeigt, als Ziel der Diplomarbeit definiert.

Um den aktuellen Stand der Wissenschaft in den Bereichen Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und Umweltpolitik im Transportwesen zu erheben, wurde zunächst eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Diese Recherche liefert das notwendige Grundwissen, das für die Ausarbeitungen im praktischen Teil der Diplomarbeit notwendig ist. Im nächsten Schritt wird, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen und den individuellen Anforderungen von MAGNA Powertrain GmbH & Co KG, eine zweckentsprechende Methode zur Reduktion der Treibhausgasemissionen der Transportdienstleistungen erstellt. In diesem Sinne werden die Treibhausgasemissionen der Materialbeschaffungstransporte seit dem Jahr 2012 allgemein sowie im Detail berechnet und analysiert. Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen und Analysen werden anhand der ökologischen Auswirkungen bewertet und die Möglichkeiten der Emissionsreduktion ausgearbeitet und präsentiert.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein ausführlicher Leitfaden zur Emissionsoptimierung der globalen Beschaffungsstruktur des Unternehmens. Aufbauend auf der Literaturrecherche wird zunächst der theoretische Hintergrund, der notwendig ist um die Materie richtig einschätzen und Bilanzierungsergebnisse deuten zu können, beschrieben. Zeitgleich wird dabei das Bewusstsein über die Auswirkungen der unterschiedlichen Transportmittel verschärft. Dann wird eine Eingabemaske, mit der die Treibhausgasemissionen der Transportdienstleistungen berechnet werden können, erstellt. Die Bedienung dieses Treibhausgasrechners ist einfach und liefert schnell Ergebnisse. Durch die Verwendung dieser Maske können fortan ökologische Auswirkungen bewertet und als zusätzliche Entscheidungshilfe im Supply Chain Management eingesetzt werden. Außerdem werden anhand der berechneten Emissionen jene Liefersysteme und Lieferanten, die Optimierungspotential in den Sourcing-Entscheidungen aufweisen, eruiert.

Abstract

“Analysis and Improvement of transport related greenhouse gas emissions in the global transport sector using the example of Magna Powertrain”

MAGNA Powertrain GmbH & Co KG is a tier one supplier for the global automotive industry with full capabilities in powertrain design, development, testing and manufacturing, as well as in offering complete system integrations. In line with the continuous and worldwide growing environmental pressure, MAGNA Powertrain GmbH & Co KG strives to minimize the adverse impact of their operations on the environment through technological innovation and efficient processes. The company has set the ambitious goal of ultimately becoming the industry leader in the field of environmental protection practices.

Since the global material procurement and the transport sector are responsible for a greater part of the company’s greenhouse gas emissions, the decision-making process of the supply chain management is considered as a key element in the company’s environmental policy. Therefore, the purpose of this thesis is to develop a meaningful framework, which on the one hand demonstrates how the decision-making process in the supply chain can influence the emission of greenhouse gases and on the other hand illustrates possible ways and methods to reduce induced greenhouse gas emissions.

The first part of the thesis covers a literature review of state of the art practices in the fields of environmental management, green logistics and sustainability with a focus on the transport sector. Based on those findings as well as on the requirements of MAGNA Powertrain GmbH & Co KG, in the following chapters a methodology to calculate the greenhouse gas emissions of commonly used transport services is developed. This calculator will be used to evaluate and compare all the company’s established transportation systems and to determine the company’s overall greenhouse gas emissions caused by material procurement transports since 2012.

Based on the gathered results the material procurement transports will be assessed with regards to their ecological impact and potential of emission reduction. And in addition, an interface, with which the user can calculate greenhouse gas emissions, is set up. The advantage of this greenhouse gas calculator is that the operation is simple and provides fast results, so that the ecological impact can be assessed easily and the calculator can be used as a supportive tool for supply chain decisions. The theoretical chapters of this thesis do not only serve as basis for the presented framework, furthermore, they aim to increase the awareness about the environmental impact of supply chain management decisions and develop a better understanding about the calculation of greenhouse gas emissions.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Firmenbeschreibung.....	5
2.1	Magna allgemein.....	5
2.2	Magna Powertrain (MPT).....	8
3	Vorstellung der Diplomarbeit.....	11
3.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	11
3.2	Ziele und Nicht-Ziele.....	14
3.3	Projektübersicht und Arbeitspakete.....	15
3.4	Projektzeitplan und -organisation.....	17
4	Grundlagenteil.....	19
4.1	Allgemeine Begriffe.....	19
4.2	Umweltmanagement im Transportwesen.....	26
4.3	Umweltpolitik im Transportwesen.....	30
5	Treibhausgasemissionen ermitteln (Theorie).....	35
5.1	Einleitung.....	35
5.2	Klimabilanzierung allgemein.....	38
5.2.1	Corporate Carbon Footprinting.....	39
5.2.2	Product Carbon Footprinting.....	39
5.2.3	Klimabilanzen für einzelne Transporte.....	40
5.3	Europäische Norm (EN) 16258.....	41
5.3.1	Einleitung.....	41
5.3.2	Vorgehensweise der Berechnung.....	42
5.3.3	Erhebung des spezifischen Energieverbrauchs.....	43
5.3.4	Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen.....	48
5.3.5	Ergänzende Anmerkungen.....	49
5.3.6	Zusammenfassung.....	56
5.4	EcoTransIT World (ETW).....	57
5.4.1	Einleitung.....	57
5.4.2	Anwendung des ETW-Online-Rechners.....	59

5.4.3	Unterschiede zwischen ETW und EN 16258	69
5.5	Alternative Berechnungsmethoden	72
6	Treibhausgasemissionen ermitteln am Beispiel MPT (Praxis)	77
6.1	Tatsächliche Vorgehensweise bei der Berechnung	77
6.2	Verkehrsmittel im Detail	81
6.2.1	Straßenfrachttransporte	81
6.2.2	Schienenfrachttransporte	83
6.2.3	Wasserfrachttransporte	84
6.2.4	Luftfrachttransporte	85
6.2.5	Vergleich der ausgewählten Verkehrsmittel	87
6.3	Eingabemaske zur Emissionsberechnung	90
6.4	Auswertung der gesamten Materialbeschaffungen	92
6.5	Auswertung ausgewählter Fallbeispiele	101
6.5.1	Spanien	101
6.5.2	Schweden	106
6.5.3	China	109
6.6	Lieferanten mit Luftfrachttransporten	114
7	Ergebnisse der Diplomarbeit	117
7.1	Literaturrecherche	117
7.2	Eingabemaske	117
7.3	Vergleich der Verkehrsmitteltypen	118
7.4	Treibhausgasemissionen der Materialbeschaffung	118
7.5	Bewertung ausgewählter Fallbeispiele	118
8	Schlussfolgerungen der Diplomarbeit	119
9	Literaturverzeichnis	120
10	Abbildungsverzeichnis	125
11	Formelverzeichnis	127
12	Tabellenverzeichnis	128
13	Abkürzungsverzeichnis	129
14	Anhang	132
14.1	Exposé zur Diplomarbeit	132

1 Einleitung

Ein wichtiger Bestandteil der Unternehmensphilosophie des kanadisch-österreichischen Automobilzulieferers Magna International Inc. (Magna) ist die Rücksichtnahme auf die Umwelt. Aus diesem Grund hat sich das Unternehmen das ehrgeizige Ziel gesetzt, Branchenführer im Bereich der Umweltschutzpraktiken zu sein. Durch zunehmend klimawirksame Maßnahmen, wie technische Innovationen und effizientere Prozesse in allen Unternehmensbereichen, sollen die ökologischen Auswirkungen des Unternehmens auf die Umwelt minimiert und sichere und gesunde Arbeitsbedingungen geschaffen werden.¹ Diese Philosophie wird erwartungsgemäß von allen untergeordneten Unternehmensgruppen, darunter auch Magna Powertrain (MPT), übernommen.

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit, nämlich den aktuellen Status Quo zu den Themen Umweltmanagement, Grüne Logistik und Nachhaltigkeit im Supply Chain Management aufzunehmen und weiters dem Unternehmen Alternativen in der Transportlogistik vorzuschlagen, fällt in den Bereich des Lieferantenmanagements.

Definierte Ziele der Diplomarbeit sind, die Entwicklung der von Materialbeschaffungen verursachten Transportemissionen der letzten Jahre zu veranschaulichen und ein Programm zu erstellen, mit dem die Transportemissionen so bewertet werden können, dass sie zunächst in die Lieferantenauswahl (Sourcing-Entscheidungen) miteinbezogen und letztendlich reduziert werden können.

Basierend auf der theoretischen Bestandsaufnahme werden zunächst alle für diese Arbeit relevanten Berechnungs- und Bewertungsmethoden evaluiert. Anschließend werden jene, die besonders geeignet sind, ausgewählt. Zusätzlich werden in dieser Phase alle Daten und Informationen, die für die Berechnung notwendig sind und von MPT bereitgestellt werden müssen, bestimmt. Außerdem wurde im Zuge der Aufgabenerstellung festgelegt, dass ausschließlich die ökologischen Auswirkungen der Materialbeschaffungstransporte von MPT berechnet und evaluiert werden sollen. Zu diesen Beschaffungstransporten zählen alle Lieferungen, die von nationalen und internationalen Lieferanten an die österreichischen Unternehmensstandorte in Albersorf, Ilz und Lannach gebracht werden. Anschließend werden die Ergebnisse der allgemeinen Auswertungen zusammengefasst und die Bereiche, die ein erhöhtes Optimierungspotential aufweisen, hervorgehoben. Neben der allgemeinen Untersuchung der Transportdienstleistungen werden zusätzlich einige ausgewählte Fallbeispiele im Detail analysiert und bewertet. Dazu wird ein Bewertungssystem, mit dem die Transportdienstleistungen der Lieferanten nach ökologischen Gesichtspunkten evaluiert werden können, erstellt.

¹ vgl. <http://www.magna.com/de/soziale-verantwortung/gesundheit-sicherheit-umweltschutz> (gelesen am: 11.11.2016)

Um die Ziele der Arbeit in die Praxis umzusetzen, werden zwei wesentliche Methoden eingesetzt:

Zunächst wird eine ausführliche Literaturrecherche mit dem Fokus auf die Themenbereiche Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und Umweltpolitik im Transportwesen durchgeführt.

Und dann wird die Vorgehensweise zur Bilanzierung von Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen ausgearbeitet. Dabei wird vor allem die Europäische Norm (EN) 16258, die dazu dient, die Ergebnisse der Bilanzierung von Transportemissionen präzise, transparent und einheitlich darzustellen, als Grundlage verwendet. Die Normberechnung wird durch den Einsatz von alternativen Berechnungstools, wie zum Beispiel dem Online-Rechner der EcoTransIT Initiative, ergänzt.

Anmerkung:

Den nachfolgenden Formulierungen liegen keine diskriminierenden Absichten zugrunde. Nicht geschlechtsneutrale Formulierungen dienen lediglich der sprachlichen Vereinfachung und der besseren Lesbarkeit.

2 Firmenbeschreibung

2.1 Magna allgemein

Die Magna International Inc. mit Hauptsitz in Aurora, Ontario, Kanada, ist heute der weltweit am stärksten diversifizierte Autozulieferer. Einerseits entwickelt, konstruiert und fertigt Magna Systeme, Baugruppen, Module und Bauteile und andererseits wird das Engineering und die Montage von kompletten Fahrzeugen übernommen.² Mehr als 155.000 Mitarbeiter, innovative Produkte und Prozesse sowie Herstellung auf Weltklasse-Niveau tragen dazu bei, dass Magna heute der bevorzugte Lieferant in der Automobilindustrie ist.³ Innovation bedeutet bei Magna, neue Ideen auf den Markt zu bringen, die Entwicklung wegweisender Technologien, sowie die Verwandlung neuester Materialien und Prozesse in Branchenstandards.⁴ Im Zuge des eigens erstellten Verhaltens- und Ethikkodex hat sich das Unternehmen dazu verpflichtet, in allen Ländern, in denen Magna mit Stützpunkten vertreten ist, die Geschäfte mit Integrität, Fairness und Respekt zu führen.⁵

Aus dem einstigen Ein-Personen-Unternehmen, das 1957 von dem Austro-Kanadier Frank Stronach gegründet wurde, hat sich ein Konzern mit 312 Produktionsstätten und 98 Zentren für Produktentwicklung, Engineering und Vertrieb entwickelt. Somit ist Magna heute der global führende Autozulieferer.⁶ In Anbetracht der Tatsache, dass das größte Wachstum der Automobilindustrie und bei Fahrzeugverkäufen in den kommenden Jahren in nichttraditionellen Märkten wie China, Indien, Osteuropa und Südamerika stattfinden wird, ist das über vier Kontinente in 29 Ländern global gewachsene Netzwerk des Unternehmens ein großer Vorteil. Dadurch ist es möglich, problemlos weltweit jeden größeren Automobilhersteller zu beliefern.⁷

Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Ansiedlung und Verteilung der Produktionsstandorte und der Produktentwicklungs-, Engineering- und Vertriebszentren:

² vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna/facts-and-history-de> (gelesen am 07.12.2016)

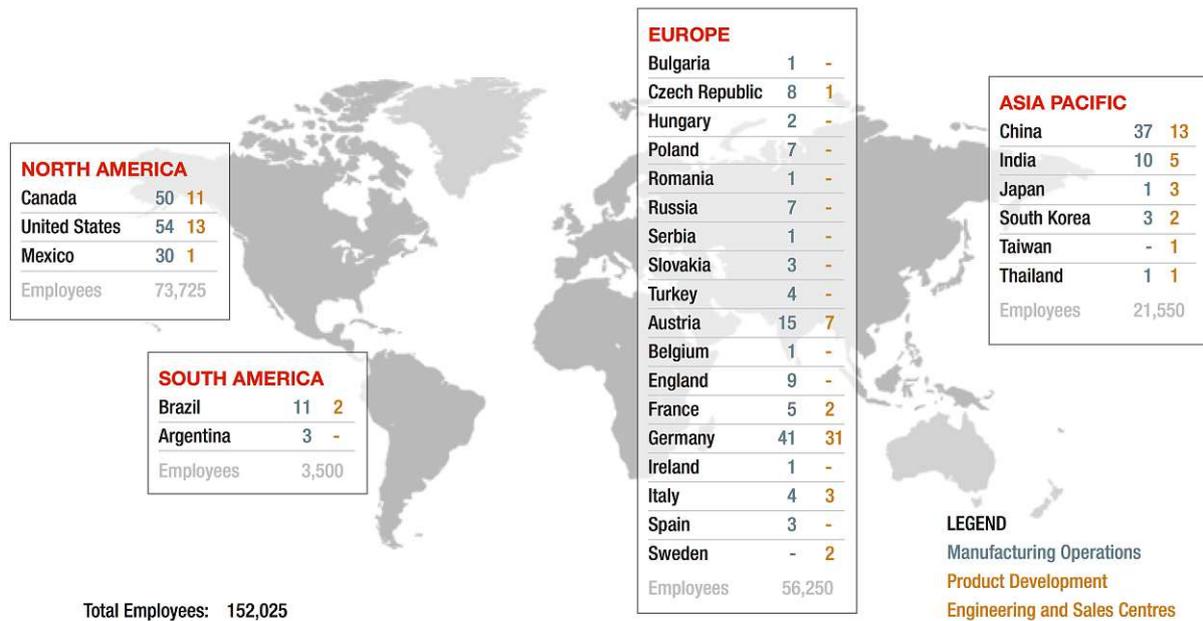
³ vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna> (gelesen am 07.12.2016)

⁴ vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna/bekanntnis-zu-innovation> (gelesen am 07.12.2016)

⁵ vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna/magna-verhaltens--und-ethikkodex> (gelesen am 07.12.2016)

⁶ vgl. <http://www.magna.com/de/medien/magna-fakten-geschichte/fakten-geschichte> (gelesen am 07.12.2016)

⁷ vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna/facts-and-history-de> (gelesen am 07.12.2016)

Abbildung 1: Magna International – Global Operations^{8,9}

Nordamerika

Seit der Einführung der Fließbandfertigung Anfang des 20. Jahrhunderts hat die Automobilindustrie in Nordamerika viele Höhen und Tiefen erlebt. Dennoch konnte sie den Status als einer der größten Industriezweige in Bezug auf das Absatz- und Produktionsvolumen der Welt halten.

Magna ist in Nordamerika stark vertreten. Nicht nur der Hauptsitz des kanadisch-österreichischen Automobilzulieferers befindet sich in Aurora, Ontario, sondern das Unternehmen ist zum einen auch Kanadas größter Hersteller von Automobilteilen und zum anderen eines der größten Unternehmen des Landes überhaupt. Insgesamt verfügt Magna in Kanada, Mexiko und den USA über 155 Werke und beschäftigt dort rund 73.000 Mitarbeiter.¹⁰

Südamerika

In der Hoffnung an den wirtschaftlichen Aufschwung in Südamerika – vor allem in Argentinien und Brasilien – anschließen zu können, haben Automobilhersteller ihre Investitionen in dieser Region verstärkt und die Anzahl der Produktionsbetriebe erhöht. Auf diese Weise hat sich Südamerika in den letzten Jahren zu einem der interessantesten Automärkte der Welt entwickelt.

⁸ Abbildung entnommen aus: <http://www.magna.com/de/medien/magna-fakten-geschichte/fakten-geschichte> (gelesen am 11.09.2016)

⁹ Da die Grafik der Magna-Website nicht dem aktuellen Stand entspricht, kommt es zu Differenzen zwischen den veralteten Werten in der Abbildung und den aktualisierten Angaben im Text.

¹⁰ vgl. <http://www.magna.com/de/globale-struktur/nordamerika> (gelesen am 07.12.2016)

Auch Magna konnte in den genannten Regionen ein deutliches Wachstum verzeichnen. Heute beschäftigt das Unternehmen dort 3.500 Mitarbeiter und besitzt 14 Produktionsstätten sowie zwei Zentren für Produktentwicklung, Engineering und Vertrieb.¹¹

Asien

Der durch seine Vielfalt an Kulturen und Völker geprägte Kontinent Asien erlebt zurzeit eine Phase der schnellen Industrialisierung und des rapiden Wachstums. Die steigende Dominanz in der globalen Automobilindustrie wird größtenteils durch das Absatz- und Produktionswachstum in China vorangetrieben und führt zu einer allmählichen Verlagerung der Weltwirtschaft.

Auch Magna weist seit Mitte der 1990er-Jahre ein konstantes Wachstum in Asien auf. Aktuell beschäftigt der Konzern nahezu 22.000 Mitarbeiter in 51 Produktionsstätten sowie 25 Zentren für Produktentwicklung, Engineering und Vertrieb.¹²

Europa

Dass Wohlstand und die Automobilindustrie untrennbar miteinander verbunden sind, kommt vor allem Europa, wo weltweit am meisten Kraftfahrzeuge hergestellt werden, zugute. Die Zugpferde der wesentlichen europäischen Wachstumsregionen sind vor allem die Werke in Osteuropa und Russland.

In ganz Europa machen mehr als 159 Werke und über 56.000 Mitarbeiter Magna zu einem führenden Lieferanten auf dem europäischen Markt. In **Österreich** arbeiten rund 13.800 Mitarbeiter in 15 Produktionsstätten und sieben Zentren für Produktentwicklung, Engineering und Vertrieb. Dazu gehört auch der Montagebetrieb in Lannach bei Graz.¹³

¹¹ vgl. <http://www.magna.com/de/globale-struktur/südamerika> (gelesen am 07.12.2016)

¹² vgl. <http://www.magna.com/de/globale-struktur/asien> (gelesen am 07.12.2016)

¹³ vgl. <http://www.magna.com/de/globale-struktur/europa> (gelesen am 07.12.2016)

Der Magna-Konzern lässt sich, nach unterschiedlichen Kompetenzfeldern gegliedert, in folgende neun Unternehmensgruppen unterteilen:

- Fahrzeugentwicklung & Auftragsfertigung (engl.: Vehicle Engineering & Contract Manufacturing)
- Elektronik (engl.: Electronics)
- Dachsysteme (engl.: Roof Systems)
- Schließsysteme (engl.: Closures)
- Sichtsysteme (engl.: Vision Systems)
- Sitzsysteme (engl.: Seatings)
- Außenausstattungen (engl.: Exteriors)
- Antriebssysteme (engl.: Powertrain)
- Karosserie & Fahrwerksysteme (engl.: Body & Chassis)¹⁴

2.2 Magna Powertrain (MPT)

Die untergeordnete Unternehmensgruppe Magna Powertrain hat ihren Hauptfirmensitz in Troy, Michigan, in den USA. Umfangreiches Expertenwissen in der Konstruktion, Entwicklung, Prüfung und Herstellung von Antriebssträngen führt dazu, dass Magna auch in der Branche der Antriebssysteme ein weltweit führender Zulieferer ist.¹⁵ Das Unternehmen entwickelt, produziert und vertreibt mechanisch und elektronisch geregelte Antriebsstrang- sowie Elektronik- und Sensorsysteme.¹⁶ MPT hat ein Produktportfolio, das von kleinen Teilen bis hin zu kompletten Antriebssystemen reicht und in Summe in diesem Bereich der am meisten diversifizierte aller Zulieferer ist. Insgesamt werden global über 70 verschiedene Kunden in der Automobilindustrie, also nahezu alle namhaften Automobilhersteller weltweit, beliefert.¹⁷

Ziel von MPT ist es, jetzt und in Zukunft alle Bereiche des Portfolios nach neuesten Technologien auszurichten, um so innovative Produkte von höchster Qualität, die zur Erhöhung der Leistung, der Zuverlässigkeit, der Wirtschaftlichkeit und des Fahrgefühls beitragen, herzustellen.¹⁸ Dazu gehören vor allem die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs, die Verbesserung der Fahrzeugsicherheit und der Wertschöpfung sowie die Gewichtsreduzierung. Zusätzlich wird durch moderne

¹⁴ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen> (gelesen am 11.11.2016)

¹⁵ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme> (gelesen am 11.11.2016)

¹⁶ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme/über-magna-powertrain/mission-statement> (gelesen am 11.11.2016)

¹⁷ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme/karriere-bei-magna-powertrain/stellenangebote-bei-magna-powertrain/mitarbeiter-fragen-antworten> (gelesen am 11.11.2016)

¹⁸ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme/produkte-dienstleistungen> (gelesen am 11.11.2016)

Produktionsstrategien eine qualitative und wirtschaftliche Herstellung sichergestellt.¹⁹
Das Leistungsspektrum der MPT umfasst folgende fünf Sektionen:

- Driveline Systems
- Fluid Pressure & Controls
- Metal Forming Solutions
- Advanced Engineering
- GETRAG Getriebe

Mittlerweile ist MPT auf rund 28.000 Mitarbeiter weltweit angewachsen, wovon ca. 3.500 Mitarbeiter in Österreich beschäftigt sind. 40 Produktionsstandorte und 35 Zentren für Produktentwicklung, Engineering und Vertrieb sind auf vier Kontinenten verteilt.²⁰

- Nordamerika: Kanada, Mexiko, USA
- Südamerika: Brasilien
- Europa: Bulgarien, Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich
 - Österreich: Albersdorf, Ilz, Lannach, St. Valentin, Traiskirchen
- Asien: China, Indien, Japan, Korea²¹

Die Unternehmensphilosophie des Magna-Konzerns, die auf Grundwerten wie Fairness und Verantwortungsbewusstsein beruht, wird selbstverständlich auch von MPT übernommen. Dadurch entsteht eine Kultur, die neue Ideen begünstigt und den Fokus auf kontinuierliche Verbesserung legt. Im Wesentlichen beruht das Erfolgskonzept des Unternehmens auf drei Säulen: Qualität, Umweltbewusstsein und Sicherheitspolitik.

Mit dem Ziel ein besseres Produkt kostengünstiger als die Konkurrenz herzustellen, wird kundenorientiert den Wünschen des Marktes nachgegangen. Ein weiteres besonderes Anliegen von Magna ist aber auch Sicherheit und Sauberkeit am Arbeitsplatz, weshalb unter anderem durch die Methoden der Null-Fehler-Philosophie optimale Verhältnisse am Arbeitsplatz geschaffen werden. Außerdem wird durch einen regelmäßigen internen und externen Informationsaustausch ein offenes und produktives Netzwerk, das zu gefestigten Kundenbeziehungen führt, gepflegt.²² Entsprechend der selbst auferlegten Grundwerte verpflichtet sich das Unternehmen auch zur „sozialen Verantwortung“ und verfolgt daher das hochgesteckte Ziel,

¹⁹ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme/über-magna-powertrain/magna-powertrain-at-a-glance> (gelesen am 11.11.2016)

²⁰ vgl. <http://www.iaeste.at/de/company/54> (gelesen am 11.11.2016)

²¹ vgl. <http://www.magna.com/de/kompetenzen/antriebssysteme/über-magna-powertrain/locations> (gelesen am 11.11.2016)

²² vgl. <http://www.magna.com/de/über-magna/weltklasse-fertigung/die-grundsätze-unserer-betriebstätigkeit> (gelesen am 11.11.2016)

Branchenführer im Bereich von Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltschutzpraktiken zu sein.²³

²³ vgl. <http://www.magna.com/de/soziale-verantwortung/unser-komitment> (gelesen am 11.11.2016)

3 Vorstellung der Diplomarbeit

3.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die globale Erderwärmung und der Klimawandel haben sich in den letzten Jahrzehnten zum bedrohlichsten Umweltproblem der Menschheit entwickelt. Ein Grund für die langsame aber dennoch kontinuierliche Aufheizung des Weltklimas ist der durch menschliches Handeln erzeugte Treibhauseffekt. Dieser Effekt ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen: das Wirtschaftswachstum und der Energieverbrauch.²⁴ Grundsätzlich ist der Treibhauseffekt ein notwendiges Naturphänomen, der das Leben auf diesem Planeten überhaupt erst ermöglicht. Dieser Effekt bewirkt nämlich, dass die mittlere Erdoberflächentemperatur rund 15 Grad Celsius, anstatt minus 18 Grad Celsius, beträgt. Treibhausgase (THG) sind Spurengase, deren Ausscheidung den Treibhauseffekt verstärkt.²⁵

Zu den wichtigsten Treibhausgasen zählen:

- Distickstoffoxid (N_2O)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Methan (CH_4)
- Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW)
- Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)
- Schwefelhexafluorid (SF_6)²⁶
- Stickstofftrifluorid (NF_3)²⁷

Jedes Treibhausgas kann bezüglich seiner Treibhauswirkung gemäß dem zweiten Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 1995 auf Kohlendioxid umgerechnet werden. Umgerechnete Gase werden mit dem Zusatz Kohlendioxid-Äquivalent (CO_2e) gekennzeichnet. Zum Beispiel entspricht ein Kilogramm (kg) Methan einer äquivalenten Menge von 21 Kilogramm CO_2e .²⁸

Im Jahr 2014 machte in Österreich das Spurengas Kohlendioxid rund 84 Prozent der Gesamtemissionen aus, Methan war für rund neun Prozent, Distickstoffoxid für rund vier Prozent und fluorierte Gase für rund drei Prozent der gesamten emittierten Treibhausgase verantwortlich.

²⁴ vgl. Azlina, Law, Mustapha, 2014, S.1

²⁵ vgl. Gruden, 2016, S.19f

²⁶ vgl. DIN, 2012, S.8

²⁷ vgl. BAFU, 2015, S.1

²⁸ vgl. Umweltbundesamt, 2013, S.63

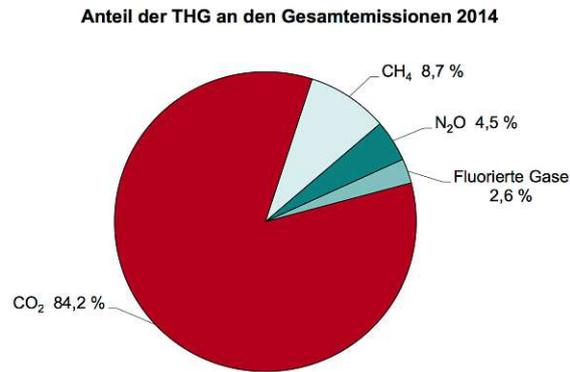


Abbildung 2: Treibhausgasanteile an den österreichischen Gesamtemissionen²⁹

Nicht nur österreichweit, sondern auch global betrachtet ist das Treibhausgas Kohlendioxid der primäre Auslöser für den durch den Menschen verursachten Klimawandel. Dieses Spurengas entsteht vor allem bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdgas und Erdöl.³⁰ Da aus fossilen Energieträgern unter anderem auch Treibstoffe wie Diesel und Benzin gewonnen werden, zählt der Verkehrssektor zu den Hauptverursachern des Klimawandels.

Zu den wesentlichsten durch den Verkehr hervorgerufenen Umweltbeeinträchtigungen gehören:

- Energieverbrauch
- Schadstoffemissionen
- Lärmemissionen
- Flächenverbrauch
- Oberflächenversiegelung
- Zerschneidungseffekte von Ökosystemen
- Auswirkung auf das Landschaftsbild³¹

Ein Weg, den exzessiven Energieverbrauch und deren negative Auswirkungen aufzuhalten oder zumindest einzudämmen, führt über die Nachhaltigkeit.

Wenn die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, ohne dabei zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht sicherstellen können, dann wird von einer nachhaltigen Entwicklung gesprochen.³² Auch wenn die Umweltverträglichkeit der bedeutendste Teil der Nachhaltigkeit ist, fordert die Definition des Begriffs zusätzlich auch die Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Aspekte. Dementsprechend setzt sich Nachhaltigkeit aus drei Komponenten zusammen: Naturverträglichkeit, Sozialverträglichkeit und

²⁹ Abbildung entnommen aus: Umweltbundesamt, 2016, S.46

³⁰ vgl. Gruden, 2016, S.1ff

³¹ vgl. Herry, u.a., 2007, S.164

³² vgl. Bretzke, Barkawi, 2010, S.9ff

ökonomische Verträglichkeit. Die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung kann also nur dann gewährleistet werden, wenn alle drei Aspekte einbezogen werden.³³

Zunehmend steigende Bedenken zu Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz sind der treibende Motor, dass nachhaltiges Wirtschaften mittlerweile auch in der Unternehmenswelt angekommen ist und dass sich Unternehmen vermehrt mit den negativen ökologischen Auswirkungen ihrer Tätigkeiten auseinandersetzen.³⁴ Allerdings steht auch fest, dass, so lange nachhaltige Maßnahmen nicht gesetzlich vorgeschrieben werden, der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen kontinuierlich steigen werden. Beispielsweise sind Unternehmen und Konsumenten, die auf die Versorgung mit Rohstoffen und Produkten angewiesen sind, durch zunehmende Globalisierung und Wirtschaftswachstum gezwungen ihre Transportnetzwerke kontinuierlich zu optimieren und auszuweiten. Aus diesem Grund sind sich Experten einig, dass der Schlüssel zu einer nachhaltigen Denkweise bei Transportdienstleistungen in der Logistik und im Supply Chain Management liegt.³⁵

Eine Branche, die daher besonders vom Gedanken an Nachhaltigkeit betroffen ist, ist die Automobilindustrie. Die Automobilindustrie ist eine der weltweit größten Industrien überhaupt und gehört aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs zu den führenden Produzenten an klimawirksamen Industrieabfallprodukten.³⁶ Weiters sind aufgrund der Vorreiterrolle der Automobilindustrie in der Logistik und im Supply Chain Management die Entscheidungen und Maßnahmen dieser Branche besonders entscheidend für die allgemeine zukünftige Entwicklung von Umweltmanagement und Nachhaltigkeit.³⁷ Aus diesem Grund ist es heute für Unternehmen in der Automobilindustrie unerlässlich, sich mit dem Begriff Nachhaltigkeit zu beschäftigen.

Wie bereits in den einleitenden Kapiteln erwähnt, ist das erklärte Ziel von Magna, weiterhin für Kunden der bevorzugte Lieferant in der Automobilindustrie zu sein. Dies wird einerseits durch innovative Produkte und Prozesse und Herstellung auf Weltklasse-Niveau zum besten Preis-Leistungs-Verhältnis ermöglicht und andererseits durch das Festlegen hoher Standards bezüglich der Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltschutzpraktiken gewährleistet. Zur Unterstützung dieses hochgesteckten Unternehmensziels soll im Zuge der vorliegenden Arbeit ein Konzept zur Emissionsoptimierung der globalen Beschaffungsstruktur der österreichischen Standorte von MPT entwickelt werden. Im Allgemeinen ist MPT nur für die Koordination der Zulieferertransporte verantwortlich, die Kundentransporte werden in der Regel von den Kunden selbst organisiert. Daher werden in dieser Diplomarbeit

³³ vgl. Tonnello, u.a., 2011, S.4

³⁴ vgl. Koplin, Seuring, Mesterharm, 2007, S.1053

³⁵ vgl. Appel, Beckmann, 2010, S.12ff

³⁶ vgl. Zailani, u.a., 2015, S.1

³⁷ vgl. Braun, 2011, S.3

ausschließlich Materialbeschaffungstransporte an die österreichischen MPT-Standorte untersucht. Dennoch sei an dieser Stelle angemerkt, dass es sich bei den konzipierten Methoden um allgemein gültige Bewertungsmethoden handelt, die ohne weiteres innerhalb und außerhalb des Konzerns eingesetzt werden können.

3.2 Ziele und Nicht-Ziele

Die vorliegende Diplomarbeit hat das Ziel, die ökologischen Aspekte des Transportwesens zu untersuchen, ein Bewertungstool für einzelne Transporte zu erstellen und einen Überblick über die Emissionen der Materialbeschaffung der österreichischen Standorte von MPT zu geben. Die wichtigsten zu erarbeitenden Ziele und Nicht-Ziele wurden im Vorfeld in Absprache mit den Betreuern seitens MPT und der TU Wien definiert und in Form eines Exposés³⁸ festgehalten.

Die Ziele sind:

- Literaturrecherche zum Thema Klimaschutz im Transportwesen
- Überblick über Umweltmanagement und -politik im Transportwesen
- Erstellung eines Bewertungsschemas der Materialbeschaffungstransporte
- Berechnung der THG-Emissionen der Materialbeschaffungstransporte
- Treibhausgasbezogener Vergleich der für MPT relevanten Verkehrsmittel
- Entwicklung der vergangenen und zukünftigen Transportemissionen von MPT
- Konzeption einer Entscheidungshilfe für Sourcing-Entscheidungen
- Ausarbeitung relevanter Reduktionsmaßnahmen der Emissionen

Die Nicht-Ziele sind:

- Bewertung der Transporte von MPT zum Kunden
- Integration von wirtschaftlichen Parametern in die Auswertung
- Überblick über THG-Reduktion durch Treibstoffe und Antriebssysteme
- Individuelle und separate Betrachtung der Treibhausgaskoeffizienten (wie zum Beispiel: CO, CO₂, NMHC, NO_x und Partikel)
- Emissionsoptimierungen der Intralogistik und der Immobilien
- Maßnahmen zur Reduktion der indirekten Emissionen (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Verkehrsmitteln sowie Verkehrsinfrastrukturen)
- Programmieren einer Berechnungssoftware

³⁸ Das Exposé ist im Anhang dieser Arbeit (siehe S.132) angeschlossen.

3.3 Projektübersicht und Arbeitspakete

Ausgehend von der Zielsetzung und den Inhalten der Aufgabenstellung wurden fünf Arbeitspakete, die als übersichtlicher Leitfaden dienen sollen, erstellt. Anhand dieser lässt sich die Untersuchungsreihenfolge aller für die Arbeit notwendigen Fragestellungen ableiten.

1. Arbeitspaket (AP1) - „Bewertungsmethoden“

Inhaltlich werden in dieser Phase alle Daten und Informationen, die für die Analyse und Bewertung der Materialbeschaffungstransporte notwendig sind, gesammelt. Zu Beginn steht eine detaillierte Literaturrecherche und Grundlagenforschung im Bereich der Nachhaltigkeit, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Emissionsoptimierung im Transportwesen gelegt wird. Basierend auf dem gewonnenen Hintergrundwissen werden nun alle verfügbaren Normen, Bewertungsmethoden und Formeln gesammelt, aufgelistet und verglichen. Anschließend werden die von MPT in Lannach bereitgestellten Daten und Informationen nach ihrer Relevanz für die Berechnung sortiert und gefiltert, gegebenenfalls werden fehlende Daten ergänzt. Außerdem werden in dieser Phase auch mögliche Einschränkungen, Ungenauigkeiten und Kompromisse, die bei der Bewertung auftreten können, erfasst.

Die Ergebnisse des ersten Arbeitspaketeits sind:

- Eine umfangreiche Literaturrecherche wurde durchgeführt
- Ein Vergleich der unterschiedlichen Bewertungsmethoden ist erstellt
- Alle für die Berechnung notwendigen Daten sind definiert und von MPT bereitgestellt
- Die Methode zur Berechnung der Emissionen ist festgelegt

2. Arbeitspaket (AP2) - „IST-Analyse“

Mit den gewonnen Erkenntnissen und Informationen des ersten Arbeitspaketes werden in diesem Abschnitt die von MPT bereitgestellten Daten mit der im ersten Abschnitt festgelegten Bewertungsmethode ausgewertet und analysiert. Zusätzlich wird die Entwicklung der durch MPT verursachten Emissionen seit 2012 aufbereitet und im Detail untersucht sowie positive und negative Fallbeispiele hervorgehoben. Zuletzt werden je nach Notwendigkeit Korrekturen und Optimierungen an den Ergebnissen des ersten Arbeitspakts durchgeführt.

Die Ergebnisse der zweiten Phase sind:

- Treibhausgasemissionen der Materialbeschaffungen sind berechnet
- Entwicklung und Ausblick der Transportemissionen ist erstellt
- Fallbeispiele sind im Detail ausgewertet und aufbereitet

3. Arbeitspaket (AP3) - „Potentiale ermitteln“

Nachdem im Rahmen der ersten beiden Arbeitspakete die Grundlagenforschung erfolgt, Bewertungsmethoden festgelegt und Berechnungen durchgeführt wurden, wird in diesem Abschnitt das Optimierungspotential ausgearbeitet. Anhand von aus der Berechnung gewonnenen Erkenntnissen werden nun jene Bereiche, mit Potential die Treibhausgasemissionen der Transporte zu reduzieren, im Detail und speziell für die Anwendung von MPT untersucht. Abschließend werden diese Verbesserungspotentiale präsentiert.

Das Ergebnis des dritten Arbeitspaketes ist:

- Auf Basis der AP1 und AP2 sind die Verbesserungspotentiale ermittelt

4. Arbeitspaket (AP4) - „SOLL-Konzept“

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes werden aufbauend auf den durchgeführten Analysen und Ausarbeitungen Maßnahmen zur Reduktion der Transportemissionen vorgeschlagen.

Die Ergebnisse sind:

- Ein Konzept zur Berücksichtigung der Treibhausgasemissionen in die Sourcing-Entscheidungen ist erstellt
- Ein Konzept zur Reduktion der Abgasemissionen ist erstellt

5. Arbeitspaket (AP5) - „Fertigstellung der Diplomarbeit – Schreiben“

Dieses Arbeitspaket umfasst ausschließlich die schriftliche Zusammenfassung der Vorgehensweise und Resultate der Arbeit. Das Ergebnis dieses Arbeitspaketes ist die fertiggestellte Diplomarbeit in digitaler und gebundener Form.

In der folgenden Abbildung werden die fünf Arbeitspakete und deren Ablauf zusammenfassend dargestellt.



Abbildung 3: Überblick der Arbeitspakete

3.4 Projektzeitplan und -organisation

Der Projektzeitplan, in dem die Arbeitspakete erledigt wurden, lässt sich in drei Phasen gliedern:

- Vorbereitung (April und Mai)
- Hauptbearbeitungszeit (Mai bis September)
- Nachbearbeitung (Oktober bis Dezember)

Folgende Abbildung zeigt den im Vorfeld der Diplomarbeit bestimmten Fahrplan zur Ausarbeitung der einzelnen Ziele und Arbeitspakete. So wird ein detaillierter Überblick über den zeitlichen Ablauf dieses Projekts gewonnen.

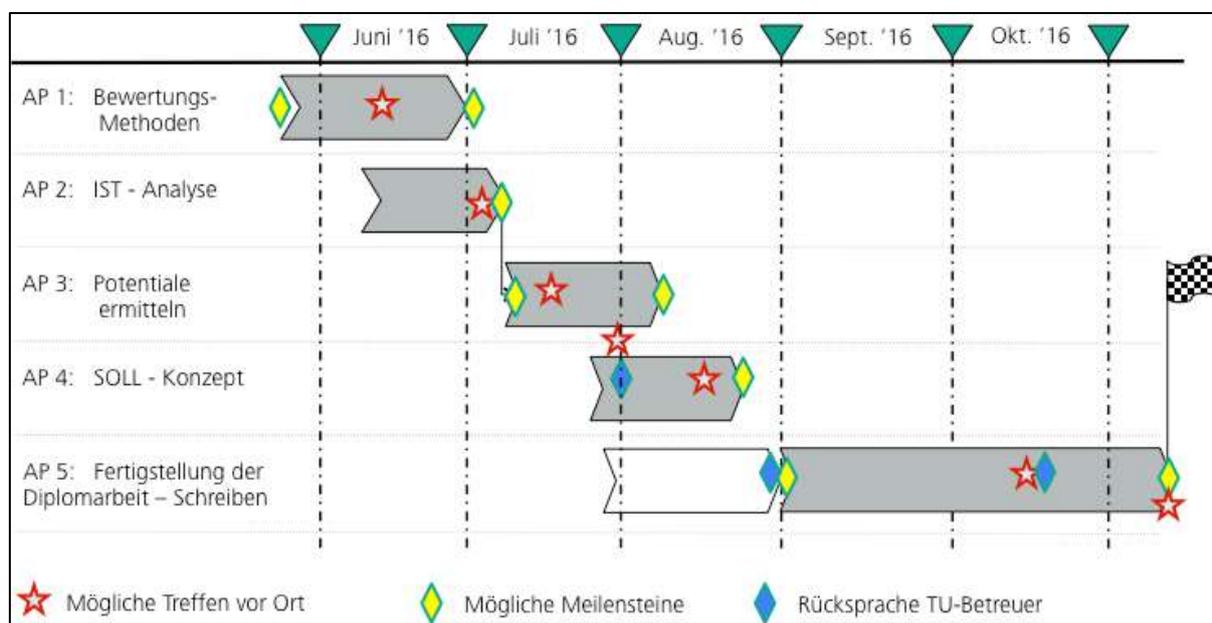


Abbildung 4: Zeitlicher Ablauf der Arbeitspakete

Die eingesetzten Symbole dieser Abbildung lassen sich folgendermaßen erklären: Die grauen Balken zeigen jeweils den Zeitraum eines Arbeitspaketes, die gelben „Mögliche Meilensteine“-Rauten stehen für den Start und das Ende eines Arbeitspaketes. Die mit roten Sternen markierten „Mögliche Treffen vor Ort“ stehen für vor Ort abgehaltene Präsentationen über den Verlauf der Arbeit und anschließende Diskussionsrunden. Diese Meetings wurden in einem zwei- bis dreiwöchigen Rhythmus abgehalten. Und die blauen Rauten – „Rücksprache TU-Betreuer“ – symbolisieren Besprechungen mit dem Betreuer der Technischen Universität Wien. Es ist vorgesehen, dass die gesammelten Ergebnisse im Rahmen einer Abschlusspräsentation am Firmenstandort in Lannach präsentiert werden.

Diese Abbildung zeigt die Projektorganisation und das Betreuerteam der vorliegenden Diplomarbeit.



Abbildung 5: Projektorganisation und Betreuung

4 Grundlagenteil

4.1 Allgemeine Begriffe

Die **trockene atmosphärische Luft** besteht zu 78,1 Volumenprozent aus Stickstoff (N₂), zu 20,9 Volumenprozent aus Sauerstoff (O₂) und aus unterschiedlichen sogenannten Spurengasen. Mit 96,6 Volumenprozent macht das Argon (Ar) den größten Anteil der Spurengase aus. Das Kohlendioxid (CO₂) kommt dabei nur auf einen Wert von 0,3 Volumenprozent. Die restlichen Bestandteile der atmosphärischen Luft sind Wasserdampf (H₂O), Kohlenmonoxid (CO), Staub, Pollen, diverse Bakterien und viele weitere „luftverunreinigende“ Stoffe.³⁹

Als **Emissionen** werden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Wärme, Strahlen und vergleichbare Erscheinungen bezeichnet.⁴⁰ Dabei wird zwischen natürlichen und anthropogenen Emissionen unterschieden. **Natürliche Emissionen** sind Emissionen, die ohne menschliche Eingriffe in die Natur entstehen. Dazu zählen: Vulkanausbrüche, selbstentzündete Waldbrände, Ausscheidungen von Fauna und Flora, die Verdunstung von Wasseroberflächen oder atmosphärische Ereignisse wie Blitze. **Anthropogene Emissionen** sind durch den Menschen verursachte Emissionen. Typische Emissionsquellen sind: Energiebereitstellung, Industrie, Verkehr, Hausbrand, Verbrennung von Biomasse, Landwirtschaft oder Abfallverbrennung.⁴¹ Je nachdem welche chemische Komponente untersucht wird, kann das Verhältnis zwischen natürlichem und anthropogenem Anteil an den Gesamtemissionen stark variieren. Beispielsweise ist im Fall von Kohlendioxid der Mensch für rund vier Prozent aller Kohlendioxid-Emissionen verantwortlich.⁴² Bei Distickstoffoxid wiederum werden 31 Prozent aller Emissionen durch den Menschen verursacht.⁴³

Nachdem sich die emittierten Substanzen mit der Umgebungsluft vermischen, laufen chemische Reaktionen ab und es kommt zu Veränderungen der Substanzen. Diese Vorgänge werden **Transmissionen** genannt. Emissionen und Transmissionen, die zu Belastungen, Gefahren oder erheblichen Nachteilen für die Allgemeinheit und die Umwelt führen, werden **Immissionen** genannt.⁴⁴

³⁹ vgl. Gruden, 2008, S.11

⁴⁰ vgl. ebenda, S.28

⁴¹ vgl. Lenz, Prüller, 2003, S.6f

⁴² vgl. ebenda, S.26

⁴³ vgl. ebenda, S.35

⁴⁴ vgl. Gruden, 2008, S.28

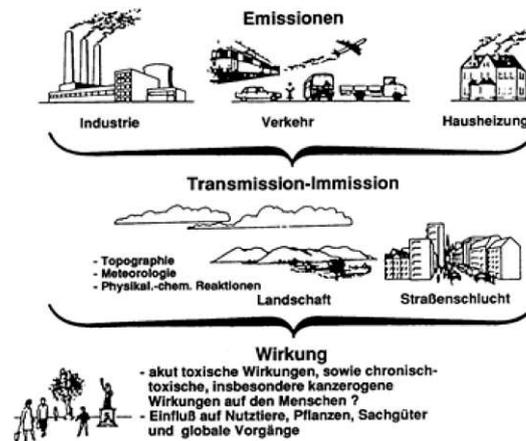


Abbildung 6: Emissionen, Transmissionen, Immissionen⁴⁵

Emissionen werden nicht nur in natürliche und anthropogene Emissionen unterteilt, sondern auch in direkte und indirekte. **Direkte Emissionen** sind jene Substanzen, für die die betrachtete Quelle selbst verantwortlich ist. Betrachtet man beispielsweise die Treibhausgasemissionen eines Fahrzeuges, dann sind die direkten Emissionen nur jene, die vom Fahrzeugtyp, der Ladung, der Entfernung und dem Kraftstoffverbrauch abhängig sind. Die **indirekten Emissionen** hingegen beziehen sich auf die verursachten Emissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse. Dazu gehört etwa der Energieverbrauch bei der Produktion des Fahrzeuges, der Straßen und deren Instandhaltung.⁴⁶ Um leichter zwischen den unterschiedlichen Emissionen unterscheiden zu können und um einheitlichere Unternehmensklimabilanzen zu erstellen, wurden klare Systemgrenzen festgelegt. Anhand sogenannter Scopes werden die Ausstöße der direkt und indirekt verursachten Emissionen in drei Kategorien unterteilt.

Scope 1 beinhaltet alle direkten Emissionen, die als Folge von Tätigkeiten des Unternehmens entstehen.

Scope 2 umfasst alle indirekten Emissionen, die bei der Herstellung von zugekaufter Elektrizität, Wärme, Kühlung und Dampf entstehen.

Scope 3 beinhaltet alle indirekten Emissionen von ausgelagerten Tätigkeiten, wie die Gewinnung und Produktion von Materialien und Treibstoffen, strombezogene Aktivitäten, die nicht zum Typ Scope 2 gehören, sowie transportbezogene Aktivitäten, die nicht dem eigenen Unternehmen zugeordnet werden.⁴⁷

⁴⁵ Abbildung entnommen aus: Gruden, 2008, S.28

⁴⁶ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.17

⁴⁷ vgl. Bhatia, Ranganathan, WBCSD, 2004, S.25ff

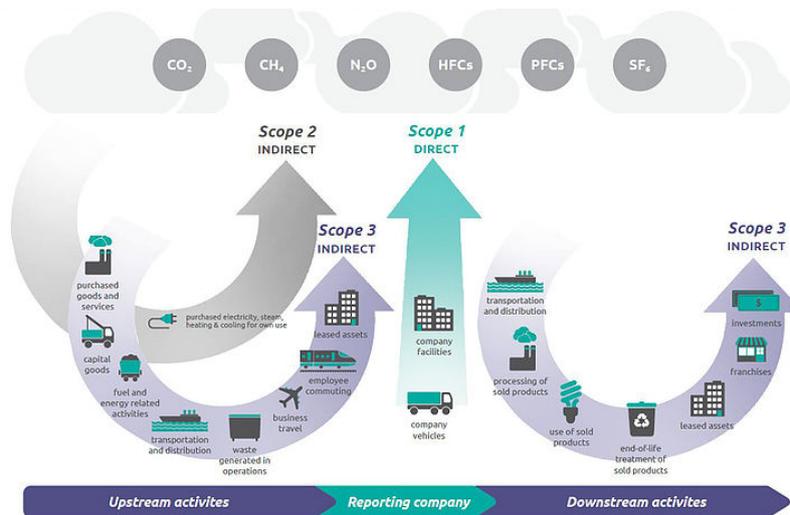


Abbildung 7: Einteilung der Scopes⁴⁸

Wenn Medien, Politik und Umweltschutzorganisationen vor den Auswirkungen der globalen Erderwärmung warnen, dann ist auch immer die Rede vom Treibhauseffekt.⁴⁹ Dieser natürliche und notwendige Prozess beruht darauf, dass die Atmosphäre für die von der Sonne ankommende kurzwellige Strahlung weitestgehend transparent ist und für die von der Erde reflektierte langwellige Infrarotstrahlung wenig transparent ist. Die Atmosphärenzusammensetzung ist hauptsächlich von der Menge der emittierten Treibhausgasemissionen abhängig. Daher gilt: Je mehr Treibhausgase emittiert werden, desto dichter wird die Atmosphärenschicht und desto mehr infrarote Strahlen werden reflektiert, wodurch letztendlich mehr Wärme auf der Erde gespeichert wird. In der folgenden Abbildung wird der Treibhauseffekt grafisch dargestellt.

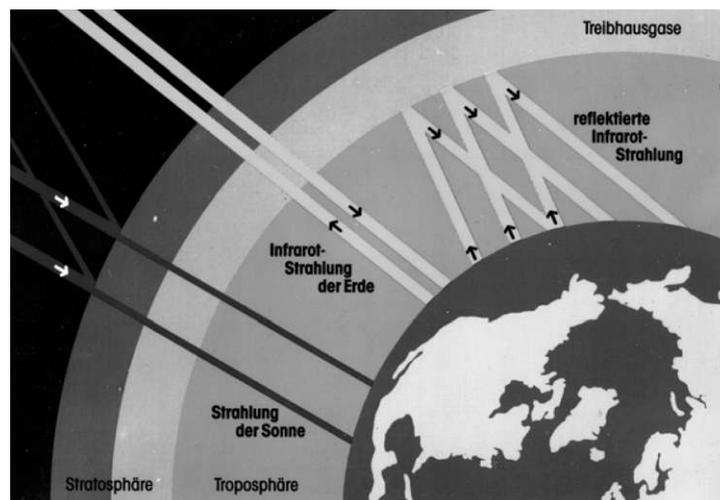


Abbildung 8: Grafische Darstellung des Treibhauseffektes⁵⁰

⁴⁸ Abbildung entnommen aus: <http://www.cebyc.no/#!/energinet-treibhausgase-und-kl/c1ag5> (gelesen am: 11.11.2016)

⁴⁹ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.14

⁵⁰ Abbildung entnommen aus: Gruden, 2008, S.20

Im Grunde beeinflusst der Mensch die Natur seit er mit Axt und Feuer begonnen hat, in die empfindliche ökologische Balance einzugreifen. Allerdings kommt es auf die Menge der Eingriffe an, bis sich diese als Gift für die Umwelt herausstellen. Deshalb zeichnen sich die ersten wesentlichen und spürbaren Auswirkungen erst seit der Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert ab. Eine Mischung aus zunehmendem Bevölkerungswachstum, Rückgang natürlicher Ressourcen und steigendem Weltenergieverbrauch beschleunigt den einmal ins Rollen gebrachten Stein der ökologischen Katastrophe. Ansprüche der menschlichen Gesellschaft an Lebensqualität, Nahrung und Wirtschaft sind nur Beispiele, die untrennbar mit dem Begriff **Energieverbrauch** verbunden sind.⁵¹ Mit Energie lassen sich auf unserem Planeten die verschiedensten Dinge bewirken: beispielsweise mechanische Arbeiten verrichten, Wärme, Kälte und Licht erzeugen oder auch Informationen verarbeiten und versenden. Auch in der Logistik ist Energie eine entscheidende Größe. Denn ohne Einsatz von Energie funktionieren keine logistischen Prozesse. Der Verbrauch von Energie kann physikalisch auch als Umwandlung von gespeicherter Energie in andere Energieformen formuliert werden.⁵² Energie tritt in drei Grundformen auf: Primär-, Sekundär- und Tertiärenergie, wobei Energieverbrauch der umgangssprachliche Ausdruck für Sekundär- und Tertiärenergie ist.⁵³ Ein **Energieträger** ist eine Substanz oder ein Phänomen, das sich zur Durchführung chemischer und physikalischer Prozesse oder zur Erzeugung von mechanischer Arbeit und Wärme nutzen lässt.⁵⁴

Primärenergieträger sind Rohstoffe, die direkt in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden. Diese Rohstoffe können entweder fossile Brennstoffe, erneuerbare Energien oder Kernenergien sein.⁵⁵ Nach der Gewinnung, Aufbereitung und Umwandlung der Primärenergie erhält man **Sekundärenergieträger**, auch Endenergie genannt. Sekundärenergieträger werden vom Verbraucher in Form von aufbereiteten Erdgas- und Mineralölprodukten sowie als Kraftstoffe (Benzin, Diesel), Heizöl, elektrischer Strom und Fernwärme genutzt. Wird diese Energieform beispielsweise für mechanische Arbeit, als Wärme-, Kühlungs- oder Beleuchtungsquelle genutzt, wird sie als **Tertiärenergie**, oder auch Nutzenergie, bezeichnet.⁵⁶ Industrielle Produktionen, Kraftwerke und Transportmitteleinsätze verbrauchen Unmengen an fossilen Energieträgern (Kohle, Erdgas und Erdöl), was hohe Mengen an Treibhausgasemissionen zur Folge hat.

Die Erkenntnis, dass der Treibhausgasgehalt in der Atmosphäre fest mit dem Bevölkerungs- und Wohlstandswachstum verbunden ist, zeigt, dass der durch

⁵¹ vgl. Gruden, 2008, S.2

⁵² vgl. Kranke, Schmied, Schön, 2011, S.117f

⁵³ vgl. Statistisches Bundesamt, 2016a, S.4

⁵⁴ vgl. DIN, 2012, S.7

⁵⁵ vgl. VDI, 2014, S.11

⁵⁶ vgl. Statistisches Bundesamt, 2016a, S.4

anthropogene Treibhausgasemissionen erzeugte Klimawandel nicht nur ökologische Auswirkungen zur Folge hat, sondern auch zu dramatischen sozialen und ökonomischen Konsequenzen führt.⁵⁷ Eine Möglichkeit, diese drei Aspekte im Sinn der nachhaltigen Entwicklung ausgeglichen zu betrachten, ist das **Drei-Säulen-Prinzip der nachhaltigen Entwicklung** (auch bekannt als „Drei-Säulen-Konzept der nachhaltigen Entwicklung“, „Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung“ oder in Englisch „The Triple Bottom Line“). Die Methodik dieses Prinzips hat das Ziel, den Gedanken eines nachhaltigen Umgangs mit der Umwelt mit den Strategien der Unternehmenswelt zu vereinen.⁵⁸ 1992 fand das erste Gipfeltreffen der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung (engl.: United Nations Conference on Environment and Development, kurz: UNCED) in Rio de Janeiro statt. Spätestens ab diesem Zeitpunkt hat sich der Begriff Nachhaltigkeit vollends als normatives internationales Leitprinzip in der Politik etabliert.⁵⁹ Wenig später wurde im Jahr 1995 von der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, die vom deutschen Bundestag eingerichtet wurde, befunden, dass der einzige Weg um die ökologische, ökonomische und soziale Leistungsfähigkeit der Erdbevölkerung sicherzustellen und zu verbessern, die Einrichtung und Verbreitung des Drei-Säulen-Prinzips ist.⁶⁰ Die Zeiten, in denen der Kostenminimierung und der Gewinnmaximierung alles untergeordnet wurde, sind also vorbei. Heute spielen Faktoren wie Umweltfreundlichkeit, Gesundheit und Sicherheit der Gesellschaft ebenfalls eine Rolle.⁶¹ Ziel dieser neuen Ausrichtung ist es einerseits positive Auswirkungen für die Umwelt und Gesellschaft zu bewirken und andererseits langfristig Marktvorteile und wirtschaftliche Vorteile für nachhaltig arbeitende Unternehmen zu erzeugen.⁶² Der Wandel in Richtung Nachhaltigkeit ist somit in die Wege geleitet. Nun sind Unternehmen gefordert, zu reagieren und geeignete Maßnahmen für diese neuen Anforderungen zu treffen.⁶³

⁵⁷ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.14

⁵⁸ vgl. Giddings, Hopwood, O'Brien, 2002, S.187

⁵⁹ vgl. Umweltbundesamt, 2013, S.273

⁶⁰ vgl. Herkommer, Bartol, 2004, S.1f

⁶¹ vgl. Devika, Jafarian, Nourbakhsh, 2014, S.594

⁶² vgl. Glavas, Mish, 2015, S.626

⁶³ vgl. Elkington, 1997, S.44

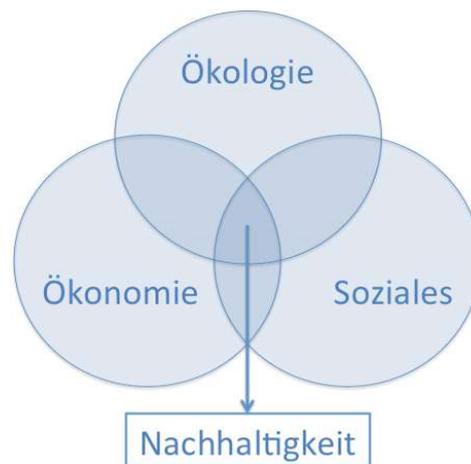


Abbildung 9: Drei-Säulen-Prinzip der nachhaltigen Entwicklung⁶⁴

Ökologische Nachhaltigkeit bezieht sich auf den ökologischen „Fußabdruck“⁶⁵, den wirtschaftliche Unternehmen und Organisationen auf diesem Planeten hinterlassen.⁶⁶ Eine Lebensweise ist dann ökologisch nachhaltig, wenn die natürlichen Ressourcen nur in dem Maße beansprucht werden wie sie sich auch regenerieren können. Da fossile Energieträger begrenzte Ressourcen sind und in diesem Sinne sich nicht regenerieren können, kann deren Einsatz und Verbrauch im Grunde gar nicht nachhaltig ausgeführt werden. Die Mittel und Methoden der ökologischen Nachhaltigkeit zielen vor allem auf die Reduktion von Emissionen, Abfall, Verschmutzung sowie auf die Optimierung von Energieeffizienz, Recycling-Quoten und Flächenverbrauch ab.⁶⁷ **Ökonomische Nachhaltigkeit** ist die älteste und erprobteste Säule des Drei-Säulen-Prinzips. Sie ist dann gegeben, wenn eine Wirtschaft dauerhaft betrieben werden kann. Dies wird in der Regel dann erreicht, wenn es gelingt, den Profit, die Rentabilität und das Unternehmensvermögen zu optimieren.⁶⁸ Wirtschaftlicher Wachstum und Erfolg bringen naturgemäß auf der einen Seite viele Vorteile für die Gesellschaft, aber auf der anderen Seite, was oftmals vergessen wird, auch ökologische und soziale Nachteile. Diese Zusammenhänge müssen daher besonders kritisch betrachtet werden. Fakt ist, dass Unternehmen Konzepte der Nachhaltigkeit nur dann umsetzen werden, wenn sie längerfristig davon profitieren. Wobei anzumerken ist, dass in diesem Fall finanzieller Erfolg nicht der einzige Messwert für eine profitable Strategie ist.⁶⁹ **Soziale Nachhaltigkeit** bedeutet, so zu agieren, dass dauerhaftes Wohlbefinden der Gesellschaft gewährleistet werden kann. Besonders wichtige Aspekte dabei sind die

⁶⁴ vgl. Elkington, 1997, S.73

⁶⁵ Unter dem Begriff „Fußabdruck“ versteht man jene Auswirkungen auf die Umwelt, die durch das Aufrechterhalten des gewohnten Lebensstandards der Menschen verursacht werden. Dazu gehören vorwiegend Emissionen, Verschmutzung von Wasser, Luft und Erdoberfläche, Abfallproduktion sowie Ressourcen- und Energieverbrauch.

⁶⁶ vgl. Baumgartner, Ebner, 2010, S.79

⁶⁷ vgl. Gimenez, Sierra, Rodon, 2012, S.150

⁶⁸ vgl. Baumgartner, Ebner, 2010, S.78

⁶⁹ vgl. Kannegiesser, Günther, Autentrieb, 2015, S.1

Einhaltung der Menschenrechte, der Gesundheits- und Sicherheitsstandards, sowie die Vermeidung von Arbeitslosigkeit, Armut, Diskriminierung und Rassismus.⁷⁰

Das von John Elkington ausgearbeitete Drei-Säulen-Prinzip der nachhaltigen Entwicklung ist eine neue Herangehensweise für Unternehmen, Organisationen und politische Entscheidungsträger, Nachhaltigkeit gesamtheitlich zu messen und zu bewerten. Auch wenn das reine Messen noch keine Garantie zur Verbesserung ist, ist es eine unabkömmliche Grundlage und Erkenntnishilfe um richtige Maßnahmen zur Optimierung zu treffen.⁷¹

Technischer Fortschritt, politische Entscheidungen, Bevölkerungswachstum, neue Märkte und moderne Technologien gelten als die entscheidenden Auslöser für **Globalisierung**. Der Begriff steht für weltweite Vernetzung zwischen Staaten, Gesellschaften, Organisationen und Individuen. Globalisierung kann auf unterschiedlichen Ebenen, wie zum Beispiel Kultur, Politik, Wirtschaft oder Umwelt, betrieben werden.⁷² Unabhängig ob für Land-, Luft- oder Wassertransporte, Globalisierung ist der Hauptantrieb im Gütertransportwesen. Den größten Anteil der Gütertransporte machen die Wassertransporte aus, zu denen sowohl See- als auch Binnenschifffahrten gehören. Vor allem durch das hohe Frachtvolumen pro Transport bedingt, werden heute über 80 Prozent der transportierten Güter mittels Wassertransporte geliefert. In den letzten Jahrzehnten hat der Handel zwischen einzelnen Ländern zunehmend der Produktion im eigenen Land den Rang abgelaufen. Von 1990 bis 2010 hat sich das Verhältnis von importierten Gütern zu im Inland produzierten Gütern verdoppelt.⁷³

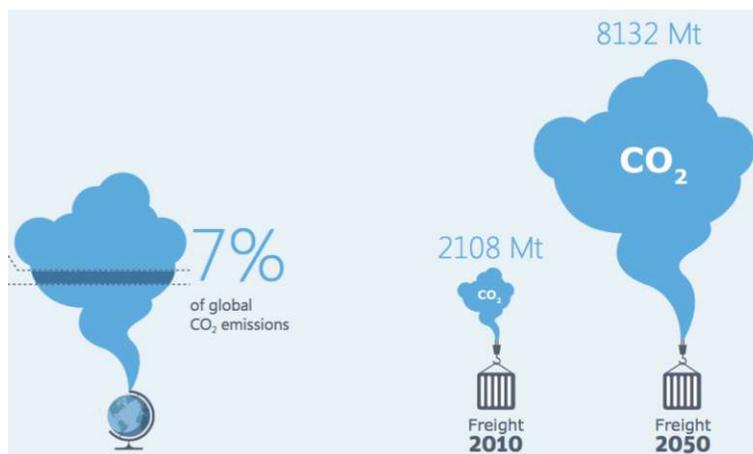


Abbildung 10: Treibhausgasemissionen bedingt durch Frachttransport⁷⁴

⁷⁰ vgl. Gimenez, Sierra, Rodon, 2012, S.150

⁷¹ vgl. Slaper, Hall, 2011, S.8

⁷² vgl. Jung, Juchler, 2002, S.5ff

⁷³ vgl. OECD, ITF, 2015b, S.21f

⁷⁴ Abbildung entnommen aus: OECD, ITF, 2015a, S.3

Laut einer Studie des Internationalen Transport Forums (ITF) hat das zur Folge, dass der Frachtverkehr für mehr als sieben Prozent der weltweiten anthropogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist. Weiters warnt diese Studie davor, dass sich aus heutiger Sicht die Kohlendioxidemissionen im Frachttransportsektor von 2010 bis 2050 fast vervierfachen werden.⁷⁵

Der Wettbewerb am Absatzmarkt, die Weiterentwicklung der Konsumgesellschaft und die ständig steigenden Lebensstandards führen einerseits dazu, dass Transporte und Liefersysteme immer komplexer werden und dass es immer schwieriger wird, umweltfreundliche Methoden zu etablieren. Aber andererseits entsteht auch ein spürbarer Trend, bei Kunden und in der Gesellschaft im Allgemeinen, Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein vermehrt zu fördern. Nun liegt es an der Wirtschaft und Politik, diesen Kundenwunsch aufzugreifen und nachhaltige Konzepte zu entwickeln.⁷⁶

4.2 Umweltmanagement im Transportwesen

Unter dem Paradigma „grün“ (engl.: green) versteht man unternehmerische Prinzipien und Denkweisen, die die Reduktion von negativen ökologischen Auswirkungen und die Verbesserung von umweltbezogener Effizienz entlang der gesamten Lebenskette eines Produkts oder Dienstleistung zum Ziel haben und dabei trotzdem wirtschaftliche Ziele nicht außer Acht lassen. Grün steht für **Umweltmanagement** (engl.: Environmental Management) und folgt der grundlegenden Strategie, bei allen Entscheidungen die Faktoren Umwelt und Nachhaltigkeit zu berücksichtigen und dementsprechend zu handeln. Hierzu gehören vor allem aus der Logistik stammende Bereiche, wie Supply Chain Management, Abfallmanagement, Energieverbrauchsmanagement, Ressourcenmanagement sowie Produktentwicklung und Konstruktion. Aufgrund der gegebenen Parallelen zwischen **grünem Management** und schlankem Management (engl.: Lean Management) war es naheliegend, diese beiden Strategien im Detail zu untersuchen sowie Synergien und Verbesserungspotentiale aufzuzeigen.⁷⁷ **Lean Management (LM)** beschreibt ein Organisations- und Führungsprinzip, das nach Vermeidung jeglicher Verschwendung und nach unternehmensweiter Verbesserung der Effektivität und Effizienz strebt. Ursprünglich stammen die Methoden des LM von dem japanischen Automobilhersteller Toyota, der es geschafft hat, seit Mitte des 20. Jahrhunderts stabile Prozessorganisationen einzustellen und eine bestellungsorientierte Produktion, angepasst an den Bedarf der Kunden, zu organisieren. In Summe lässt sich LM durch „Konzentration auf das Wesentliche“ zusammenfassen.⁷⁸ Das erklärte

⁷⁵ vgl. OECD, ITF, 2015a, S.3

⁷⁶ vgl. Jayaram, Avittathur, 2015, S.234

⁷⁷ vgl. Fercoq, Lamouri, Carbone, 2016, S.568

⁷⁸ vgl. Ebel, 2009, S.49f

Ziel ist, durch Integration möglichst schlanker Systeme die Wettbewerbsfähigkeit, also Qualität, Preis und Verfügbarkeit des Unternehmens bestmöglich zu optimieren.⁷⁹

Die markantesten Zusammenhänge zwischen schlanken und grünen Managementmethoden wurden im Bereich der Verschwendung entdeckt.⁸⁰ Als Verschwendung werden alle nicht wertschöpfenden Aktivitäten bezeichnet. Dabei kann zwischen offenen Verschwendungsarten (Überproduktion, hohe Bestände, Wartezeiten, Arbeitsfehler) und verdeckten Verschwendungsarten (unnötige Prozesse der Menschen, der Bewegung oder beim Transport) unterschieden werden.⁸¹ Angelehnt an die sieben Arten der Verschwendung des LM, wird im Umweltmanagement die ökologische Misswirtschaft in acht Kategorien der grünen Verschwendung unterteilt:

- Treibhausgasemissionen
- Exzessiver Ressourceneinsatz
- Exzessiver Energieeinsatz
- Exzessiver Wasserverbrauch
- Luftverschmutzung
- Eutrophisierung
- Abfallproduktion
- Sicherheits- und Gesundheitsmängel

Hierbei wird den Treibhausgasemissionen, die den Klimawandel zur Folge haben und dem exzessiven Ressourceneinsatz, aufgrund der grundsätzlichen Ressourcenknappheit, besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Letztendlich hat die Analyse der Zusammenhänge zwischen dem mittlerweile standardisierten LM und dem modernen Umweltmanagement ergeben, dass Unternehmen, die Strategien des LM implementiert haben, Vorteile bei der Integration von grünen Methoden haben und wechselseitige Synergien gefördert werden. LM ist also generell ein guter Boden für grüne Prinzipien und führt großteils zur Maximierung von Qualität und Performance. Allerdings gibt es auch Fachbereiche wo es zu Widersprüchen zwischen den beiden Philosophien kommt, der signifikanteste ist das **Lieferantenmanagement**, oder auch **Supply Chain Management (SCM)** genannt.⁸² Das Lieferantenmanagement ist eine Teildisziplin der Logistik. **Logistik** umfasst alle Tätigkeiten, die sich mit der Steuerung von Transporten, dem Umschlagen von Gütern und Personen sowie der Lagerung beschäftigt. Seit Ende des 20. Jahrhunderts, ausgelöst durch stark wachsende

⁷⁹ vgl. Brunner, 2008, S.58

⁸⁰ vgl. Fercoq, Lamouri, Carbone, 2016, S.568

⁸¹ vgl. Ebel, 2009, S.50

⁸² vgl. Fercoq, Lamouri, Carbone, 2016, S.568

Globalisierung, wird Logistik immer bedeutender.⁸³ Wird die Schonung der Umwelt in logistische Entscheidungen miteinbezogen, dann handelt es sich um die so genannte Grüne Logistik. Das Ziel dieser besonderen Logistikart ist ein Gleichgewicht zwischen den drei Säulen der Nachhaltigkeit, also Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, zu schaffen. Grüne Logistik ist die ganzheitliche Transformation von Logistiksystemen, -strategien, -strukturen und -prozessen zur Schaffung umweltgerechter und ressourcenschonender Logistik.⁸⁴

Ursprünglich war **Supply Chain Management** eine Teildisziplin der Logistik, aber mittlerweile ist es zu einem eigenständigen prozessorientierten Managementansatz herangewachsen. Pragmatisch ausgedrückt ist eine Supply Chain eine Vernetzung verschiedener Organisationen und Unternehmen, die zusammenarbeiten und das Ziel verfolgen, ein Produkt so effizient wie möglich herzustellen und zum Endkunden zu befördern. Im deutschsprachigen Raum werden auch die Begriffe „Logistikkette“ und „Lieferkette“ verwendet. Das Management einer Logistikkette, also SCM, gestaltet und organisiert die gesamte Wertschöpfungskette von Produkten (bzw. eines Produktes), um die Informations-, Finanz- und Materialflüsse zwischen den an der Wertschöpfungskette beteiligten Lieferanten, herstellenden Unternehmen, Zwischenhändlern und Kunden zu steuern, zu organisieren, zu disponieren, zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern.⁸⁵ Als **Grünes Supply Chain Management (GSCM)** wird jenes SCM bezeichnet, das auch ökologische Aspekte in Entscheidungen einbezieht und das ein Verantwortungsbewusstsein für Umwelt- und Ressourcenschutz entlang der Logistikkette, angefangen bei der Produktentwicklung, Materialauswahl, Materialbeschaffung und Produktion über den Kundentransport bis hin zum End-of-Life Management, entwickelt.⁸⁶ End-of-Life steht für die Phasen und Schritte im Lebenszyklus eines Produktes, die nach der Nutzung durch den Kunden anfallen. Dazu gehören vor allem das Recycling und das Entsorgen von Rückständen am Ende der Nutzungsdauer.⁸⁷ Während GSCM vor allem die Transportfrequenz möglichst niedrig halten und die Transportauslastung möglichst maximieren möchte, entspricht dies nicht den herkömmlichen Vorgehensweisen von LM und SCM. Ein grundlegender Unterschied zwischen SCM und GSCM liegt also in der Frequenz und Auslastung.⁸⁸ Einerseits kann es interne Auslöser für grüne Managementsysteme geben, zum Beispiel organisatorische und ethische Gründe und andererseits kann es externe Faktoren geben, die nachhaltige Strategien ankurbeln. Zu den externen Faktoren gehören etwa Kundenwünsche, Wettbewerb, gesellschaftliche Ideologien und Lieferantenbedingungen. Für die Investition in Umweltmanagement und die Implementierung eines grünen Optimierungsplans

⁸³ vgl. Kuhlant, u.a., 2010, S.6

⁸⁴ vgl. Straube, Cetinkaya, 2008, S.62

⁸⁵ vgl. Kuhlant, u.a., 2010, S.162

⁸⁶ vgl. Malviya, Kant, 2016, S.387f

⁸⁷ vgl. Durakbasa, 2008, S.10ff

⁸⁸ vgl. Fercoq, Lamouri, Carbone, 2016, S.568

können drei Vorteile hervorgehoben werden: Ressourceneinsparung, Abfallreduktion und Produktivitätssteigerung. Diese Vorteile haben nicht nur einen ökologisch nachhaltigen Nutzen, sondern führen darüber hinaus zu wirtschaftlichen und sozialen Verbesserungen.⁸⁹ Die Realisierung von GSCM-Strategien ist ein langwieriger Prozess, dessen Potential erst nach einer gewissen Zeit voll ausgeschöpft werden kann. Umso wichtiger ist es, im Vorfeld einen genau strukturierten Implementierungsplan zu erstellen, der eine Vorschau auf die möglichen positiven und negativen Entwicklungen gibt sowie einen Überblick mit welcher Wahrscheinlichkeit diese zu erwarten sind.⁹⁰ Wissenschaftliche Untersuchungen zeigten, dass folgende vier Phasen für die Implementierung von GSCM in Organisationen besonders geeignet sind:

- Analysephase (Kostenanalyse und Erfolgsaussichten)
- Bewertungsphase (Ergebnisse berechnen und bewerten)
- Entscheidungsphase (Entscheidungen treffen)
- Umsetzungsphase (Realisierung und Verlaufskontrolle)

Unterstützende Faktoren, die dabei helfen sicherzustellen, dass GSCM erfolgreich implementiert wird, werden **Green Supply Chain Management Enablers (GSCMEs)** genannt. Beispielsweise ist das Commitment und die Unterstützung der Managementebene ein wesentlicher Faktor, der zwischen Erfolg und Misserfolg entscheiden kann. Weitere kritische Einflussgrößen sind die Zusammenarbeit mit den Lieferanten bezüglich grünem Produktdesign und kontinuierlich abgehaltene Seminare zur Sensibilisierung der Mitarbeiter. Ebenso bedeutsam ist es, den Lieferanten anzuregen, selbst umweltfreundlich zu arbeiten und ein entsprechendes Unternehmensprogramm zu etablieren und diesen in der Folge bei der Umsetzung zu unterstützen.⁹¹ Weitere Beispiele der wichtigsten GSCMEs können der folgenden Tabelle 1 entnommen werden.

Green Supply Chain Management Enablers	
Englisch:	Deutsch:
Green organizational culture	Grüne Organisationskultur
Environmental policy	Ökologische Richtlinien
Ethical standards and social responsibility	Ethikkodex und soziale Verantwortung
Willingness towards investment	Bereitschaft für Investitionen
Performance measurement system	Leistungsmesssysteme
Skilled professionals	Anstellung von Experten
Employee involvement	Involvierung der Mitarbeiter
Supplier adoptability	Anpassungsfähigkeit der Lieferanten
Supplier commitment	Engagement des Lieferanten

Tabelle 1: Auswahl von Green Supply Chain Management Enablers⁹²

⁸⁹ vgl. Malviya, Kant, 2016, S.389ff

⁹⁰ vgl. Malviya, Kant, 2016, S.407

⁹¹ vgl. ebenda, S.387ff

⁹² vgl. Malviya, Kant, 2016, S.389

4.3 Umweltpolitik im Transportwesen

Im Jahr 1997 beschloss die internationale Staatengemeinschaft im Zuge einer in Kyoto abgehaltenen Klimarahmenkonvention ein globales Klimaschutzabkommen, welches in der Folge als **Kyoto-Protokoll** betitelt wird.⁹³ Dieses internationale Übereinkommen ist der erste völkerrechtliche Vertrag, der die internationale Staatengemeinschaft dazu verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen zu begrenzen. 197 Vertragsparteien, also nahezu alle Staaten der Welt, inklusive der Europäischen Union (EU), haben die Klimarahmenkonvention ratifiziert und somit eine völkerrechtliche Basis für weltweiten Klimaschutz geschaffen. Die Eindämmung der anthropogenen Treibhausgasemissionen hat sich seither zu einer der größten Herausforderungen der Umweltpolitik des 21. Jahrhunderts entwickelt. In Hinblick auf die gigantischen wirtschaftlichen Konsequenzen der vereinbarten politischen Ziele des Kyoto-Protokolls hat die Europäische Kommission ein EU-weit geltendes europäisches Klimaschutzprogramm (engl.: The European Climate Change Programm, kurz: ECCP) initiiert und leitet dies folglich auch. Dadurch soll sichergestellt werden, dass der sehr ehrgeizige Plan zur Verringerung der Treibhausgasemissionen eingehalten werden kann.⁹⁴ Das erklärte Ziel ist, mittels Anpassung von menschlichen Systemen eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen und die durchschnittliche globale Erderwärmung auf zwei Grad Celsius zu beschränken.

Die Verlaufskurve der Abbildung 11 zeigt einerseits die Entwicklung der globalen Erdoberflächentemperatur, der CO₂e- und der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und andererseits den Verlauf der nach Kyoto definierten, Treibhausgas- und CO₂-Emissionen von 1850 bis 2300.

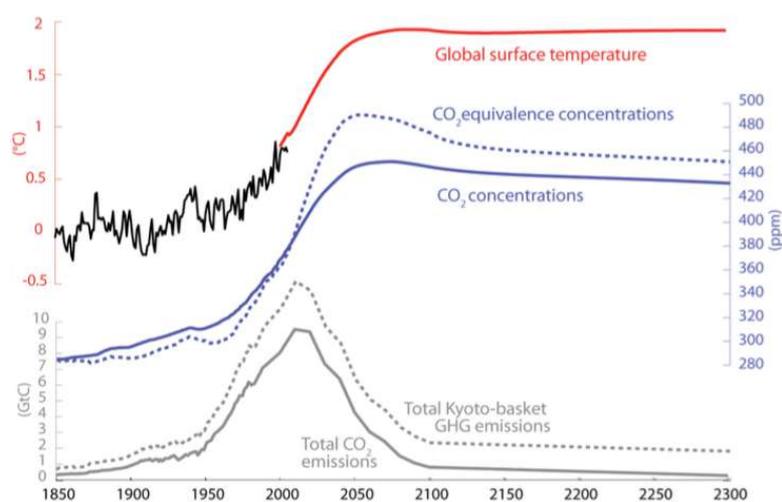


Abbildung 11: Entwicklung ausgewählter Kyoto-Parameter (1850 bis 2300)⁹⁵

⁹³ vgl. UNFCCC, 1998, S.1

⁹⁴ vgl. Gruden, 2008, S.350

⁹⁵ Abbildung entnommen aus: CCXG, 2008, S.30

Um das zwei Grad Celsius Ziel mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit langfristig zu erreichen, ist eine Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen um 50 Prozent, im Vergleich zu 1990, bis 2050 notwendig. Um ein erfolgreiches Vorhaben zu gewährleisten, wurde ein Fahrplan erstellt, der in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Ziele gegliedert werden kann. Zusätzlich wird zwischen den Vorgaben für Industrie- und Entwicklungsländer differenziert.

Die **erste Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls**, das kurzfristige Ziel, umfasst die Jahre 2008 bis 2012 und schreibt vor, die Treibhausgasemissionen der Industriestaaten insgesamt um mindestens fünf Prozent gegenüber den Treibhausgasemissionen des Jahres 1990 zu reduzieren.⁹⁶ Innerhalb der EU wurde ein eigenes internes Gesamtziel und Lasteneinteilungsverfahren, die sogenannten EU Klima- und Energiepakete, erstellt. Nach den Vorgaben der EU müssen die Emissionen im Zeitraum 2008 bis 2012 sogar um acht Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 gesenkt werden.⁹⁷ EU-intern variieren die einzelnen Reduktionsziele zusätzlich je nach Land, für Österreich gilt zum Beispiel die Vorgabe, die Emissionen um 13 Prozent zu verringern.⁹⁸ Ein nicht unumstrittener Aspekt des Kyoto-Protokolls ist die Möglichkeit der Emissionsreduktion durch Emissionshandel. Länder, die nicht in der Lage sind ihre Reduktionsziele einzuhalten, können von Ländern, die ihre Verpflichtungen erfüllen, so genannte Emissionszertifikate erwerben. Beispielsweise durch unterstützende Projekte in Entwicklungsländern, die selbst keine Vorgaben zur Reduktion haben, können Emissionszertifikate angekauft werden.⁹⁹ In der Regel wird der überwiegende Anteil der vorgegebenen Reduktionsziele im Emissionshandelssektor erreicht. Auch Österreich hat nur so die Ziele der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls erfüllen können. Die Zielvorgaben werden also einerseits durch emissionsmindernde Maßnahmen im Inland und andererseits durch Investitionen in Maßnahmen im Ausland und somit durch den Zukauf von Emissionszertifikaten erreicht.¹⁰⁰

Die erste Kyoto-Verpflichtungsperiode ging mit dem Jahr 2012 zu Ende. Die **zweite Kyoto-Verpflichtungsperiode** wurde 2012 in Doha beschlossen und läuft von 2013 bis 2020. Diese Periode kann als mittelfristiges Ziel angesehen werden. Für diesen Zeitraum verpflichten sich die teilnehmenden Länder zur Reduktion der globalen Emissionen um 15 Prozent im Vergleich zum Stand von 1990. Für die Mitgliedsstaaten der EU macht das eine durchschnittliche Emissionsreduktion von 20

⁹⁶ vgl. UNFCCC, 1998, S.I

⁹⁷ vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/kyoto-protokoll> (gelesen am: 11.11.2016)

⁹⁸ vgl. Umweltbundesamt, 2013, S.63

⁹⁹ vgl. <https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/100/Seite.1000320.html> (gelesen am: 11.11.2016)

¹⁰⁰ vgl. <https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/100/Seite.1000320.html> (gelesen am: 11.11.2016)

Prozent gegenüber 1990 aus.¹⁰¹ Zusätzlich wurde beschlossen ein weiteres, siebentes Treibhausgas, das Stickstofftrifluorid (NF₃), zu den ursprünglichen Richtlinien des Kyoto-Protokolls aufzunehmen.¹⁰² Außerdem hat man sich darauf geeinigt, bis spätestens 2015 ein neues globales Klimaabkommen auszuarbeiten, das 2020 in Kraft treten soll.¹⁰³

Auf Grundlage dieser Einigung wurde Ende 2015 in Paris ein neues internationales Klimaschutzabkommen der Staatengemeinschaft beschlossen und somit ein wiederholtes deutliches Zeichen gegen den Klimawandel und seine Folgen gesetzt. Dieses Abkommen schließt an den Gedanken an, dass nur ein langfristiger Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe die Erde vor einem Klimakollaps bewahren kann.¹⁰⁴ Im Gegensatz zum Kyoto-Protokoll und deren ersten beiden Verpflichtungsperioden umfasst dieses neue Abkommen nicht nur Industrie-, sondern auch Schwellen- und Entwicklungsländer.¹⁰⁵ In Zukunft sollen also auch aufstrebende Schwellenländer, wie Brasilien, China, Indien, Korea, Mexiko und Südafrika, stärker in die Pflicht genommen werden. Ein definiertes Ziel ist es, auch jene Industriestaaten, die nicht oder nicht mehr am Kyoto-Protokoll teilnehmen, zum Beispiel USA und Kanada, in den globalen Klimaschutz einzubinden.¹⁰⁶

Die **dritte Kyoto-Verpflichtungsperiode** beschreibt das langfristige Ziel, mittels Anpassung von menschlichen Systemen eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen und die durchschnittliche globale Erderwärmung auf zwei Grad Celsius zu beschränken. Zwar muss selbst bei Einhaltung des zwei Grad Celsius-Ziels mit irreversiblen Auswirkungen gerechnet werden, aber gemäß aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen können nur so die negativen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Folgen in einem akzeptablen Bereich gehalten werden.¹⁰⁷ In der Abbildung 12 werden die kurz-, mittel- und langfristigen Ziele der Treibhausgasemissionen (engl.: Greenhouse Gas Emissions) einerseits global (in der Abbildung 12 als „World“ bezeichnet) und andererseits länderspezifisch, differenziert nach Entwicklungsländern (engl.: Developing Countries) und nach Industrieländern (engl.: Industrialised Countries), grafisch dargestellt. Auf der y-Achse der Grafik sind als Messgröße die Treibhausgasemissionen in Gigatonnen pro Jahr (engl.: Gigatons Greenhouse Gas Emissions) angegeben.

¹⁰¹ vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.31

¹⁰² vgl. BAFU, 2015, S.1

¹⁰³ vgl. Umweltbundesamt, 2013, S.63

¹⁰⁴ vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.5

¹⁰⁵ vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/> (gelesen am: 11.11.2016)

¹⁰⁶ vgl. <https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/100/Seite.1000320.html> (gelesen am: 11.11.2016)

¹⁰⁷ vgl. Umweltbundesamt, 2013, S.63

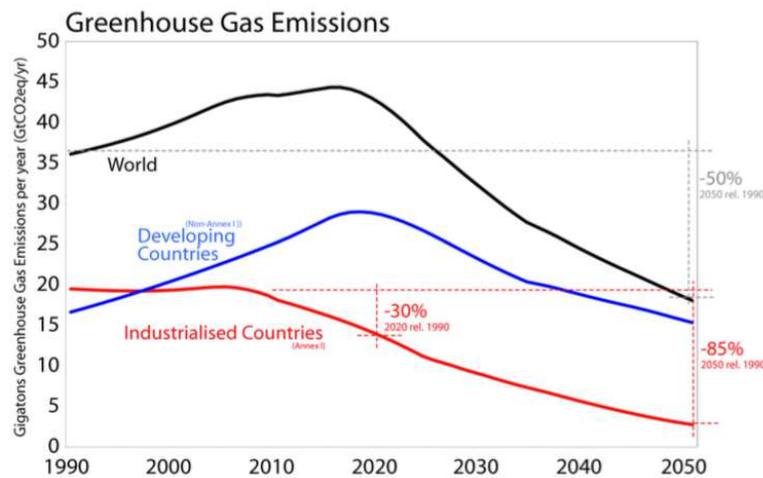


Abbildung 12: Darstellung der Kyoto-Verpflichtungsperioden (1990 bis 2050)¹⁰⁸

Für Industrieländer bedeutet das in Summe eine Reduktion der Emissionen um 30 Prozent bis 2020 und um 85 Prozent bis 2050 jeweils in Relation zu 1990. Für Entwicklungsländer ist zunächst eine Steigung von 30 Prozent bis 2020 vorgesehen, danach soll bis 2050 das Emissionslevel von 1990 wieder hergestellt werden.¹⁰⁹

Im Grunde wird zum Ziel gesetzt, dass auf den Einsatz von fossilen Energieträgern in der Zukunft weitestgehend verzichtet werden kann. Vor allem sollen Investitionen in langlebige fossile Infrastrukturen und Technologien vermieden und reduziert werden. Im Besonderen in langlebige Strukturen wie Gebäude und Kraftwerke, da diese in der Regel auf eine Nutzung von 30-50 Jahren ausgelegt sind und demnach schwerwiegende Auswirkungen auf das Erreichen der Klimaziele haben. Ein weiterer entscheidender Faktor ist, dass die in der Klima- und Energiestrategie festgelegten Ziele für 2030 und 2050 stets gesetzlich verankert werden. Darunter fällt unter anderem auch eine ökosoziale Steuerreform, die zum Ziel hat, den Verbrauch von Ressourcen und insbesondere den Einsatz fossiler Energie schrittweise zu verteuern. Das stufenweise Abschaffen von Förderungen, die sich negativ auf den Zustand der Umwelt auswirken, spielt ebenfalls eine tragende Rolle. Außerdem soll der Einsatz hocheffizienter Geräte, um den Stromverbrauch der Sektoren Haushalte, Dienstleistungen, Industrie und Landwirtschaft zu reduzieren, forciert werden. Ambitioniertes Weiterentwickeln der Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) soll dabei maßgeblich helfen.¹¹⁰

¹⁰⁸ Abbildung entnommen aus: CCXG, 2008, S.35

¹⁰⁹ vgl. ebenda, S.35

¹¹⁰ vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.10f

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



5 Treibhausgasemissionen ermitteln (Theorie)

5.1 Einleitung

„If you can't measure it, you can't manage it“¹¹¹

Diese Philosophie von Robert Kaplan und David Norton aus dem Jahr 1996 kann im Umweltmanagement grundsätzlich direkt übernommen werden: „Nur was man kennt, kann man auch beeinflussen“.¹¹² Um Klimaschutz wirkungsvoll und erfolgreich betreiben zu können, muss zuerst eine geeignete Messgröße, anhand der grüne und nachhaltige Maßnahmen bewertet werden können, festgelegt werden.¹¹³ Letztendlich hat es sich als sinnvoll herausgestellt, den **Energieverbrauch** und die **Treibhausgasemissionen** für die Bewertung umweltbedingter Aspekte heranzuziehen. Das anthropogene Treibhausgas mit den weitreichendsten Auswirkungen ist das Kohlendioxid (CO₂), daher wird es oftmals als synonym für Treibhausgase im Allgemeinen verwendet. Neben dem Kohlendioxid sind laut dem Kyoto Protokoll noch sechs weitere Treibhausgase für die Bilanzierung relevant: Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O)¹¹⁴, teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)¹¹⁵, Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃). Unterschiedliche Spurengase führen zu unterschiedlich starken Auswirkungen auf die Atmosphäre. Manche Gase heizen bei gleicher Menge die Atmosphäre um ein Vielfaches stärker auf als andere. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu bekommen, werden alle Treibhausgase auf eine gemeinsame Einheit umgeformt und anschließend wird die resultierende Gesamtmenge gebildet. Diese resultierende Gesamtmenge wird mit dem Begriff Kohlendioxid-Äquivalente (CO₂e) betitelt.¹¹⁶ In welcher Relation die Auswirkungen eines Treibhausgases zu denen von Kohlendioxid stehen, wird mit dem relativen **Treibhauspotential** (engl.: **Global Warming Potential** und kurz: **GWP**) angegeben.¹¹⁷ Da die Klimawirksamkeit von Kohlendioxid als Richtgröße definiert wurde, hat Kohlendioxid einen GWP-Faktor von Eins. Es gilt: Je größer der GWP-Faktor, desto stärker trägt das Gas zur Erderwärmung bei.¹¹⁸ Die Vorgehensweise ist, dass zunächst alle Treibhausgase einzeln berechnet werden und anschließend mittels GWP-Faktor die Summe der

¹¹¹ vgl. Kaplan, Norton, 1996, S.21

¹¹² vgl. ebenda, S.21

¹¹³ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.7

¹¹⁴ Distickstoffoxid ist auch unter dem Trivialnamen Lachgas bekannt.

¹¹⁵ Bei Fluorkohlenwasserstoffen (engl.: Hydrofluorocarbons, kurz: FKW, bzw. HFC) wird zwischen teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFKW) und vollständig halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen unterschieden. Sind FKWs vollständig fluoriert nennt man sie auch perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe.

¹¹⁶ vgl. ebenda, S.18

¹¹⁷ vgl. IPCC, 2013, S.711

¹¹⁸ vgl. Statistisches Bundesamt, 2016b, S.4

CO₂-Äquivalente aufgestellt wird.¹¹⁹ Folgende Tabelle 2 gibt die GWP-Faktoren der ausgewählten Treibhausgase an.

Treibhausgas	Chemische Formel	GWP-Faktor
Kohlendioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	25
Distickstoffoxid ¹²⁰	N ₂ O	298
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) ¹²¹		12-14.800
Stickstofftrifluorid	NF ₃	17.200
Schwefelhexafluorid ¹²²	SF ₆	22.800

Tabelle 2: Global Warming Potential Faktoren für ausgewählte Treibhausgase

Wenn also ein Kilogramm CH₄ emittiert wird, verursacht das eine CO₂-Äquivalente Emission von 25 Kilogramm – das entspricht ungefähr jener Menge, die bei der Verbrennung von acht Liter Diesel entsteht. Die Differenz zwischen CO₂- und CO₂e-Emissionen kann unterschiedlich groß ausfallen, ausschlaggebend ist dabei vor allem die Art des untersuchten Prozesses. Werden beispielsweise Lastkraftwagen (LKW)-Transporte betrachtet, dann ergibt sich, mit einer Differenz von circa ein bis zwei Prozent, nur ein sehr geringer Unterschied zwischen CO₂- und CO₂e-Emissionen. Hingegen kann bei der Herstellung von Strom die Differenz bis über 10 Prozent betragen. Neben der Angabe von Treibhausgasemissionen ist es durchaus zweckmäßig – und von der EN 16258 vorgeschrieben – den Energieverbrauch in einer vergleichbaren Einheit auszuweisen. In der Regel werden daher alle Energieverbräuche einheitlich in die Energieeinheit Megajoule umgerechnet und zusätzlich zu den CO₂e-Treibhausgasemissionen angegeben. Wenn einer dieser beiden Werte bekannt ist, kann mittels fester Umrechnungsfaktoren, bei vorhandenem Hintergrundwissen zum untersuchten Prozess, der zweite Wert direkt bestimmt werden.¹²³

Eine grundlegende Voraussetzung, um später erfolgreiche Maßnahmen zur Reduzierung zu setzen oder um gesetzte Maßnahmen auf deren Wirksamkeit zu überprüfen, ist, die betrieblichen Emissionen in Umfang und Ursprung zu bestimmen. Die berechneten Ergebnisse dienen als Grundlage und Erkenntnishilfe, um das tatsächliche Ausmaß der verursachten Emissionen und die Bereiche, die für den größten Anteil der Emissionen verantwortlich sind, festzustellen. Erst nachdem die Ursachen der Problemquellen erkannt sind, können in der Folge sinnvoll und gezielt Maßnahmen zur Reduzierung gesetzt werden. Entsprechende Reduzierungs- und Vermeidungsstrategien bringen zusätzlich zu den gewonnenen ökologischen Vorteilen auch direkte Kosteneinsparungen und einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz. Das Erstellen einer sogenannten Treibhausgasbilanz ist notwendig,

¹¹⁹ vgl. IPCC, 2013, S.711

¹²⁰ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.19

¹²¹ Abhängig von der chemischen Zusammensetzung wird für die FKWs ein individueller GWP-Faktor, dessen Werte zwischen 12 und 14.800 liegen, bestimmt.

¹²² vgl. BAFU, 2015, S.1

¹²³ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.18

um Initiativen zur Emissionsreduzierung zu entwickeln. Ein wichtiger Schritt bei der Realisierung dieser Optimierungsstrategien ist, dass zunächst vielmehr ein realistisches Optimum als ein nicht realisierbares Maximum angestrebt wird.¹²⁴

Im Jahr 2014 waren in Österreich die folgenreichsten Verursacher von Treibhausgasemissionen die Sektoren Energie und Industrie (44,4 Prozent), Verkehr (28,5 Prozent), Landwirtschaft (10,4 Prozent) und Gebäude (10,0 Prozent).¹²⁵



Abbildung 13: Treibhausgasemissionen in Österreich nach Sektoren (2014)

Klimaschutzbemühungen konzentrieren sich daher vor allem auf den Energie-, Industrie- und Verkehrssektor. Folglich erhält die Logistik einen besonderen Stellenwert in der Klimapolitik.¹²⁶ Grundsätzlich erfasst eine vollständige Treibhausgasbilanz alle Treibhausgasemissionen entlang der gesamten Logistikkette. In gewissen Fällen ist es aber von Vorteil, nur ausgewählte Prozesse im Detail zu bewerten. Aus diesem Grund wurden Systemgrenzen definiert, die angeben, um welche Form von Energieverbrauch und Emissionen es sich handelt. Es wird zwischen direkten und indirekten Emissionen bzw. zwischen den in der Abbildung 7 (siehe S.21) definierten Scopes 1 bis 3 unterschieden. Im Zuge der Norm EN 16258 werden die Begriffe „**Well-to-Tank**“, „**Tank-to-Wheel**“ und „**Well-to-Wheel**“ definiert:

- „Well-to-Tank“ (WTT) beschreibt die Emissionen von Energieprozessen. Dabei werden alle indirekten Emissionen der Kraftstoffbereitstellung von der Quelle bis zum Fahrzeugtank bewertet. Darunter fällt auch der durch Herstellungsverluste von Energieträgern bedingte Energieverbrauch, wie zum Beispiel jene bei Hochspannungsleitungen.
- „Tank-to-Wheel“ (TTW) beschreibt die Emissionen von Fahrzeugprozessen. Dabei werden alle direkten Emissionen des Fahrzeugbetriebes bewertet.
- „Well-to-Wheel“ (WTW) umfasst die Emissionen von Fahrzeugprozessen und von Energieprozessen. WTW ist die Summe aus WTT und TTW und inkludiert somit alle direkten und indirekten Emissionen.¹²⁷

¹²⁴ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.5f

¹²⁵ vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.6

¹²⁶ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.14

¹²⁷ vgl. ebenda, S.17f

5.2 Klimabilanzierung allgemein

Von einem mathematischen Standpunkt aus betrachtet ist die Berechnung von Emissionen relativ simpel, wenn folgende Informationen vorliegen: Systemgrenzen müssen definiert, Leistungsdaten müssen erhoben und Emissionsfaktoren müssen bekannt sein. Letztendlich hängt die Einheitlichkeit und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aber nicht von der mathematischen Vorgehensweise ab, sondern von den getroffenen Annahmen und wie vorliegende Informationen interpretiert werden. Je globaler und diversifizierter die Logistikkette aufgestellt ist, desto schwieriger ist eine exakte Erhebung von Treibhausgasemissionen. Daher sind Vergleiche von berechneten Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Unternehmen und Dienstleister meistens nicht besonders aussagekräftig. Dementsprechend steigt auch zunehmend die Nachfrage nach verlässlichen Emissions-Rechnern. Die größte Schwierigkeit denen verfügbare Berechnungstools gegenüberstehen, bereitet der Zielkonflikt zwischen der Genauigkeit der Ergebnisse und der Komplexität der Berechnung und somit der Benutzerfreundlichkeit der Methoden. Dadurch entsteht jene Problematik der Heterogenität und der fehlenden Einheitlichkeit zwischen (international) vorhandenen Berechnungsmethoden.¹²⁸ Einzig für unternehmensinterne Fortschrittskontrollen im Sinne des Klimaschutzes wirkt sich diese Problematik nicht aus.¹²⁹

In Summe stehen für die Berechnung von Treibhausgasemissionen eine Reihe von Standards und Normen zur Verfügung, angefangen von einfachen Online-Berechnungstools bis hin zu aufwändigen Lebenszyklusberechnungen (engl.: Life Cycle Assessment). Welcher Standard letztendlich ausgewählt wird, hängt vom Ziel der Berechnung ab. Unabhängig von der ausgewählten Vorgehensweise muss in jedem Fall ein notwendiges Maß an Transparenz der angewendeten Methoden und Quellen gewährleistet werden. Für den Fall, dass die Emissionen eines gesamten Unternehmens als absolute Größe ermittelt werden sollen, werden so genannte **Corporate Carbon Footprinting** Methoden eingesetzt. Soll die Klimabilanz für die Logistikkette eines einzelnen Produkts erhoben werden, werden **Product Carbon Footprinting** Methoden eingesetzt. Und die dritte Methodengruppe umfasst jene Standards, die Klimabilanzen für **einzelne ausgewählte Transportdienstleistungen** erstellen. Diese drei Gruppen strukturieren die unterschiedlichen Anforderungen der Unternehmensbilanzen. In den folgenden Kapiteln werden die wesentlichen Merkmale und Vertreter dieser Gruppen vorgestellt und beschrieben.¹³⁰

¹²⁸ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.5f

¹²⁹ vgl. ebenda, S.15

¹³⁰ vgl. ebenda, S.20

5.2.1 Corporate Carbon Footprinting

Als erstes muss zwischen dem CO₂-Fußabdruck (engl.: Carbon Footprint) eines Produktes und dem eines Unternehmens unterschieden werden. Bei Unternehmensklimabilanzen (engl.: Corporate Carbon Footprintig) werden alle Treibhausgasemissionen erfasst, die vom Unternehmen selbst verursacht werden, wie etwa jene bei der Produktion, beim Transport von Gütern oder jene, die durch den Energieverbrauch von den Betriebsanlagen ausgestoßen werden. Die Aufteilung der Emissionen auf einzelne Produkte oder Prozesse, was auch als Allokation bezeichnet wird, ist im Rahmen der Unternehmensklimabilanzen nicht notwendig, es werden ausschließlich die Gesamtemissionen bestimmt. Das Einbeziehen der Ausstöße von Subunternehmen ist freiwillig, wichtig ist nur, dass die Systemgrenzen klar definiert sind und angegeben werden. Als Umweltkenngroße wird hier die CO₂e in der Einheit Kilogramm angegeben.

Zu den bekanntesten Methoden und Standards des Corporate Carbon Footprintig zählen die ISO-Norm 14064-1 und das so genannte Greenhouse Gas (GHG) Protocol, das 2004 im Rahmen der Corporate Accounting and Reporting Standards entstanden ist.¹³¹

5.2.2 Product Carbon Footprinting

Produktklimabilanzen beziehen sich auf die gesamte Wertschöpfungskette und erfassen, unabhängig ob von eigenen oder Fremdprozessen, alle Emissionen während des Produktlebenszyklus. Angefangen bei der Rohmaterialbeschaffung über Produktion, Lagerung, Transport, Distribution und Nutzung bis hin zur Entsorgung muss das gesamte Netzwerk erfasst werden. Dazu gehören auch die bei der Herstellung der Energieträger entstandenen Emissionen. Wie bei der Unternehmensklimabilanz werden auch hier die Ergebnisse einheitlich in Kilogramm CO₂e angegeben. Zu Unterschieden kommt es allerdings bei der Allokation. Bei Produktklimabilanzen müssen die anfallenden Gesamtemissionen jeweils auf die einzelnen Produkte aufgeteilt werden. In der Regel werden physische Größen, zum Beispiel Gewicht, als Messgrößen zur Allokation der Emissionen eines Produktes eingesetzt. Je nach Anwendungsfall ist aber auch die Verwendung von anderen, zum Beispiel monetären Größen möglich.

Die bekanntesten Methoden und Standards der Produktklimabilanzen sind die PAS 2050, die ISO-Norm 14040 und wieder das Greenhouse Gas Protocol, wobei hier andere Scopes als bei der Unternehmensklimabilanz untersucht werden.¹³²

¹³¹ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.20ff

¹³² vgl. ebenda, S.22

5.2.3 Klimabilanzen für einzelne Transporte

Die Bilanzierung von einzelnen Transportdienstleistungen umfasst alle Emissionen, die entlang einer Lieferkette anfallen. Eine Lieferkette setzt sich zumeist aus einzelnen Teilstrecken zusammen. Unabhängig ob Fahrzeuge von Subdienstleistern oder eigene eingesetzt werden, es muss jeweils die gesamte Strecke des Transports für die Bewertung analysiert werden. Stationäre Einrichtungen wie Gebäude, Umschlag oder Lager werden hierbei nicht berücksichtigt. Zusätzlich zu der Erhebung der Treibhausgase in Kilogramm CO₂e wird auch der durch den Transport bedingte Energieverbrauch ermittelt. Die Aufteilung der Fahrzeugemissionen auf die Einzelsendungen erfolgt ausschließlich durch physische Größen, wobei das Gewicht als Größe bevorzugt wird. Aber auch Größen wie Anzahl der Paletten oder 20-Fuß-ISO-Containereinheiten (engl.: Twenty-Foot Equivalent Unit, kurz: TEU) können zur Allokation herangezogen werden.¹³³ TEU ist eine Normeinheit (6,10 Meter), die zur Angabe einer Anzahl von Containern unterschiedlicher Längen definiert wurde und die für die Beschreibung des Fassungsvermögens von Containerschiffen häufig verwendet wird.¹³⁴

Um mehr Genauigkeit, Transparenz und Einheitlichkeit bei der Berechnung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen einzelner Transporte zu erreichen, hat das Deutsche Institut für Normung (DIN) die heute vorrangig eingesetzte Methodik, die Europäische Norm (EN) 16258 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“ ausgearbeitet.¹³⁵ Auslöser und Grundstein für die Prinzipien der EN war die französische CO₂-Verordnung Nr. 2011-1336: „Information über die Menge der CO₂-Emissionen einer Beförderungsleistung“. Diese Verordnung ist allerdings sehr spezifisch auf die Gegebenheiten in Frankreich ausgelegt und findet daher international wenig Anklang. Während die französische Verordnung verpflichtend ist, hat die EN 16258, so wie jede Europäische Norm oder DIN-Norm, keinen rechtlich verbindlichen Charakter, sondern kann freiwillig angewendet werden.¹³⁶

¹³³ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.22

¹³⁴ vgl. DIN, 2012, S.8

¹³⁵ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.8

¹³⁶ vgl. ebenda, S.25

5.3 Europäische Norm (EN) 16258

5.3.1 Einleitung

Nachdem die EN 16258 ein elementarer Bestandteil dieser Diplomarbeit ist und als Grundlage für die im praktischen Teil folgenden Berechnungen dient, wird in diesem Abschnitt die prinzipielle Vorgehensweise der Norm detailliert erläutert und die für die Berechnung wesentlichen Grundsätze ausführlich beschrieben.

In erster Linie macht die Norm Vorgaben zur methodischen Vorgehensweise für die Bestimmung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen. Als Transportdienstleistung wird ein Transport, unabhängig ob zu Land, zu Wasser oder in der Luft, eines Gutes vom Versender zu einem beliebigen Empfänger definiert. Um ein vollständiges Ergebnis zu erhalten, muss die Bewertung dabei sowohl die Fahrzeugprozesse während der Betriebsphase als auch die vorangehenden und nachfolgenden Energieprozesse berücksichtigen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Analyse der Transportdienstleistungen einen Well-to-Wheel-Ansatz verfolgt. Bei der Festlegung der allgemeinen Grundsätze, Definitionen, Systemgrenzen, Berechnungsverfahren und Allokationsregeln wurde bei der Erstellung der Norm besonders darauf geachtet, einen Ausgleich zwischen größtmöglicher Präzision, wissenschaftlicher Strenge und Benutzerfreundlichkeit zu erreichen, um so Zugänglichkeit für eine möglichst breite Anwendung sicherzustellen.¹³⁷ Wie aufwändig und kompliziert das Erstellen von Emissionsbilanzen letztendlich ist, hängt im Wesentlichen von der Verfügbarkeit der Informationen über den Energieverbrauch ab. Je detaillierter und genauer die Daten vorliegen, desto einfacher wird die Anwendung der Rechenschritte. Zum Beispiel kann, wenn der Dieserverbrauch eines LKW-Transports gemessen und dokumentiert wird, mit Hilfe fester Umrechnungsfaktoren und einfacher Rechenschritte ein aussagekräftiges Ergebnis festgestellt werden. Den exakten Treibstoffverbrauch zu messen, ist zwar für klein- und mittelständische Unternehmen ein realistisches und erstrebenswertes Szenario, aber ab einer gewissen Unternehmensgröße ist es nicht mehr zweckmäßig oder möglich, den Verbrauch pro Transport exakt zu messen. Beispielsweise bei komplexen Transportsystemen mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln, Fahrzeugtypen, Teilstrecken und Logistikunternehmen innerhalb einer Lieferkette kann der individuelle Energieverbrauch in der Regel nicht bestimmt werden. In diesem Fall wird die Berechnung durch zusätzliche Annahmen und Nebenrechnungen ergänzt und somit komplexer und aufwändiger.¹³⁸

Ein Ergebnis ist immer nur so gut wie seine Datenquellen. Je besser die vorliegenden Informationen, desto einfacher wird die Berechnung und desto

¹³⁷ vgl. DIN, 2012, S.5ff

¹³⁸ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.8

realitätsnäher ist das Ergebnis. In jedem Fall ist es wichtig, dass der Weg zum Ergebnis transparent kommuniziert wird und dass klare Angaben über die zum Resultat führenden Methoden und Randbedingungen gemacht werden. Diesbezügliche Vorgaben sind ebenfalls Bestandteil der Norm.¹³⁹

5.3.2 Vorgehensweise der Berechnung

Gemäß der EN 16258 führt die Multiplikation des spezifischen Energieverbrauchs mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren zu den Treibhausgasemissionen und dem standardisierten Energieverbrauch eines Transports. Die Vorgehensweise wird in drei Schritte unterteilt:

Im **ersten Schritt** wird die Transportdienstleistung in einzelne Teilstrecken ohne Verkehrsmittelwechsel, so genannte „Legs“, aufgeteilt. Im **zweiten Schritt** werden der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen jedes einzelnen Legs berechnet. Um diese Berechnung durchführen zu können, müssen einige Aspekte vorausgesetzt und berücksichtigt werden. Zunächst werden Fahrzeugeinsatz-Systeme (engl.: Vehicle Operation Systems, kurz: VOS) für Teilstrecken und das gesamte Netz festgelegt und eine quantitative Bestimmung des Energieverbrauchs dieser Fahrzeugeinsatz-Systeme durchgeführt. Als VOS wird der Umlauf von einem oder mehreren Fahrzeugen bezeichnet. Als Mindestanforderung gilt, dass ein VOS aus einer einheitlichen Gruppe von Fahrzeugeinsätzen besteht. Nach welchem Kriterium Größe und Zusammensetzung des VOS festgelegt werden, hängt von individuellen Gegebenheiten ab und wird vom Anwender der Norm ausgewählt. In der Regel werden die Anzahl der Fahrzeuge, der Fahrzeugtyp oder der Betriebszeitraum der Fahrzeuge als Kriterien eingesetzt. Schließlich wird mit für diese VOS bekannten durchschnittlichen Kennwerten der spezifische Energieverbrauch für das gesamte Netz ermittelt. Weiters muss sichergestellt werden, dass alle Transportdienstleistungen, einschließlich jener, die von Subunternehmern durchgeführt werden, berücksichtigt werden. Außerdem wird der gesamte Verbrauch, also inklusive Ladungs- und Leerfahrten, der eingesetzten Fahrzeuge ermittelt. Werden in einer Transportkette unterschiedliche Verkehrsmittel eingesetzt, ist für die Addition der Teilergebnisse eine gemeinsame physikalische Einheit notwendig. Anhand fester Faktoren wird der ermittelte spezifische Energieverbrauch in den standardisierten Energieverbrauch – in Megajoule – und in Treibhausgasemissionen – in Kilogramm CO₂e – umgerechnet. Im **dritten Schritt** werden die Ergebnisse der einzelnen Legs aufsummiert und Gesamtmengen gebildet. Laut der EN müssen Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sowohl die Fahrzeugprozesse während der Betriebsphase (Tank-to-Wheel) als auch die dazugehörigen Energieprozesse für Betrieb und Energiebereitstellung (Well-to-Wheel) umfassen. Davon ausgenommen sind die indirekten Emissionen, die aus

¹³⁹ vgl. DIN, 2012, S.5

Prozessen der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Verkehrsmittel und der Verkehrsinfrastruktur stammen. Diese Prozesse gehören zu den in der Norm nicht enthaltenen Prozessen und werden daher explizit nicht in der Bewertung berücksichtigt.¹⁴⁰

5.3.3 Erhebung des spezifischen Energieverbrauchs

Für dieses Kapitel ist es wichtig, den Unterschied zwischen spezifischem und standardisiertem Energieverbrauch zu verstehen. Während die Einheit des spezifischen Energieverbrauchs vom betrachteten Transportmittel abhängt, wird der standardisierte Energieverbrauch stets in der Einheit Megajoule angegeben. Der spezifische Energieverbrauch entspricht also dem direkten Kraftstoffverbrauch, wie zum Beispiel: Liter Diesel und Benzin, oder Kilogramm Schweröl und Kerosin oder Kilowattstunden Strom. Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze, den standardisierten Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von Transporten zu ermitteln: Die verbrauchsbasierte und die entfernungsbasierte Methode.

Verbrauchsbasierte Methode

Bei der verbrauchsbasierten Methode werden die Treibhausgasemissionen und der standardisierte Energieverbrauch mit Hilfe der energiespezifischen Emissionsfaktoren und des spezifischen Energieverbrauchs bestimmt. Eine grundlegende Voraussetzung dieser Methode ist, dass der spezifische Energieverbrauch durch Messungen selbst erhoben wird. Nachdem der Energieverbrauch tatsächlich gemessen wurde, wird er mittels definierter Umrechnungsfaktoren, so genannten energiespezifischen Emissionsfaktoren, in die einheitliche Energieeinheit Megajoule umgerechnet. Da diese Methodik präzisere Ergebnisse als die entfernungsbasierte Methode liefert, empfiehlt es sich, wenn möglich, den tatsächlichen Verbrauch zu messen und die verbrauchsbasierte Variante anzuwenden. Die verbrauchsbasierte Methode wird in **drei unterschiedliche Fälle** gegliedert:

Der **erste Fall** – individuelle Messwerte – liegt vor, wenn für einen konkreten Transport der Kraftstoffverbrauch gemessen wird. In der Realität kommt dieser Fall aber nur selten zum Einsatz, da Speditionen und Logistikdienstleister nur mit hohem Aufwand den Kraftstoffverbrauch für wirklich jedes Verkehrsmittel erheben können.

Der wesentlich relevantere **zweite Fall** – spezifische Werte des Transportdienstleisters – liegt vor, wenn fahrzeug- oder routenspezifische Durchschnittswerte für Fahrzeugeinsatzsysteme vorliegen. So wird, anstatt Verbrauchswerte von konkreten Transporten zu messen, der durchschnittliche

¹⁴⁰ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.24

Energieverbrauch speziell für eine Route oder einen Fahrzeugtyp auf Jahresbasis gemittelt, erhoben und anschließend auf die betrachtete Einzelsendung aufgeteilt.

Liegen auch diese Werte nicht vor, wird im **dritten Fall** – Flottenwerte des Transportdienstleisters – auf Durchschnittswerte für eine ganze Flotte des Logistikdienstleisters zurückgegriffen. Da diese Methode nicht auf die Spezifikationen der einzelnen Transporte eingeht und auf keinen speziellen Fahrzeug- oder Routentyp ausgelegt ist, liefert dieser Fall sehr ungenaue Ergebnisse. Dementsprechend wird der dritte Fall nur selten angewendet.

Unabhängig welcher der drei Fälle ausgewählt wird, die Leerfahrten müssen stets in die Berechnung miteinbezogen werden und es muss sichergestellt werden, dass die für die Transportmittel ausgewählten Durchschnittswerte für den betrachteten Transport so typisch wie möglich sind.

Entfernungsbasierte Methode

Je größer ein Unternehmen ist und je mehr Transporte mit Fahrzeugen von Subunternehmen durchgeführt werden, desto schwieriger wird es, den spezifischen Energieverbrauch der eingesetzten Transportmittel zu messen und somit die verbrauchsbasierte Methode anzuwenden. Wenn es nicht realistisch ist, den gesamten Kraftstoffverbrauch zu messen, kommt der **vierte Fall** zum Einsatz, die entfernungsbasierten Methode. Im Rahmen dieser Methode werden feststehende Vorgabewerte, so genannte Default-Werte, die aus einer Datenbank entnommen werden, mit Messwerten von der Transportdienstleistung kombiniert. Zu den gemessenen Werten zählen einerseits Informationen zur Auslastung, Jahresfahrleistung und Transportleistungen und andererseits zurückgelegte Tonnenkilometer (tkm). Tonnenkilometer sind das mathematische Produkt aus dem Gewicht der Sendung mal dem tatsächlich zurückgelegten Weg. Anhand dieser Angaben und anhand der energiespezifischen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren wird zunächst der spezifische Kraftstoffverbrauch überschlagen und anschließend werden die ausgestoßenen Treibhausgasemissionen sowie der standardisierte Energieverbrauch berechnet. Die Default-Werte können dabei aus offiziellen Datenbanken (wie zum Beispiel: HBEFA und TREMOD) oder aus frei zugänglichen Berechnungstools (wie zum Beispiel: EcoTransIT) bezogen werden. Je genauer die Default-Werte auf den betrachteten Transport abgestimmt sind, desto präziser sind die Ergebnisse der Berechnungen.¹⁴¹ Die folgende Formel gibt an wie der spezifische Energieverbrauch berechnet wird:

¹⁴¹ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.38f

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$F = W * D * E$	F	Spezifischer Energieverbrauch	l, kg, kWh
	W	Reales Frachtgewicht	t, TEU
	D	Reale Transportentfernungen	km
	E	Spezifischer Energieverbrauchsfaktor	l, kg, kWh pro tkm, TEU-km

Formel 1: EN 16258 – Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs

Die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs (F), der in den Einheiten Liter (l), Kilogramm (kg) oder Kilowattstunde (kWh) angegeben wird, erfolgt durch die Multiplikation des realen Frachtgewichts mit der realen Transportentfernung und mit dem spezifischen Energieverbrauchsfaktor. Das reale Frachtgewicht (W) wird in den Einheiten Tonne (t) oder Twenty-foot Equivalent Unit (TEU) angeführt. Die reale Transportentfernung (D) wird mit der Einheit Kilometer (km) beschrieben. Und der spezifische Energieverbrauchsfaktor (E), der mittels Randbedingungen und einer vorgegebenen Tabelle bestimmt wird, wird in den Einheiten l, kg oder kWh je tkm oder TEU-km angegeben.

Beim **realen Frachtgewicht** handelt es sich um das Bruttogewicht der Sendung. Das Gewicht von Verpackungen und Transporthilfen wie Paletten oder Container wird also ebenfalls in der Berechnung berücksichtigt.

Bei der **realen Transportentfernung** muss die Distanz der tatsächlich zurückgelegten Strecke bestimmt werden. Während das bei Straßen-, Schienentransporten und Binnenschiffahrten, wo es kaum zu Abweichungen von der direkten oder der Idealroute kommt, noch relativ einfach ist, kann die Bestimmung der tatsächlichen Strecke bei Seeschiffahrten und im Luftverkehr deutlich schwieriger ausfallen. Bei der Seeschiffahrt gibt es für die Transportentfernungen in der Regel ausgewiesene Schiffsrouten an denen man sich orientieren kann und die der tatsächlichen Entfernung entsprechen. Die Flugentfernung wird im Luftverkehr meistens auf Basis der Großkreisentfernung, die der kürzesten Verbindung zwischen zwei Punkten und einem prozentuellem Aufschlag entspricht, gewählt. Weil die reale Flugroute normalerweise von dieser Idealverbindung abweicht, zum Beispiel wegen betriebs- oder wetterbedingter Umwege, wird von der Norm ein pauschaler Zuschlag von 95 Kilometer zu jedem Flug zusätzlich berücksichtigt. Eine geeignete Methode mit dem die Länge der Routen bestimmt werden können ist das Internet-Tool von EcoTransIT (siehe Kapitel 5.4).

Welcher Tabellenwert für den **spezifischen Energieverbrauchsfaktor** ausgewählt wird, ist von zwei Randbedingungen abhängig:

Die **Bestimmung der Gutart** gibt Auskunft über die Beschaffenheit des Transportmittels und über den Auslastungsgrad des Transports. In der Norm wird die Gutart in drei Klassen unterteilt: Massengut, Volumengut und Durchschnittsgut. Beim Massengut ist das Transportgewicht der begrenzende Faktor für die Auslastung des

Transportmittels, wodurch in der Regel eine 100-prozentige Auslastung erreicht wird. Typische Transportgüter dieser Klasse sind: Erze, Kohle oder Mineralölprodukte. Von Volumengut wird gesprochen, wenn das Volumen der begrenzende Faktor der Transportmenge ist. Die massenbezogene Auslastung beim Volumengut liegt zwischen 30 und 40 Prozent. Eine Mischform aus Massengut und Volumengut ist das Durchschnittsgut, die massenbezogene Auslastung dieser Gutart liegt bei rund 60 Prozent. Wenn keine Informationen über die Transportmittel vorliegen, werden in der Regel Durchschnittsgüter angenommen. Wie sich die Auswahl der Gutart auf die Auslastung und Kapazitäten von LKW-Transporten auswirkt, zeigt die Abbildung 17 (siehe S.52).

Die zweite Randbedingung, die bestimmt werden muss, ist der **Verkehrsmittel-** und **Fahrzeugtyp**. Diese Randbedingung beschreibt das Transportmittel nach Art und Größe. Zum Beispiel wird festgelegt ob Transporte zu Land, zu Wasser oder in der Luft befördert werden oder ob beispielsweise ein 40-Tonnen-LKW (Last-/Sattelzug) oder ein 7,5-Tonnen-LKW für den Transport eingesetzt wird.¹⁴²

Verkehrsmittel/ Fahrzeuge	Energie	Einheit	Volumen- gut	Durchschnitts- gut	Massen- gut
Lkw < 7,5 t	Diesel	l/tkm	0,140	0,078	0,063
Lkw 7,5 – 12 t	Diesel	l/tkm	0,108	0,061	0,050
Lkw 12 – 24 t	Diesel	l/tkm	0,063	0,036	0,029
Last-/Sattelzug 24 – 40 t	Diesel	l/tkm	0,038	0,023	0,020
Zug mit Elektrotraktion	Bahnstrom	kWh/tkm	0,042	0,032	0,028
Zug mit Dieseltraktion	Diesel	l/tkm	0,011	0,009	0,008
Containerschiff	Schweröl	kg/tkm	0,0089	0,0051	0,0037
Massengutfrachter	Schweröl	kg/tkm	x	x	0,0017
Binnenschiff (GMS)	Diesel	l/tkm	x	x	0,0088
Frachtflugzeug	Kerosin	kg/tkm	0,148	x	x
Belly-Fracht	Kerosin	kg/tkm	0,258	x	x

Abbildung 14: EN 16258 – spezifische Energieverbrauchsfaktoren differenziert nach Verkehrsmittel- und Fahrzeugtypen¹⁴³

¹⁴² vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.44

¹⁴³ Abbildung entnommen aus: ebenda, S.12

Abhängig von den Größen: Verkehrsmittel, Fahrzeugtyp, Gutart, Transportgewicht und Transportstrecke, werden anhand dieser Abbildung die wichtigsten spezifischen Energieverbrauchsfaktoren für ausgewählte Verkehrsmittel und Fahrzeugtypen abgelesen. Auslastung und Leerfahrten der Fahrzeuge sind in diesen Default-Werten bereits berücksichtigt.¹⁴⁴

Zusammenfassung – Zwei Methoden, vier Fälle

In Summe gibt die EN zwei Methoden und vier Fallunterscheidungen zur Bestimmung der spezifischen Energieverbrauchsfaktoren an. In der folgenden Abbildung werden diese zusammengefasst dargestellt. Die ersten drei Fälle werden der verbrauchs-basierten Methode zugeordnet und der vierte Fall der entfernungs-basierten Methode.¹⁴⁵

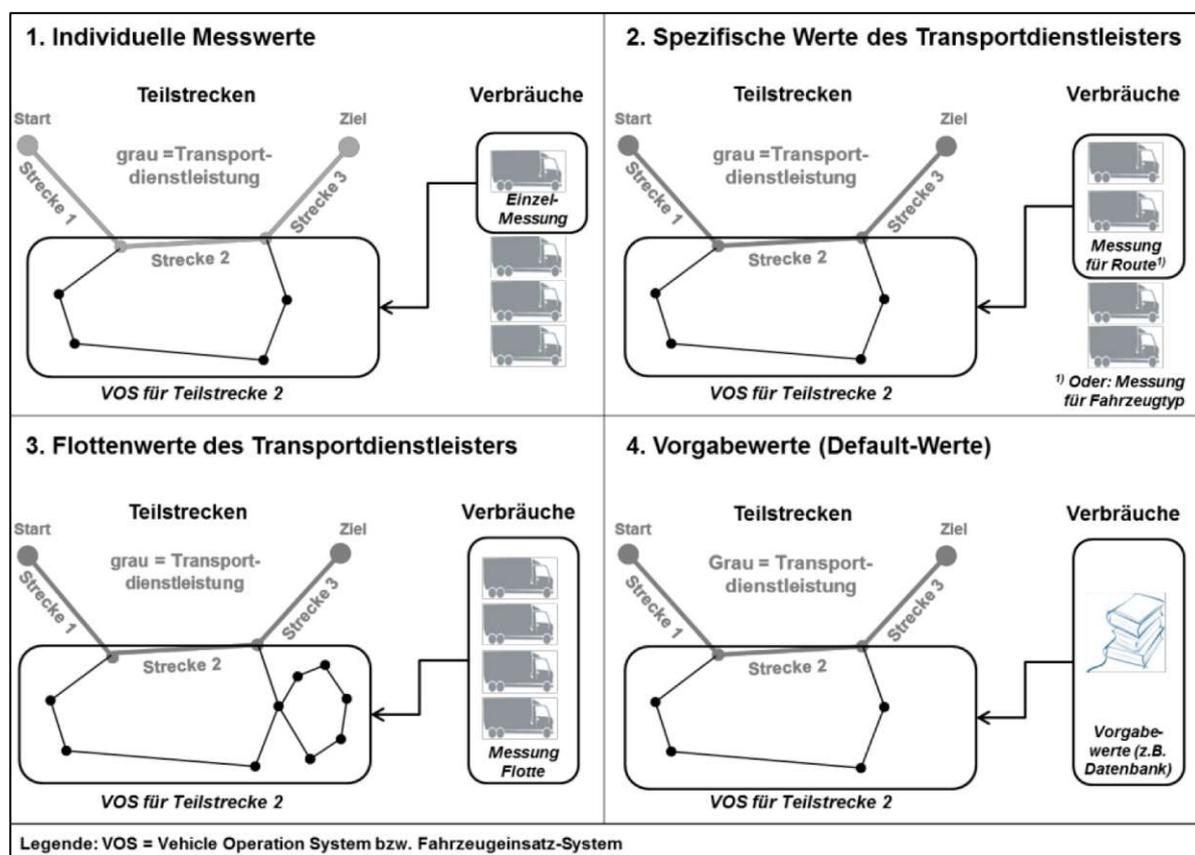


Abbildung 15: EN 16258 – Vier Ansätze zur Bestimmung des spezifischen Energieverbrauchs¹⁴⁶

¹⁴⁴ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.43

¹⁴⁵ vgl. ebenda, S.38ff

¹⁴⁶ Abbildung entnommen aus: ebenda, S.40

5.3.4 Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Gleichgültig mit welcher von den soeben beschriebenen Methoden letztendlich der spezifische Energieverbrauch erhoben wird, wesentlich ist, dass die gewählte Vorgehensweise und die ermittelten Resultate für den Leser nachvollziehbar sind. Deshalb müssen der Weg zum Ergebnis, die Definition der Randbedingungen und die Quellen der Vorgabewerte kommuniziert und angegeben werden. Nur dann können Ergebnisse bewertet, Werte verglichen und sinnvolle Klimaschutzmaßnahmen ausgearbeitet werden.

Nachdem der spezifische Energieverbrauch bestimmt wurde, müssen nur noch entsprechende Umrechnungsfaktoren ausgewählt werden und schon können die Treibhausgasemissionen und der standardisierte Energieverbrauch bestimmt werden.¹⁴⁷

	Energieverbrauch			Treibhausgasemissionen (als CO ₂ e = CO ₂ -Äquivalente)		
	Einheit	Direkt (TTW)	Gesamt (WTW)	Einheit	Direkt (TTW)	Gesamt (WTW)
Diesel (ohne Biodiesel)	MJ/l	35,9	42,7	kg/l	2,67	3,24
Diesel Deutschland	MJ/l	35,7	44,4	kg/l	2,49	3,15
Kerosin	MJ/kg	44,1	52,5	kg/kg	3,18	3,88
Schweröl für Schiffe	MJ/kg	40,5	44,1	kg/kg	3,15	3,41
Bahnstrom Deutschland	MJ/kWh	3,6	11,1	kg/kWh	0,000	0,574
Strom Deutschland	MJ/kWh	3,6	9,7	kg/kWh	0,000	0,583
Fernwärme Deutschland	MJ/kWh _{th}	3,6	4,1	kg/kWh _{th}	0,000	0,249
Erdgas – Heizwert	MJ/kWh	3,6	4,1	kg/kWh	0,202	0,242
Erdgas – Brennwert	MJ/kWh	3,2	3,7	kg/kWh	0,182	0,218
Heizöl	MJ/kg	35,8	41,7	kg/kg	2,67	3,09

Abbildung 16: EN 16258 – Faktoren zur Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen¹⁴⁸

Diese Abbildung gibt vom Kraftstofftyp abhängige Faktoren zur Umrechnung des spezifischen Energieverbrauchs, einerseits zum standardisierten Energieverbrauch in der Einheit Megajoule (MJ) und andererseits zu Treibhausgasemissionen in der Einheit Kilogramm CO₂e, an. Nachdem der passende Umrechnungsfaktor (e_T , e_W , g_T

¹⁴⁷ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.27f

¹⁴⁸ Abbildung entnommen aus: ebenda, S.12

oder g_W) ausgewählt wurde, wird dieser mit dem spezifischen Energieverbrauch (F) multipliziert und man erhält den standardisierten Energieverbrauch (E_W oder E_T) oder die Treibhausgasemissionen (G_W oder G_T). Die Default-Werte mit den Indizes „W“ führen zu WTW-Ergebnissen und jene mit den Indizes „T“ führen zu TTW-Ergebnissen. Zusammengefasst ergeben sich dann diese Formeln:

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$E_W = F * e_W$	E_W	Well-to-Wheel-Energieverbrauch	MJ
$E_T = F * e_T$	E_T	Tank-to-Wheel-Energieverbrauch	MJ
	F	Spezifischer Energieverbrauch	kg, l, kWh
	e_W	Well-to-Wheel-Energieverbrauchsfaktor	MJ pro kg, l oder kWh
	e_T	Tank-to-Wheel-Energieverbrauchsfaktor	MJ pro kg, l oder kWh

Formel 2: EN 16258 – Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$G_W = F * g_W$	G_W	Well-to-Wheel-THG-Emissionen	kg CO ₂ e
$G_T = F * g_T$	G_T	Tank-to-Wheel-THG-Emissionen	kg CO ₂ e
	F	Spezifischer Energieverbrauch	kg, l, kWh
	g_W	Well-to-Wheel-THG-Emissionsfaktor	kg CO ₂ e pro kg, l oder kWh
	g_T	Tank-to-Wheel-THG-Emissionsfaktor	kg CO ₂ e pro kg, l oder kWh

Formel 3: EN 16258 – Berechnung der Treibhausgasemissionen

Im Endeffekt führt die Anwendung der beschriebenen Rechenschritte zu folgenden vier einheitlichen Ergebnisgrößen:

- Well-to-Wheel-Energieverbrauch (E_W)
- Tank-to-Wheel-Energieverbrauch (E_T)
- Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen (G_W)
- Tank-to-Wheel-Treibhausgasemissionen (G_T)¹⁴⁹

5.3.5 Ergänzende Anmerkungen

In diesem Abschnitt werden weiterführende Besonderheiten der EN beschrieben, die im Rahmen der Berechnungen berücksichtigt werden müssen und für ein besseres Verständnis der folgenden Abschnitte dieser Arbeit sorgt.

Allokation

Oftmals sind nicht nur die Treibhausgasemissionen des gesamten Transports gefragt, sondern der auf eine Einzelsendung heruntergebrochene Anteil eines Transports. Es gilt: Je weitflächiger und komplexer die Logistikkette gestaltet ist, desto anspruchsvoller ist die Bewertung eines einzelnen Gutes. Die Norm gibt einige Grundregeln für den Schritt der Allokation vor:

¹⁴⁹ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.27f

- Der gesamte Energieverbrauch und sämtliche Emissionen des Fahrzeugeinsatzes müssen dem beförderten Gut zugeordnet werden. Das bedeutet, dass auch Leerfahrten dem untersuchten Gut anteilig zugerechnet werden müssen.¹⁵⁰
- Grenzallokationen sind Allokationsverfahren, die nicht-physikalische Kriterien zur Aufteilung der Werte einsetzen. Die Verwendung von Grenzallokationen ist im Rahmen der EN nicht zulässig.¹⁵¹
- Wird ein Gut später geladen, ist es unzulässig, nur den geringeren Mehrverbrauch diesem letzten Gut zuzuordnen, stattdessen müssen alle Lasten anteilig auf dieses Gut verteilt werden. So wird verhindert, dass zuerst geladenen Gütern höhere Umweltauswirkungen als später geladenen zugewiesen werden.
- Werden gleichzeitig Passagiere und Güter transportiert, zum Beispiel auf einer Fähre oder in einem Flugzeug, dann müssen die Passagiere auch in die Aufteilung des Energieverbrauchs und der Emissionen einbezogen werden.
- Für den Sonderfall Sammel- und Verteilverkehr gelten grundsätzlich die gleichen Regeln wie für herkömmliche Touren. Im ersten Schritt werden Energieverbräuche und Emissionen für die gesamte Tour bestimmt und im zweiten Schritt werden die Werte auf die Einzelsendung aufgeteilt. Im Fall, dass die Entfernung als alleiniger Allokationsparameter eingesetzt wird, schreibt die Norm vor, dass nicht die realen Transportentfernungen der einzelnen Güter, sondern die direkten Distanzen von Auf- und Abladepunkten für die Allokation verwendet werden. So lassen sich Energieverbrauch und Emissionen gerechter auf die einzelnen Sendungen aufteilen.
- Die verwendeten Allokationsschlüssel müssen, soweit angemessen, im Zeitverlauf des Transports oder für ein bestimmtes Fahrzeug einheitlich bleiben.
- Grundsätzlich empfiehlt die Norm, Tonnenkilometer als Allokationsparameter einzusetzen. Da dies aber nicht immer und für alle Transporte möglich ist, sind auch alternative Allokationsparameter zugelassen. Beispielsweise kann das mathematische Produkt aus Entfernung und anderen Größen wie Lademeter, Palettenanzahl, Anzahl von TEU oder Volumen verwendet werden, sofern diese Größen die begrenzenden Faktoren des Transports sind. Wenn die Ermittlung der Transportentfernung pro Einzelsendung kaum oder nicht möglich ist, können Gewicht oder Anzahl der Sendungen als Kriterium zur Allokation verwendet werden. Können umgekehrt keine Angaben über die einzelnen Sendungen gemacht werden, lässt die Norm auch eine Allokation allein über die Entfernung zu.

¹⁵⁰ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.33

¹⁵¹ vgl. DIN, 2012, S.9

- In Summe gibt es also eine Vielzahl an möglichen Allokationsparametern und da der gewählte Allokationsparameter einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis hat, muss die Allokationsgröße gemeinsam mit dem Ergebnis kommuniziert werden.¹⁵²

Ladungsgewicht

Nachdem das Ladungsgewicht einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Emissionen hat, muss auch das gesamte Gewicht (Bruttogewicht) der Sendungen bei der Berechnung berücksichtigt werden. Das Gesamtgewicht beinhaltet neben dem Realgewicht (Nettogewicht) der Ware zusätzlich das Gewicht von Verpackungen und Ladehilfen. Daher sind Angaben über die Art, wie Güter transportiert werden, ein wichtiger Bestandteil der Emissionsberechnung. Bei der Aufteilung des Energieverbrauchs und der Emissionen auf einzelne Sendungen wird das Gewicht von Verpackungen und Ladehilfen hingegen nur dann berücksichtigt, wenn sie fester Bestandteil der Ladung sind. Auch das zulässige Gesamtgewicht (zGG) einer Transportdienstleistung ist vom transportierten Gut und der Art des Gutes abhängig. Die Tabelle 3 zeigt, wie sich unterschiedliche Gutarten, aufgrund der jeweiligen massenbezogenen Auslastung, auf das Füllgewicht eines Containers auswirken. Die Summe aus Containergewicht und Frachtgewicht ergibt das Gesamtgewicht. Die Werte werden jeweils in der Einheit Tonnen pro TEU angegeben.

Gutart	Containergewicht (t/TEU)	Frachtgewicht (t/TEU)	Gesamtgewicht (t/TEU)
Volumengut	1,90	6,00	7,90
Durchschnittsgut	1,95	10,50	12,45
Massengut	2,00	14,50	16,50

Tabelle 3: EN 16258 – Containergewicht verschiedener Gutarten¹⁵³

Leerfahrten

Die Norm schreibt vor, dass für die vollständige Bewertung einer Transportdienstleistung alle Teilstrecken getrennt berücksichtigt werden müssen. Das bedeutet, dass auch Leerfahrten anteilig auf Teilstrecken aufgeteilt werden müssen.¹⁵⁴ Da bei der verbrauchsbasierten Methode ohnehin der Energieverbrauch gemessen wird, muss lediglich sichergestellt werden, dass der gesamte Fahrzeugumlauf berücksichtigt wird, damit der Anteil der Leerfahrten einbezogen wird. Etwas schwieriger wird es bei der entfernungsbasierten Methode, denn in der Regel liegen bei diesem Anwendungsfall keine Informationen über die Auslastung und den Leerfahrtenanteil vor. Im Rahmen der EN wird diesem Problem so entgegen gewirkt, dass, in Abhängigkeit von der Gutart, durchschnittliche Annahmen bezüglich

¹⁵² vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.33ff

¹⁵³ vgl. ebenda, S.19

¹⁵⁴ vgl. ebenda, S.23

Auslastung und Leerfahrten getroffen werden und diese im Zuge der Umrechnungsfaktoren einbezogen werden (siehe Abbildung 14, S.46). Die spezifischen Energieverbrauchsfaktoren berücksichtigen also bereits die Auslastung und die Leerfahrten der Transportdienstleistungen. In welchem Rahmen diese Annahmen für unterschiedliche LKW-Klassen ausfallen, zeigt die folgende Abbildung.¹⁵⁵

	Zusätzliche Leerfahrten ¹⁾	Lkw < 7,5 t zGG	Lkw 7,5 - 12 t zGG	Lkw 12 - 24 t zGG	Last-/ Sattelzug 24-40 t zGG
Maximale Zuladung		3,5 t	6,0 t	12,0 t	26,0 t
Frachtverkehr		Frachtgewicht in t pro Lkw			
Volumengut	+10%	1,05 t	1,8 t	3,6 t	7,8 t
Durchschnittsgut	+20%	2,1 t	3,6 t	7,2 t	15,6 t
Massengut	+60%	3,5 t	6,0 t	12,0 t	26,0 t
Containerverkehr		Anzahl TEU pro Lkw			
Volumengut	+10%	-	-	1 TEU	2 TEU
Durchschnittsgut	+10%	-	-	1 TEU	2 TEU
Massengut	+10%	-	-	-	1 TEU

1) Zusätzliche Leerfahrten: Streckenanteil, der zusätzlich als Leerfahrt durchgeführt wird, bezogen auf die Lastfahrt.

Abbildung 17: EN 16258 – Auslastung und Leerfahrten der LKW-Klassen¹⁵⁶

Im Frachtverkehr zeigt sich, dass es sich bei schweren Massengütern oft um unpaarige Transporte handelt, wodurch ein hoher Leerfahrtenanteil entsteht. Bei Volumen- und Durchschnittsgütern hingegen ist der Leerfahrtenanteil deutlich geringer.¹⁵⁷

Streckenprofil

Das Streckenprofil (Gefälle und Steigungen) hat einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch und somit auf die Treibhausgasemissionen. Je schwerer Fahrzeug und Ladung sind, desto gravierender wirkt sich das Streckenprofil auf den Verbrauch aus. Grundsätzlich sind die Verbrauchskennzahlen des spezifischen Energieverbrauches auf ein mittleres Längsneigungsprofil abgestimmt, alternativ können die Werte aber auch für ein ebenes Streckenprofil angegeben werden. Folgende Abbildung vergleicht die Verbrauchskennzahlen für LKW-Transporte im Fracht- und Containerverkehr für ebene und mittlere Streckenprofile.

¹⁵⁵ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.43

¹⁵⁶ Abbildung entnommen aus: ebenda, S.45

¹⁵⁷ vgl. ebenda, S.43

	Mittleres Längsneigungsprofil			Ebene		
	Volumen- gut	Durchschnitts- gut	Massen- gut	Volumen- gut	Durchschnitts- gut	Massen- gut
Frachtverkehr	Dieserverbrauch in Liter/tkm					
Lkw < 7,5 t	0,140	0,078	0,063	0,139	0,077	0,062
Lkw 7,5 – 12 t	0,108	0,061	0,050	0,105	0,059	0,048
Lkw 12 – 24 t	0,063	0,036	0,029	0,060	0,034	0,027
Last-/Sattelzug 24 – 40 t	0,038	0,023	0,020	0,033	0,020	0,016
Containerverkehr	Dieserverbrauch in Liter/TEU-km					
Lkw < 7,5 t	x	x	x	x	x	x
Lkw 7,5 – 12 t	x	x	x	x	x	x
Lkw 12 – 24 t	0,24	0,26	x	0,22	0,24	x
Last-/Sattelzug 24 – 40 t	0,17	0,19	0,34	0,14	0,16	0,29

x = Container-Transport für diese Lkw-Größe bzw. bei diesem Containergewicht nicht möglich.

Abbildung 18: EN 16258 – An Streckenprofil angepasster spezifischer Energieverbrauch für LKWs¹⁵⁸

Nachdem der Straßengüterverkehr in der Regel auf Autobahnen stattfindet und weil sich der Kraftstoffverbrauch auf Autobahnen und Außerortsstraßen kaum unterscheidet, basieren die Kennzahlen der Berechnung des Verbrauchs auf dem mittleren Kraftstoffverbrauch auf Autobahnen. Wenn größere Streckenanteile innerorts zurückgelegt werden, können jedoch folgende Korrekturfaktoren herangezogen werden.

LKW-Typ	Korrekturfaktor
LKW < 7,5t zGG	0,9
LKW 7,5-12t zGG	1,0
LKW 12-24t zGG	1,3
Last-/Sattelzug 24-40t zGG	1,4

Tabelle 4: EN 16258 – Korrekturfaktoren für den Verbrauch auf Innerortstraßen¹⁵⁹

Spezielle Kraftstoffe – Biodiesel

Seit 2005 wird europaweit überwiegend Diesel mit einem gewissen Anteil an Biokomponenten, so genannter Biodiesel, in den Verkehr gebracht. Grund für die industrielle Beimischung von Biodiesel zu konventionellem Diesel ist die EU-Richtlinie 2003/30/EG, welche die schrittweise Substituierung von fossilen

¹⁵⁸ Abbildung entnommen aus: Schmied, Knörr, 2013, S.46

¹⁵⁹ vgl. ebenda, S.45f

Kraftstoffen anstrebt. Im Jahr 2009 erfolgte eine Anpassung im Rahmen der EU-Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Die Umsetzung der Richtlinie erfolgte in den EU-Mitgliedsländern auf nationaler Ebene in unterschiedlicher Art und Intensität durch jeweilige gesetzliche Verordnungen. In der in Österreich derzeit gültigen ÖNORM EN 590 / Ausgabe 05/14 wird ein so genannter „B7“- Diesel vorgeschrieben, das bedeutet Dieselkraftstoff mit maximal sieben Volumenprozent Biodiesel. „B“ steht für Bio und die beigefügte Zahl steht für den Biokraftstoffanteil in Volumenprozent. Auf den Fahrbetrieb hat die Verwendung von B7 keine Auswirkungen und es sind auch keine technischen Adaptierungsmaßnahmen am Fahrzeug notwendig. Herkömmliche Dieselfahrzeuge können uneingeschränkt mit diesem Kraftstoff betrieben werden.¹⁶⁰ Nach den Vorgaben der EU-Richtlinie 2009/28/EG soll die Beimischung der Biokraftstoffe die WTW-Treibhausgasemissionen reduzieren – bis 2016 um mindestens 35 Prozent, ab 2017 um 50 Prozent und ab 2018 um 60 Prozent. Die Werte in der folgenden Tabelle berücksichtigen die derzeitige Emissionsminderung von 35 Prozent.¹⁶¹

Mischung Dieselkraftstoff/Biodiesel	Dichte (d) kg/l	Energiefaktor				THG-Emissionsfaktor					
		Tank-to-Wheel (e _t)		Well-to-Wheel (e _w)		Tank-to-Wheel (g _t)			Well-to-Wheel (g _w)		
		MJ/kg	MJ/l	MJ/kg	MJ/l	g CO ₂ e/MJ	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/l	g CO ₂ e/MJ	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/l
1	0,832 58	43,1	35,9	51,6	43,0	73,7	3,17	2,64	89,96	3,88	3,23
2	0,833 16	43,0	35,8	51,9	43,2	73,0	3,14	2,62	89,67	3,86	3,21
3	0,833 74	42,9	35,8	52,1	43,5	72,3	3,11	2,59	89,38	3,84	3,20
4	0,834 32	42,9	35,8	52,4	43,7	71,6	3,07	2,56	89,09	3,82	3,19
5	0,834 90	42,8	35,7	52,7	44,0	71,0	3,04	2,54	88,80	3,80	3,17
6	0,835 48	42,7	35,7	53,0	44,2	70,3	3,00	2,51	88,50	3,78	3,16
7	0,836 06	42,7	35,7	53,2	44,5	69,6	2,97	2,48	88,21	3,76	3,15
8	0,836 64	42,6	35,7	53,5	44,8	68,9	2,94	2,46	87,92	3,75	3,13
9	0,837 22	42,5	35,6	53,8	45,0	68,2	2,90	2,43	87,62	3,73	3,12
10	0,837 80	42,5	35,6	54,0	45,3	67,5	2,87	2,40	87,33	3,71	3,11
15	0,840 70	42,1	35,4	55,4	46,6	64,0	2,70	2,27	85,85	3,62	3,04
20	0,843 60	41,8	35,3	56,7	47,9	60,5	2,53	2,14	84,35	3,53	2,98
50	0,861 00	39,9	34,4	64,6	55,6	38,9	1,55	1,34	75,11	3,00	2,58
85	0,881 30	37,7	33,3	73,3	64,6	12,0	0,45	0,40	63,67	2,40	2,12

Abbildung 19: EN 16258 – Mischungsfaktoren Dieselkraftstoff/Biokraftstoff¹⁶²

Wer in EU-Ländern Diesel tankt, erhält in der Regel und wenn keine speziellen Kennzeichnungen angegeben sind, B5-Diesel.¹⁶³ Demnach sind auch die Kennwerte des spezifischen Energieverbrauchs auf diesen Dieseltyp ausgelegt. Kommt es zu Abweichungen im Biokraftstoffanteil, müssen die Umrechnungsfaktoren an den Beimischungsanteil (siehe Abbildung 19) angepasst werden.¹⁶⁴

¹⁶⁰ vgl. <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Mineraloelindustrie/Merkblatt-Dieselmotoren-mit-Biokomponente.html> (gelesen am: 29.09.2016)

¹⁶¹ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.29

¹⁶² Abbildung entnommen aus: DIN, 2012, S.27

¹⁶³ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.97

¹⁶⁴ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.29

Spezielle Kraftstoffe – Strom

Für Strom empfiehlt die EN 16258, wenn möglich, vorgegebene Umrechnungskennzahlen des Lieferanten zu verwenden und nur wenn diese nicht verfügbar sind, auf Durchschnittswerte für das genutzte Netz oder das Land zurückzugreifen. Der Grund dafür ist, dass es im Allgemeinen sehr schwierig ist, die Herkunft und die Zusammensetzung unterschiedlicher Erzeugungsanlagen des verwendeten Stroms zu rekonstruieren, wenn gleich genau diese Information essentiell für eine genaue Bestimmung der Umrechnungsfaktoren ist. Die Umrechnungsfaktoren sind nämlich in erster Linie von der Art der Stromerzeugung abhängig. Zum Beispiel sind die Treibhausgasemissionen von Kohlestrom wesentlich höher als die von regenerativem Strom. Die Anwendung allgemeiner Durchschnittswerte führt also in der Regel zu ungenauen Ergebnissen. Aber auch wenn Kennwerte vom Lieferanten vorgegeben werden, ist Vorsicht geboten, es muss stets sichergestellt werden, dass der gesamte WTW-Emissionskreislauf berücksichtigt wird.¹⁶⁵

Temperaturgeführte Transporte

Es kommt nicht selten vor, dass Waren und Güter beim Transport eine gewisse Temperatur behalten müssen und dass dadurch ein zusätzlicher Energieverbrauch entsteht. Wie dieser zusätzliche Verbrauch gemessen werden kann, hängt vom Kühlsystem ab. Zum einen können Kühlaggregate über den Treibstofftank betrieben werden, dann ist der zusätzliche Energieverbrauch bereits im Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs enthalten und fließt direkt in die Treibhausgasberechnung mit ein. Wenn hingegen die Aggregate mit einer separaten Energiequelle versorgt werden, dann fließt der zusätzliche Verbrauch nicht direkt in die Treibhausgasberechnung mit ein. Betrachtet man den Einsatz von Kältemitteln näher, dann zeigt sich, dass zwar bei der Herstellung der Kältemittel ein Energieverbrauch entsteht, aber es im Kühlbetrieb zu keiner Energieumwandlung kommt und somit kein TTW-Energieverbrauch anfällt. Da nun der herstellungsbedingte Verbrauch im Vergleich zum transportbedingten Energieverbrauch vernachlässigbar ist, wird der Energieverbrauch von Kühlaggregaten mit separaten Energiequellen in der Bilanzierung nach der EN 16258 nicht extra berücksichtigt.

Auch die Verluste von Kältemitteln im Rahmen der standardisierten Bilanzierung nach EN werden nicht berücksichtigt. Kältemittelverluste sind Chemikalien, die durch Verluste und Leckagen in die Umwelt gelangen. Sollen sie aber dennoch berücksichtigt werden, was durchaus sinnvoll ist, da Kältemittel, wenn sie in die Atmosphäre gelangen stark klimawirksame Gase sind, dann müssen die Ergebnisse getrennt zu den nach EN 16258 ermittelten Emissionen ausgewiesen werden. Die

¹⁶⁵ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.30

hier vorgeschlagene Vorgehensweise richtet sich nach den Empfehlungen des Greenhouse Gas Protocol für den stationären Bereich. Nachdem die Nachfüllmenge der Kältemittel äquivalent zur Menge, die durch Verluste und Leckagen in die Umwelt gelangt ist, ist, wird diese Menge für die Berechnung der Treibhausgasemissionen eingesetzt. Der Betrag der Kältemittelverluste multipliziert mit dem TTW- oder dem WTW-Emissionsfaktor der Chemikalie führt zu den gewünschten Emissionswerten. Die Tabelle 5 zeigt die Emissionsfaktoren von geläufigen Kältemitteln.

Kältemittel	g_T	g_W
R22	1.810	1.886
R134A	1.430	1.533
R404A	3.922	4.025
R410A	2.088	2.177

Tabelle 5: EN 16258 – Treibhausgasemissionsfaktoren für ausgewählte Kältemittel¹⁶⁶

5.3.6 Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte der Norm EN 16258 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen“ werden an dieser Stelle zusammengefasst:

Die Anwendung der Norm erfolgt auf freiwilliger Basis und ist daher nicht verpflichtend. Der Gültigkeitsbereich der Norm erstreckt sich über alle Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs. Die Anwendung beruht auf dem Einsatz einheitlicher und vergleichbarer Kenngrößen für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen. Die Ergebnisse werden in standardisierten Einheiten angegeben und es werden jeweils direkte (TTW) und gesamte (WTW) Emissionen und Verbräuche betrachtet. Die Systemgrenzen inkludieren die Transporte von Subdienstleistern sowie deren dazugehörige indirekte Prozesse, exkludiert sind jedoch Umschlagprozesse, Bürobetriebe sowie Herstellung, Erhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastrukturen sowie Kältemittelverluste. Innerhalb der Systemgrenzen werden die Transportdienstleistungen zusätzlich in einzelne Teilstrecken unterteilt. Die Einteilung dieser Teilstrecken oder Legs erfolgt über die eingesetzten Fahrzeugeinsatzsysteme (VOS). Für die Erhebung des spezifischen Energieverbrauchs werden unterschiedliche Quellen eingesetzt: Zum einen können nach der verbrauchsbasierten Methode konkrete Messungen der betrachteten Transportdienstleistung (Fall 1), spezifische Werte des Transportdienstleisters (Fall 2) oder Flottenwerte des Transportdienstleisters (Fall 3) als Inputwerte festgelegt werden. Und zum anderen können Vorgabewerte (Fall 4) zu Hilfe gezogen werden, was der entfernungsbasierten Methode entspricht. Der nächste Schritt ist, den spezifischen Energieverbrauch mit Hilfe entsprechender Energieverbrauchsfaktoren zum standardisierten Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen umzuformen.

¹⁶⁶ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.31f

Ausgewählte Umwandlungsfaktoren und Quellen werden von der Norm vorgegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Endergebnisse in den richtigen Einheiten angegeben werden. Die Treibhausgasemissionen werden als Kilogramm CO₂e und der Energieverbrauch wird in Megajoule angegeben. In welcher Einheit der spezifische Energieverbrauch angegeben wird, zum Beispiel in Liter pro 100 Kilometer oder Liter pro Tonnenkilometer, wird nicht vorgegeben, die Auswahl soll allerdings begründet werden. Sollen der gesamte Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen auf eine einzelne Sendung oder ein einzelnes Gut heruntergebrochen werden, müssen Allokationsparameter festgelegt werden. Die Norm empfiehlt dafür die Tonnenkilometer als Parameter auszuwählen, aber andere physikalische Allokationsgrößen sind ebenfalls zulässig. Leerfahrten müssen generell und anteilig berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den Ergebnissen müssen auch die verwendeten Datenquellen publiziert werden und die methodische Vorgehensweise ist zu begründen, insbesondere wenn von den Vorgaben und Quellen der Norm abgesehen wird.¹⁶⁷

5.4 EcoTransIT World (ETW)

5.4.1 Einleitung

EcoTransIT World steht für „Ecological Transport Information Tool – worldwide“ (ins Deutsche übersetzt: „weltweites ökologisches Transport- und Informations-Werkzeug“) und ist ein von der EcoTransIT Initiative (EWI) erstelltes Berechnungswerkzeug. EWI ist eine unabhängige Plattform, die vor allem von Unternehmen im Güter- und Frachttransportsektor und im Besonderen von Logistikdienstleistern genutzt wird und die das Ziel verfolgt, ein international anerkanntes Werkzeug zu entwickeln, mit dem Umwelteinwirkungen und CO₂-Fußabdrücke im Transportsektor einheitlich berechnet werden können. Der erste Treibhausgasemissions-Rechner von EWI wurde im Jahr 2003 veröffentlicht. Damals war die Gültigkeit der Berechnungen noch auf regionale Bereiche in Europa reduziert. Im Jahr 2010 wurden die Methoden und Datenbanken für Vorgabewerte von EWI so verbessert, dass die Analysen seither internationale Gültigkeit haben und globale Frachttransportketten bewertet werden können. Die Methoden und Daten werden kontinuierlich auf deren Gültigkeit geprüft und gegebenenfalls aktualisiert. In diesem Sinn wurden auch im Jahr 2012 die Anforderungen der neuen Europäischen Norm EN 16258 berücksichtigt. Die Methodik der Vorgehensweise wurde so überarbeitet, dass die Berechnungen in Übereinstimmung mit der Norm erfolgen. Die Anwendung des Online-Berechnungstools ist grundsätzlich gebührenfrei, bei Bedarf bietet EWI aber auch ein kostenpflichtiges Service an, dessen Benutzeroberfläche individuell auf die Bedürfnisse des Kunden abgestimmt ist. ETW wird oft auch nur für

¹⁶⁷ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.26

die Bestimmung von Transportrouten und Entfernungen eingesetzt, denn nahezu jede Route für jeden Transportmodus – ob zu Land, zu Wasser oder in der Luft – kann mit diesem Tool bestimmt werden. Die Routenplanung aller Transportarten des Tools wurde in Zusammenarbeit mit der Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen (IVE) Hannover erarbeitet. Die Methodik, die Eingabe- und die Datenbankwerte werden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) Heidelberg und mit dem Unternehmen INFRAS Bern entwickelt und zur Verfügung gestellt. Diese beiden Partner stellen sicher, dass die Methoden und Daten von ETW stets, sowohl national als auch international, auf dem aktuellsten Stand sind. Eine weitere wichtige Quelle, auf die ETW zurückgreift, ist das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), das im Auftrag der Umweltbehörden aus Deutschland, Österreich und der Schweiz erstellt wurde und das alle drei bis sechs Jahre aktualisiert wird.¹⁶⁸ Das Ergebnis des Online-Berechnungstools sind standardisierte Werte für den Energieverbrauch in Megajoule und die Treibhausgasemissionen in Kilogramm CO₂e, diese werden sowohl für eine direkte (TTW) als auch für eine gesamte (WTW) Betrachtungsweise angegeben.

Die Zielgruppen für ETW sind:

- Moderne und zukunftsorientierte Unternehmen, die sich mit dem Thema Umweltschutz und Nachhaltigkeit im Transportwesen befassen und nach möglichen Optimierungen in diesem Bereich suchen.
- Transport- und Logistikdienstleister, die einerseits durch Kunden und andererseits durch Gesetze zunehmend mit neuen Anforderungen und Restriktionen im Bereich Umweltmanagement konfrontiert werden.
- Politische Entscheidungsträger, Konsumenten und nicht-staatliche Organisationen, die sich für einen sorgfältigen Vergleich der ökologischen Aspekte von unterschiedlichen Transportarten und Logistikkonzepten interessieren.

Die Online-Anwendung enthält zwei mögliche Vorgehensweisen, die sich im Grad der Genauigkeit der Berechnung unterscheiden. Zum einen kann der **Standard-Rechner**, der schnell zu einem groben überschlägigem Ergebnis führt, gewählt werden. Zum anderen kann die **erweiterte Methodik** eingesetzt werden, wo alle relevanten Parameter eines Transports im Detail eingestellt werden können. Zu diesen Parametern gehören zum Beispiel die speziellen Gegebenheiten einer Route, die Kapazitäten und Auslastungen der Transportmittel, der Leerfahrtanteil und Transportmittelspezifikationen. Je exakter der Benutzer die Eingabe an den tatsächlichen Transport anpasst, desto aussagekräftiger sind die Ergebnisse. Neben der Analyse bestehender Transportketten, gibt es zeitgleich die Möglichkeit den Transport mit alternativen Transportmitteln und Transportsystemen zu simulieren, um

¹⁶⁸ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.5ff

in der Folge die Ergebnisse zu vergleichen. Wenn Transportdienstleistungen nach ihren Auswirkungen auf die Umwelt optimiert werden sollen oder die Relation der Umweltfreundlichkeit unterschiedlicher Verkehrsmittel gefragt ist, eignet sich die Anwendung von ETW.¹⁶⁹

5.4.2 Anwendung des ETW-Online-Rechners¹⁷⁰

Das Online-Berechnungstool ETW ist ein leicht zu bedienendes Werkzeug, mit dem weltweit die Umweltauswirkungen von Transportdienstleistungen ermittelt werden können. Im Vordergrund dieses Instruments stehen die Gewährleistung einer einfachen Bedienung und schnelle standardisierte Ergebnisse. Die Bedienung des ETW-Online-Berechnungstools wird anhand folgender sechs Schritte beschrieben:

Im **ersten Schritt** wird der Eingabemodus für die eigentliche Berechnung festgelegt. Dabei stehen zwei verschiedene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung: für die schnelle Berechnung der **Standard-Modus** und für den Fall, dass die Transportkette genauer spezifiziert werden soll, der **Erweiterte-Modus**. Je nachdem für welchen Modus sich der Benutzer entscheidet, werden für die weiteren Angaben unterschiedlich detaillierte Benutzeroberflächen geladen.

Abbildung 20: ETW – Eingabemodus¹⁷¹

Im **zweiten Schritt** werden allgemeine Informationen über das transportierte Gut und die Fracht angegeben.

Abbildung 21: ETW – Berechnungsparameter im Standard-Modus¹⁷²

Das zu transportierende Gut wird spezifiziert, indem die **Anzahl** (Eingabewert) und die **Einheit** (Auswahlmöglichkeiten: Tonnen und TEU) des Gutes festgelegt werden. Der Eingabewert im „Anzahl“-Feld ist von der Auswahl im „Einheit“-Feld abhängig, entweder wird das Gewicht in Tonnen oder die Anzahl an Containern angegeben. Im

¹⁶⁹ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.6f

¹⁷⁰ vgl. <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁷¹ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁷² Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

Standard-Modus kann der Benutzer ausschließlich die Anzahl und die Einheit der Fracht festlegen.

Hingegen kann im Erweiterten-Modus zusätzlich der Frachtgut-**Typ** (Auswahlmöglichkeiten: Massengut, Durchschnittsgut und Volumengut), der **Umschlag** (Auswahlmöglichkeiten: kein Wechsel, Massengut, Flüssigkeiten und Andere) und die **Fährverbindungen** (Auswahlmöglichkeiten: bevorzugt, normal und vermeiden) definiert werden.

BERECHNUNGSPARAMETER				
Eingabemodus	<input type="text" value="Standard"/>			
Fracht	Anzahl	Einheit	Typ:	t/TEU
	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="Loses und Stückgut (Tonnen)"/>	<input type="text" value="Durchschnittsgut"/>	<input type="text" value="10"/>
	Umschlag definieren:			
	<input type="text" value="-"/>			
Fähre	Fährverbindung			
	<input type="text" value="normal"/>			

Abbildung 22: ETW – Berechnungsparameter im Erweiterten-Modus¹⁷³

Wird für einen Transport das „Umschlag“-Feld ausgewählt, dann wird für jeden Transportmittelwechsel jeweils ein entsprechender Emissionsanteil zusätzlich berechnet. In welchem Maß Fahren bei der Streckenauswahl berücksichtigt werden sollen, wird im „Fährverbindung“-Feld eingestellt.

Im **dritten Schritt** wird der Versandort oder Startpunkt des Transports bestimmt. Dabei wird zunächst der **Ortstyp** (Auswahlmöglichkeiten: Stadt/Stadtteil, Bahnhof, UN/LOCODE¹⁷⁴, IATA-CODE¹⁷⁵, Postleitzahl und Koordinaten) des Startpunktes bestimmt und dann wird der entsprechende Name oder die Ziffer in das dafür vorgesehene **Eingabefeld** eingegeben. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Modi (Standard- und Erweiterter-Modus) ist die Option „**Gleisanschluss verfügbar**“ im Erweiterten-Modus. Die Auswahl dieser Angabe bewirkt, dass schon der Vorlauf als Zugtransport bilanziert wird.

¹⁷³ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁷⁴ Der UN/LOCODE steht für United Nations Code for Trade and Transport Locations (ins Deutsche übersetzt: Orts-Code der Vereinten Nationen für Handel und Transport) und ist ein Code für geographische Orte. Der Code wurde der von der Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) entwickelt und wird von dieser auch aktualisiert.

¹⁷⁵ Der IATA-Code ist ein von der International Air Transport Association (IATA) vergebener Code mit drei Ziffern. Mit dem Code werden vor allem Flughäfen, Verkehrslandeplätze, Fluggesellschaften und Flugzeugtypen abgekürzt.

Abbildung 23: ETW – Versandort der Transportdienstleistung¹⁷⁶

Nachdem der Versandort der Route definiert wurde, wird im **vierten Schritt** die Transportkette, beziehungsweise mehrere Transportketten, festgelegt. Im Standard-Modus ist eine Einfach- oder Mehrfachauswahl der zu Verfügung stehenden **Transportarten** (Auswahlmöglichkeiten: LKW, Zug, Flugzeug, Seeschiff und Binnenschiff) möglich, wobei hier die Routenplanung und die Entscheidung, wann welches Transportmittel eingesetzt wird, automatisch von ETW übernommen wird.

Abbildung 24: ETW – Transportarten im Standard-Modus¹⁷⁷

Sollen technische und betriebliche Details des Transports vom Benutzer selbst bestimmt werden, dann wird auf den Erweiterten-Modus verwiesen. Je nachdem welcher **Verkehrstyp** (Auswahlmöglichkeiten: LKW, Zug, Flugzeug, Seeschiff und Binnenschiff) ausgewählt wird, können unterschiedliche Einstellungen getroffen werden. Diese werden nun vorgestellt:

LKW

Abbildung 25: ETW – Verkehrstyp LKW im Erweiterten-Modus¹⁷⁸

Wird der **Verkehrstyp** LKW ausgewählt, kann die **Fahrzeugklasse**, der **Emissionsstandard**, der **Beladungsgrad** und der **Leerfahrtenanteil** vom Benutzer festgelegt werden. Bei der Fahrzeugklasse werden die Fahrzeuge nach ihrem zulässigen Gesamtgewicht unterschieden und die Auswahlmöglichkeiten reichen dabei von kleiner als 3,5 Tonnen bis zu 60 Tonnen. Der Emissionsstandard gibt die vorausgesetzte Emissionsklasse an. Der Beladungsgrad beschreibt die durchschnittliche Beladung des Verkehrsträgers. Ein Beladungsgrad von 100 Prozent bedeutet, dass die maximale gewichtsmäßige Zuladung des Fahrzeugs erreicht ist. Bei LKW-Transporten haben Massengüter einen Beladungsgrad von 100

¹⁷⁶ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁷⁷ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁷⁸ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

Prozent, Durchschnittsgüter einen Beladungsgrad von 60 Prozent und Volumengüter einen Beladungsgrad von 30 Prozent. Der Leerfahrtenanteil gibt den zusätzlichen Anteil, den das verwendete Fahrzeug ohne Frachtgut im Verhältnis zur Transportentfernung fährt, an. Die Leerfahrtanteile werden nach Verkehrsträger und Transportgut unterschieden. Massengüter haben einen Anteil von 60 Prozent, Durchschnittsgüter einen Anteil von 20 Prozent und Volumengüter einen Anteil von 10 Prozent.

Zug

Abbildung 26: ETW – Verkehrstyp Zug im Erweiterten-Modus¹⁷⁹

Für den **Verkehrstyp** Zug erfolgt die Feinjustierung über die Angabe des **Zugtyps**, das **Zuggewicht**, den **Emissionsstandard**, den **Beladungsgrad** und den **Leerfahrtanteil**. Das Zuggewicht wird automatisch und in Abhängigkeit von der Auswahl des Zugtyps bestimmt. ETW fasst hierfür eine Auswahl die bedeutendsten standardisierten Zugtypen zusammen, dazu gehören unter anderem Leichte Züge, Durchschnittszüge, Lange Züge und Hochgeschwindigkeitszüge. Der Emissionsstandard gibt an, mit welcher Treibstoffart der Zug angetrieben wird. Während der Beladungsgrad von Zügen noch ident zu dem von LKW-Transporten ist, wird der Leerfahrtanteil bei Zügen anders als bei LKW-Transporten aufgeschlüsselt. Im Schienenverkehr haben Massengüter einen Leerfahrtanteil von 80 Prozent, Durchschnittsgüter einen Anteil von 50 Prozent und Volumengüter einen Anteil von 20 Prozent.

Flugzeug

Abbildung 27: ETW – Verkehrstyp Flugzeug im Erweiterten-Modus¹⁸⁰

Wird der **Verkehrstyp** Flugzeug ausgewählt, kann der Benutzer Angaben zu **Belly-Fracht**, **Passagieranteil**, **Flugzeugtyp**, **Beladungsgrad** und **RFI-Faktor** eingeben. Wenn keine reinen Frachttransporte, sondern mit Passagieren gemischte Transporte,

¹⁷⁹ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁸⁰ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

sogenannte Belly-Transporte, durchgeführt werden, dann kann der Passagieranteil, das heißt der Prozentsatz an Passagieren im Flugzeug, angegeben werden. Der Flugzeugtyp und der Beladungsgrad werden automatisch und abhängig von der eingegebenen Route ausgewählt, die Angaben können jedoch vom Benutzer geändert werden. Wird der RFI-Faktor¹⁸¹ ausgewählt, werden die Emissionen, die direkt in höheren Luftschichten anfallen, mit einem Aufschlag berechnet.

Seeschiff

Abbildung 28: ETW – Verkehrstyp Seeschiff im Erweiterten-Modus¹⁸²

Für den **Verkehrstyp** Seeschiff können Detailangaben für die **Schiffsklasse**, den **Schiffstyp**, die **Geschwindigkeitsreduktion** und den **Beladungsgrad** gesetzt werden. Grundsätzlich ist die Schiffsklasse abhängig von der Art des Transportguts, daher können folgende Möglichkeiten ausgewählt werden: Trockengut, flüssiges Gut, aggregiertes Stückgut. Für die Standardschiffsklasse wird in der Regel das aggregierte Stückgut ausgewählt. Aggregiert beschreibt eine Mischform aus Schiffsklassen für verschiedene Gutarten. Der Schiffstyp wird zunächst automatisch in Abhängigkeit der Route ausgewählt, kann aber nachträglich vom Benutzer geändert werden. Die Schiffstypen sind hauptsächlich Containerschiffe, Massengutfrachter und Fähren. Für jeden Schiffstyp wird automatisch der Beladungsgrad vorgegeben, dieser kann ebenfalls manuell geändert werden. Eine prozentuale Geschwindigkeitsreduktion führt zu Einsparungen im Energieverbrauch und bei Emissionen. Eine Null-prozentige Geschwindigkeitsreduktion bedeutet eine Fahrt bei maximaler Leistung. Wie beim Beladungsgrad kann der Benutzer auch diesen Wert individuell an länder- und routentypische Parameter anpassen.

Binnenschiff

Abbildung 29: ETW – Verkehrstyp Binnenschiff im Erweiterten-Modus¹⁸³

¹⁸¹ Der RFI-Faktor wird im Kapitel 5.4.3 (siehe S.69ff) im Detail erklärt.

¹⁸² Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁸³ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

Die Eingabefelder für Seeschiff- und **Binnenschifftransporte** unterscheiden sich nur geringfügig. Zum einen werden beim **Verkehrstyp** Binnenschiff keine Angaben über Geschwindigkeitsreduktionen gemacht und zum anderen wird anstatt der Schiffsklasse der **Emissionsstandard** angegeben. Der **Schiffstyp** von Binnenschiffen unterscheidet einerseits zwischen Containerschiffen und Massengut-/Tankschiffen und andererseits werden die Schiffe in Größenklassen, abhängig von den Kanälen die sie befahren können, eingeteilt.

VIA

Abbildung 30: ETW – Eingabe des exakten Routenverlaufs im Erweiterten-Modus¹⁸⁴

Bei allen Verkehrstypen (LKW, Zug, Flugzeug, Seeschiff und Binnenschiff) kann im Erweiterten-Modus unter dem Punkt „VIA“ zusätzlich die exakte Streckenführung der Route sowie wechselnde Verkehrsträger, was zu sogenannten kombinierten Transporten führt, individuell gestaltet werden.

Im **fünften Schritt** wird der Empfangsort (Zielpunkt) des Transports bestimmt. Äquivalent zum dritten Schritt wird zunächst der **Ortstyp** (Auswahlmöglichkeiten: Stadt/Stadtteil, Bahnhof, UN/LOCODE, IATA-CODE, Postleitzahl und Koordinaten) festgelegt. Weiters wird im dafür vorgesehenen **Eingabefeld** der entsprechende Name oder Ziffer eingegeben. Im Erweiterten-Modus gibt es wieder die Möglichkeit der Angabe eines **Gleisanschlusses**.

Abbildung 31: ETW – Empfangsort der Transportdienstleistung¹⁸⁵

¹⁸⁴ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁸⁵ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

Wenn alle für die Berechnung notwendigen Parameter und Größen vollständig eingegeben wurden, wird die Bilanzierung durch Betätigung des „**Berechnen**“-Feldes gestartet.

Die beiden folgenden Abbildungen fassen einerseits den **dritten**, **vierten** und **fünften** Schritt grafisch zusammen und andererseits werden die Unterschiede der Benutzeroberflächen des Standard- und des Erweiterten-Modus aufgezeigt.

Abbildung 32: ETW – Benutzeroberfläche im Standard-Modus (Schritte 3-5)¹⁸⁶

Abbildung 33: ETW – Benutzeroberfläche im Erweiterten-Modus (Schritte 3-5)¹⁸⁷

Im **sechsten Schritt** werden schlussendlich die Ergebnisse der Berechnungen präsentiert. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt dabei aufgeteilt auf vier Reitern: **EN 16258**, **Graphen**, **Tabelle** und **Entfernungen**. Zusätzlich kann die **Energieeinheit**, in der die Werte angegeben werden sollen und ob das **Well-to-Tank/Tank-to-Wheel-Verhältnis** angezeigt werden soll, ausgewählt werden. Außerdem ist es möglich, die Ergebnisse als PDF- oder Excel-Datei herunterzuladen.

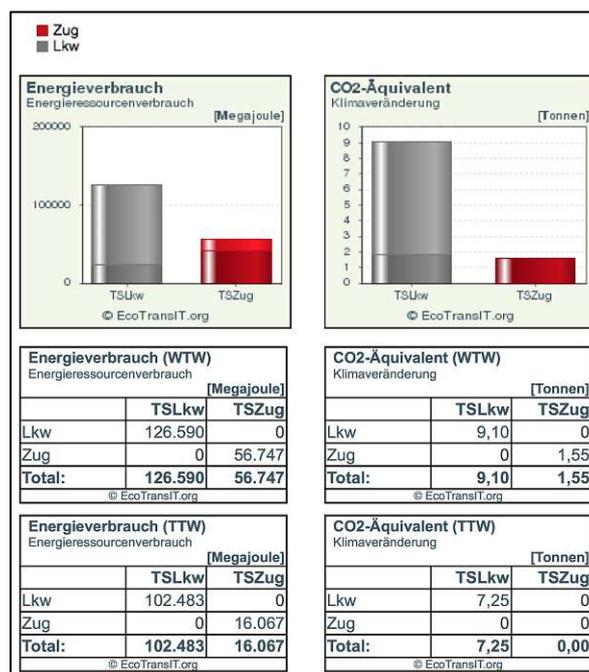
¹⁸⁶ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁸⁷ Abbildung entnommen aus: ebenda (gelesen am: 07.12.2016)

Abbildung 34: ETW – Bilanzierungsergebnis der Transportdienstleistung¹⁸⁸

EN 16258

Im Reiter EN 16258 werden ausschließlich jene Werte angeführt, die auch dem Endergebnis der EN entsprechen (siehe Kapitel 5.3.4, S.48ff). Das Ergebnis wird in Form von Balkendiagrammen und Tabellen dargestellt. Dazu gehören jeweils der WTW- und TTW-Energieverbrauch und die WTW- und TTW-CO₂e-Emissionen.

Abbildung 35: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: EN 16258)¹⁸⁹

¹⁸⁸ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

¹⁸⁹ Abbildung entnommen aus <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (gelesen am: 07.12.2016). Es wurde eine Beispieltransportdienstleistung mit folgenden Angaben berechnet: Standard-Modus, von Wien nach Paris, Transportarten: LKW und Zug, Fracht: 100t.

Graphen

Im Reiter Graphen werden ausschließlich Balkendiagramme angeführt. An dieser Stelle gehen die Ergebnisse über die Anforderungen der EN hinaus und es werden zusätzlich zum Energieverbrauch und der CO₂e-Emissionen auch Werte für Kohlendioxid-, Stickoxid-, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoff-, Schwefeloxid- und Feinstaubemissionen sowie für zurückgelegte Entfernungen angegeben.

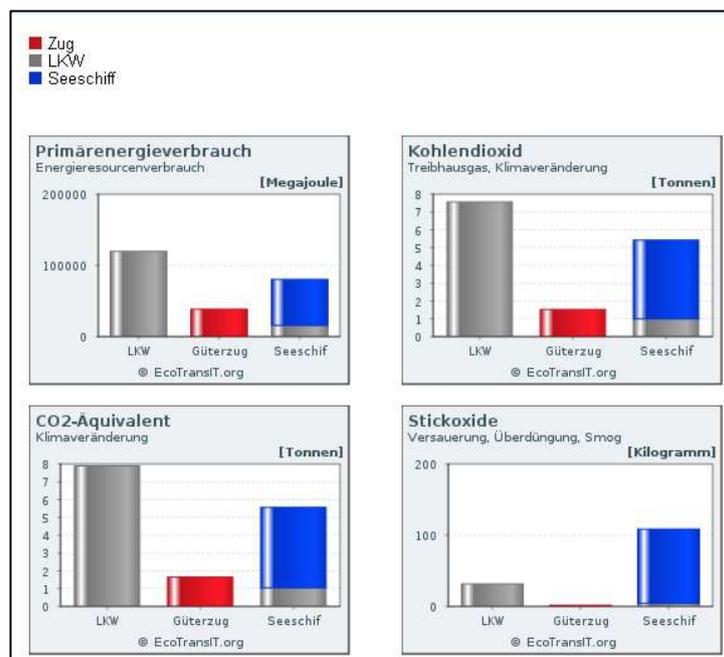


Abbildung 36: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Graphen)¹⁹⁰

Tabelle

Im Reiter Tabelle werden die gleichen Werte wie im Reiter Graphik angezeigt, nur werden sie hier, anstatt in Balkendiagrammen, in Tabellen angeführt.

Entfernungen

Die letzte Anzeigeoption, Entfernungen, gibt die jeweilige Länge der einzelnen Streckenabschnitte, die mit verschiedenen Verkehrsträgern zurückgelegt werden, an. Außerdem kann der Verlauf der Route in Google Maps angezeigt oder auch als Google Earth Route exportiert werden. In den folgenden Abbildungen werden die Benutzeroberfläche und die Aufbereitung der Ergebnisse dieses Reiters präsentiert.

¹⁹⁰ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/example.de.html> (gelesen am: 07.12.2016)

Alle Transportdienstleistungen in Karte anzeigen			
Transportdienstleistung Road			
Entfernung [km]	Verkehrsträger	Versandort	Empfangsort
1.233,20	Lkw	[Stadt/Stadtteil] [at] Wien	[Stadt/Stadtteil] [fr] Paris
Zusammenfassung: 1.233,20 km			
Export als KML-Datei (Google Earth)			
In Karte anzeigen			
Länderspezifische Distanzen in [km]			
Austria: 258,76			
Germany: 587,20			
France: 387,23			
Transportdienstleistung Rail			
Entfernung [km]	Verkehrsträger	Versandort	Empfangsort
1.356,99	Zug [Elektro]	[Stadt/Stadtteil] [at] Wien	[Stadt/Stadtteil] [fr] Paris
Zusammenfassung: 1.356,99 km			
Export als KML-Datei (Google Earth)			
In Karte anzeigen			
Länderspezifische Distanzen in [km]			
Austria: 299,65			
Germany: 536,63			
France: 520,71			

Abbildung 37: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Entfernung)¹⁹¹Abbildung 38: ETW – Google Maps Auszug eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Entfernung)¹⁹²

¹⁹¹ Abbildung entnommen aus <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (gelesen am: 07.12.2016). Es wurde eine Beispieltransportdienstleistung mit folgenden Angaben berechnet: Standard-Modus, von Wien nach Paris, Transportarten: LKW und Zug, Fracht: 100t.

¹⁹² Abbildung entnommen aus <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (gelesen am: 07.12.2016). Es wurde eine Beispieltransportdienstleistung mit folgenden Angaben berechnet: Standard-Modus, von Wien nach Paris, Transportarten: LKW und Zug, Fracht: 100t.

ETW ist nicht nur ein sehr gutes Werkzeug zur Berechnung von CO₂e-Emissionen und Energieverbräuchen, sondern ist unter anderem auch für seine ausgereifte Methodik beim Erstellen von Transportrouten und Erheben von Entfernungen bekannt. Die Expertise liegt dabei vor allem im europäischen Eisenbahnnetzwerk und im Wasserstraßennetz. Zum Beispiel unterscheidet ETW im Schienengüterverkehr, welche Strecken mit Elektrotraktion und welche, mangels Elektrifizierung, mit Dieseltraktion zurückgelegt werden müssen.

5.4.3 Unterschiede zwischen ETW und EN 16258

Seitdem die Methodik, Vorgehensweise, Systemgrenzen und Datenbankwerte von ETW an die Vorgaben der EN 16258 angepasst wurden und nachdem der Rechner keine Messwerte des Kraftstoffverbrauchs berücksichtigt, kann ETW als gleichwertiges Pendant zu der entfernungsbasierten Methode der EN angesehen werden. Somit entsprechen die Ergebnisse von ETW den Auflagen der Norm und sind normkonform. Dennoch gibt es gewisse Unterschiede zwischen den beiden Verfahren. Die Wichtigsten werden in der Folge aufgezeigt:

Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen werden sowohl im Zuge der Norm als auch bei ETW ermittelt. Im Gegensatz zur Norm werden bei ETW aber zusätzlich auch die **Emissionswerte einzelner Komponenten der CO₂e** berechnet und angegeben. Kohlendioxide, Stickoxide, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe, Schwefeloxide und Feinstaub sind die wichtigsten Luftschadstoffemissionen, die von ETW berechnet und angegeben werden.

ETW verwendet für die **Allokation** ausschließlich die Einheiten Tonnenkilometer und TEU, während im Rahmen der Norm auch andere physikalische Größen zulässig sind. Wenngleich die Allokationsmethoden von ETW nicht so vielfältig sind, stimmen sie dennoch mit der Norm überein.

Wiederum bei der **Definition der Randbedingungen** bezüglich Verkehrsmitteltyp, Fahrzeugklasse, Schadstoffklasse, Beladungsgrad und Leerfahrtenanteil bietet ETW den Benutzern mehr Freiheiten als die EN an. Allerdings sei angemerkt, dass der Benutzer keinen Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren und somit den Treibstoffverbrauch nehmen kann. Zusätzlich zum Online-Rechner bietet ETW aber auch eine kostenpflichtige und individuell angepasste Benutzeroberfläche zur Berechnung an. In diesem Fall können die von ETW verwendeten Energieverbrauchsfaktoren, nach wissenschaftlicher Evaluierung und in Übereinstimmung mit der Norm, durch eigene Unternehmenswerte ersetzt werden.¹⁹³

Während die EN aktuell beim Gütertransport auf der Straße die **Schadstoffklassen** der Verkehrsmittel nicht berücksichtigt und somit die Default-Werte nicht nach

¹⁹³ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.5ff

technischen Abgasstandards oder Fahrzeualter unterscheidet, kann bei der Anwendung von ETW die Schadstoffklasse frei ausgewählt werden.¹⁹⁴ Die vorgeschlagenen Klassen sind unter anderem vom Einsatzgebiet abhängig, Zum Beispiel gelten für Europa die Euroklassen (EURO I bis VI), für USA die EPA-Klassen (EPA 1994 bis 2010) und für Japan die JP-Klassen (JP 1994 bis 2009). Auch wenn in den vergangenen Jahren die Abgasemissionen im Güterverkehr auf der Straße drastisch reduziert wurden, haben sich die Reduktionsmaßnahmen, seit der Einführung von EURO III, kaum auf den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch ausgewirkt. Grund dafür ist, dass sich die Optimierungen und Reduktionen der einzelnen Schadstoffklassen größtenteils auf jene Bereiche, die keine oder nur geringe Auswirkungen auf die CO₂e-Treibhausgase haben, konzentriert haben.¹⁹⁵ Im Vordergrund der Schadstoffklassen steht vor allem die Reduktion von Kohlenmonoxid- (CO), Kohlenwasserstoff- (HC), Stickstoffoxid- (NO_x) und Partikel- (PM) Emissionen. Zum Beispiel konnten im Rahmen der EURO VI-Schadstoffklassen mit Hilfe von Abgasnachbehandlungssystemen – durch selektive katalytische Reduktion (SCR) Katalysatoren – die NO_x-Emissionen massiv reduziert werden.¹⁹⁶ Obwohl die Schadstoffklassen von der Norm vernachlässigt werden, fallen die Ungleichheiten zu ETW kaum ins Gewicht und so liefern beide Systeme annähernd idente Endergebnisse. Davon ausgenommen sind jedoch sehr alte und kaum noch eingesetzte Transportmittel der Emissionsklasse EURO I und II, wo es durchaus zu einem divergierenden Kraftstoffverbrauch kommt.¹⁹⁷

Beim Gütertransport zu Wasser spielt die **Geschwindigkeit des Schiffes** für die Berechnung des Energieverbrauchs eine entscheidende Rolle. Sogar soweit, dass sich ab einer gewissen Schiffsgröße der Energieverbrauch exponentiell zu jedem zusätzlichen Knoten Geschwindigkeit erhöht. Beispielsweise kann der tägliche Schwerölverbrauch eines großen Containerschiffs bei einer Geschwindigkeitsreduzierung von 25 auf 20 Knoten um über 30 Prozent reduziert werden. Und dabei ist die zusätzliche Zeit, die das langsamere Schiff länger unterwegs ist, mit einkalkuliert. Während die Norm für die Geschwindigkeit Durchschnittswerte annimmt, kann der Benutzer im ETW-Online-Rechner den Grad der Geschwindigkeitsreduktion angeben. Eine Geschwindigkeitsreduktion von Null Prozent bedeutet eine Fahrt bei maximaler Leistung.¹⁹⁸

Die exakte Berechnung des **Klimaeffekts von Lufttransporten** stellt sich als äußerst komplizierte Angelegenheit heraus und ist aus heutiger Sicht kaum möglich. Wissenschaftler machen dafür zwei Effekte, die noch wenig erforscht sind,

¹⁹⁴ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.53

¹⁹⁵ vgl. ebenda, S.45

¹⁹⁶ vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/fahrzeugtechnik/lkw/> (gelesen am: 11.11.2016)

¹⁹⁷ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.45

¹⁹⁸ vgl. Kranke, 2011a, S.43

verantwortlich. Zum einen, dass der GWP-Faktor von Stickoxiden von der Flughöhe abhängig ist, wodurch der Triebwerksausstoß von Stickoxiden, je nach Luftschichthöhe, zu einem deutlich größeren Treibhauseffekt führt als zunächst angenommen. Und zum anderen, dass ab einer Flughöhe von rund 9.000 Metern der so genannte Zirruseffekt auftritt. Darunter versteht man feine Wasserteilchen, die durch den Strahlenantrieb eines Lufttransportmittels erzeugt werden und in Summe wie ein Kondensstreifen wirken, was zu einem besonders negativen Klimaeffekt führt.

Der Faktor, der die zusätzlichen Auswirkungen dieser beiden Effekte angibt, wird international auch als Radiative Forcing Index (RFI) bezeichnet. In der Regel liegt dieser Faktor in einem Bereich zwischen 1,2 und 5,0. Allerdings ist sich die Wissenschaftsgemeinde noch uneinig, wie dieser RFI genau quantifiziert und bemessen werden soll. So kommt es, dass unterschiedliche Rechner unterschiedliche Werte für RFI annehmen. EWI hat sich bei einer Flughöhe von 9.000 Metern für einen dreifachen RFI-Faktor entschieden. Grundsätzlich gilt für Lufttransporte: Je länger die Flugstrecke, desto höher ist die durchschnittliche Flughöhe und somit desto höher der RFI-Faktor. Grund dafür ist die Strecke, die ein Flugzeug benötigt, um eine entsprechende Flughöhe, zum Beispiel jene von 9.000 Metern, zu erreichen. Bei Flugstrecken bis zu 500 Kilometern verwendet das Berechnungstool EWI einen RFI-Wert von Eins und berechnet somit keinen zusätzlichen Treibhauseffekt. Alternativ gibt das Magazin VerkehrsRUNDschau folgende Beispiele für den RFI-Faktor an:

Flugdistanz in km	RFI-Faktor
500	1,00
1.000	2,18
2.000	2,52
10.000	2,87

Tabelle 6: RFI-Faktor für ausgewählte Flugdistanzen

Da diese Werte auf Schätzungen basieren und mit hohen Unsicherheiten verbunden sind, lehnen die meisten Berechnungsmethoden die Anwendung des RFI-Faktors ab, dazu zählt unter anderem auch die EN. Um Ergebnisse zu liefern, die mit der Norm übereinstimmen, ist die Berücksichtigung des RFI-Wertes beim Rechner von EWI optional. Da der RFI-Faktor die CO₂-Kalkulation maßgeblich beeinflusst, muss jeweils deklariert werden, ob dieser Faktor einbezogen wurde und welche Werte für diesen angenommen wurden.¹⁹⁹

Im Luftverkehr wird für die **Flugentfernung** die Großkreisentfernung, die ungefähr der kürzesten Verbindung zwischen zwei Punkten plus einem prozentuellem Aufschlag entspricht und ein zusätzlicher Kilometeraufschlag gewählt. Die Norm berücksichtigt diese zusätzlichen Kilometer mit einem pauschalen Zuschlag von 95 km für jeden Flug. Hier unterscheidet sich die Herangehensweise des ETW-

¹⁹⁹ vgl. Kranke, 2011b, S.32f

Rechners: Der Rechner unterscheidet zwischen Flugstrecken, die kürzer als 185 Kilometer sind, wo ein Zuschlag von 60 Kilometern dazugerechnet wird und Distanzen, die darüber liegen, wo zusätzlich zu den pauschalen 60 Kilometern ein weiterer Zuschlag von vier Prozent der Großkreisentfernung dazukommt.²⁰⁰

Gütertransporte auf Schiene können grundsätzlich entweder mit Diesel oder mit Strom angetrieben werden, der Großteil der Güterzüge wird jedoch elektronisch angetrieben. Da der Verbrauch von Strom zu keinen direkten Emissionen (TTW) führt, bestehen bei dieser Art von Energieverbrauch die gesamten Treibhausgasemissionen (WTW) rein aus indirekten Emissionen. Die Bestimmung der Umrechnungsfaktoren für Strom ist eine komplexe Angelegenheit, bei der viele Details beachtet werden müssen. Aus diesem Grund enthält die Norm keine konkreten Umrechnungsfaktoren, um den standardisierten Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu berechnen. Sie gibt lediglich an, wie die Umrechnungsfaktoren bestimmt werden können, damit diese den Voraussetzungen der Norm entsprechen (siehe Kapitel 5.3.5). EWI hat hingegen, in Abstimmung mit den Vorgaben der Norm, Durchschnittswerte für die Umrechnungsfaktoren ausgearbeitet und setzt diese für die Berechnung von Transporten mit Elektrotraktion ein.

5.5 Alternative Berechnungsmethoden

Grundsätzlich sind Datenquellen und Vorgehensweise der Emissionsberechnungen dieser Arbeit auf die Vorgaben der EN 16258 und des ETW Online-Tools zurückzuführen. In diesem Unterpunkt werden jedoch drei alternative Systeme zur Berechnung der Treibhausgasemissionen von Transporten beschrieben. Anhand der jeweiligen Vor- und Nachteile wird sich zeigen, warum letztendlich die Entscheidung für den Einsatz der EN 16258 und des ETW Online-Tools gefallen ist.

PTV Map&Guide

Die PTV (kurz für Planung, Transport und Verkehr) Group ist ein deutsches Unternehmen, das für die Bereiche Transportrouten, Vertriebsstrukturen, Individualverkehr und öffentlichen Verkehr Softwarelösungen, Beratung und Forschung anbietet. Zu dessen wichtigsten Produkten zählen die Verkehrsplanungssoftware „PTV Vision“ und die Routenplanungssoftware „PTV Map&Guide“ (Map&Guide).²⁰¹ Die Routenplanungssoftware bietet eine effiziente Lösung für die Routenberechnung im LKW-Gütertransport, vor allem wenn es darum geht Strecke, Kosten und Zeit im Blick zu haben. Die Besonderheit dieser Software ist, dass sämtliche Daten, die für die wirtschaftliche Planung eines Transports relevant sind, wie zum Beispiel LKW- und Gefahrgutbeschränkungen, individuelle

²⁰⁰ vgl. Kranke, 2011b, S.35

²⁰¹ vgl. <http://company.ptvgroup.com/de/ptv-group/> (gelesen am: 06.11.2016)

Fahrzeugprofile sowie Transport- und Mautkosten, automatisch berücksichtigt werden. Zu den Funktionen und Vorteilen, die dazu führen, dass Umwege, Zeit und Kosten eingespart werden können, zählen: Kostenersparnis durch gewinnmaximierende Routenplanung, präzise Kalkulation der Transportkosten, optimierte Reihenfolgenoptimierung der Routenplanung, übersichtliche Kundendatenbank und Emissionsberechnung der Transportdienstleistung.²⁰² Map&Guide misst automatisch bei der Routenberechnung die verursachten Emissionen und erfüllt somit schon in der Planungsphase die Nachfrage der grünen Logistik. Die Software ermittelt abhängig von Fahrzeugkonfiguration, Leergewicht und Nutzlast, sowie der Straßen- und Verkehrssituation alle relevanten Emissionen und erstellt einen detaillierten Emissionsreport. Die Berechnungen erfolgen auf Basis des französischen Dekrets 2011-1336 und der EN 16258 zur Berechnung von Energieverbrauch und Transportdienstleistungen.²⁰³

Nachdem die Software Map&Guide bereits von MPT für die Routenplanung eingesetzt wird, das Unternehmen somit mit der Anwendung vertraut ist und die Anschaffungskosten wegfallen, bietet sich Map&Guide grundsätzlich für die Emissionsberechnung der Materiallieferungen von MPT an. Außerdem berücksichtigt Map&Guide stets die aktuellen gesetzlichen Vorgaben, wodurch die Berechnung dieses Programms mit der EN abgestimmte Ergebnisse liefert. Warum Map&Guide dennoch nicht als tragende Berechnungsmethode dieser Arbeit ausgewählt wurde, wird damit begründet, dass die Software nur für LKW-Transporte und nur für europäische Straßennetze gültig ist. Da die Ergebnisse der Emissionsberechnung von Map&Guide und die von dem im Zuge dieser Arbeit ausgewählten und erstellten Treibhausgas-Rechner (siehe Kapitel 6.3, S.90) in guter Näherung liegen, kann die Software von PTV durchaus fallweise für die Emissionsberechnung einzelner europäischer LKW-Transporte eingesetzt werden. Da die Transporte im Fall von MPT weltweit und nicht ausschließlich mit LKWs erfolgen, wird MPT nicht empfohlen Map&Guide als Standard-Emissionsrechner einzusetzen.²⁰⁴

²⁰² vgl. <https://www.mapandguide.com/de/lkw-funktionen/> (gelesen am 06.11.2016)

²⁰³ vgl. <https://www.mapandguide.com/de/lkw-funktionen/emissionsberechnung/> (gelesen am: 06.11.2016)

²⁰⁴ vgl. https://www.mapandguide.com/fileadmin/files_mapandguide/Local/DE/Pictures/2_Teaser/PTV_MapGuide_10Gruende.pdf (gelesen am: 06.11.2016)

Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

HBEFA wurde vom österreichischen Umweltbundesamt in Kooperation mit Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden im Jahr 1997 entwickelt. Seither werden in regelmäßigen Abständen überarbeitete Versionen veröffentlicht. HBEFA ist eine umfangreiche Datenbank, die zu den Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs so genannte Kraftfahrzeug-Emissionsfaktoren für die wichtigsten Treibhausgase und für den Kraftstoffverbrauch zusammenstellt. Zum einen kann zwischen den unterschiedlichen Anteilen von Güter- und Personenverkehr an den Schadstoffemissionen differenziert werden und zum anderen werden die Daten nach zahlreichen technischen und verkehrsabhängigen Parametern gegliedert. Zu diesen gehören: Fahrzeugart, Abgasreinigung, Antriebsart und Verkehrssituationen.²⁰⁵ HBEFA ist allerdings nicht nur eine Datenbank, sondern ermöglicht auch die Berechnung der Treibhausgas- und Schadstoffbelastungen des Straßenverkehrs. Das aktuelle Computermodell (Version 3.2 aus dem Jahr 2014) dient der raschen und einfachen Ermittlung der Kraftfahrzeug-Emissionsfaktoren. Dieser Rechner zeichnet sich vor allem durch seine breiten Einsatzmöglichkeiten aus. Der Anwendungsbereich geht von der Berechnung der Emissionen bei kleinräumigen Planungen über die Bestimmung der Emissionen bei Umweltverträglichkeitsprüfungen bis zur Erstellung der österreichischen Treibhausgas-Inventur. Über die Eingabemaske von HBEFA kann der Benutzer unterschiedliche Parameter festlegen, wodurch er eine Liste an gewünschten Emissionsfaktoren erhält. Zu den Parametern, die eingestellt werden können, gehören: die Fahrzeugkategorie, die zu berechnenden Schadstoffe sowie der Kraftstoffverbrauch, die Verkehrssituation und das Bezugsjahr. Es werden sowohl die Emissionsfaktoren für den Fahrbetrieb, als auch jene für den Kaltstart berechnet. Die Transportemissionen berechnen sich dann aus den Emissionsfaktoren multipliziert mit der Fahrleistung, beziehungsweise der Anzahl der Kaltstarts. Umfangreiche Untersuchungen und Messungen der vergangenen Jahre führen dazu, dass die Emissionsfaktoren das Abgasverhalten der realen Fahrsituationen wiedergeben. Somit werden jene Treibhausgase berechnet, die auch tatsächlich während des Fahrbetriebes ausgestoßen werden. Von besonderer Bedeutung ist, dass vor allem die Untersuchungen der letzten Jahre immer wieder gezeigt haben, dass die Emissionen in realen Fahrsituationen deutlich höher sein können, als es die Grenzwertgesetzgebung vermuten lässt.

In Summe liefert das Handbuch für über 100 unterschiedliche Verkehrssituationen Faktoren zu den Treibhausgasemissionen. Dies ist einerseits ein erheblicher Vorteil gegenüber anderen Modellen, aber auf der anderen Seite entspricht dies nicht den Anforderungen dieser Arbeit. Weiters ist dieser Rechner nur für österreichische und

²⁰⁵ vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten> (gelesen am: 06.11.2016)

europäische Straßentransporte ausgelegt und die Anschaffung des Berechnungstools ist kostenpflichtig. Aus diesen Gründen nimmt der Rechner von HBEFA keinen direkten Einfluss auf diese Arbeit, indirekt beziehen sich allerdings die Umrechnungsfaktoren der EN 16258 und von ETW teilweise auf die Datenbank von HBEFA.²⁰⁶

Transport Emission Model (TREMODO)

Das Transport Emission Model (TREMODO) ist ein Modell zur Berechnung der durch den Verkehr in Deutschland verursachten Emissionen. Im Jahr 1993 wurde das Modell vom Umweltbundesamt erstmals angeregt, um die Ermittlung und Aufbereitung von Informationen aus dem Verkehrsbereich zu fördern. In der Folge wurde das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu) mit der wissenschaftlichen Betreuung beauftragt. TREMOD ist eine der wichtigsten Datenbanken für den Vergleich der Gesamt- und Durchschnittsemissionen der deutschen Verkehrsträger. Aufgrund der Komplexität und des Umfanges ist das Rechentool TREMOD für die Öffentlichkeit nicht zugänglich. Zu den Institutionen, die das Modell nutzen sowie finanziell und ideell unterstützen, gehören: Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Straßenwesen, verschiedene Bundesministerien, Verband der Automobilindustrie, Mineralölwirtschaftsverband, Deutsche Bahn AG, Deutsche Lufthansa und TUI.²⁰⁷ TREMOD ist also ein häufig genutztes Expertenmodell, das zur Berechnung der Treibhausgasemissionen für den motorisierten Verkehr in Deutschland und zur Ausarbeitung von Trend- und Szenario-Rechnungen für den Zeitraum von 1960 bis 2030 eingesetzt wird.

In Summe können mit diesem Modell alle Personen- und Güterverkehrsarten, die in Deutschland betrieben werden, erfasst werden, wodurch eine Datenansammlung, die von der Fahrleistung, der Auslastung und dem Verkehr bis zu den spezifischen Energieverbräuchen und den Emissionsfaktoren reicht, entsteht.²⁰⁸ Da dieses Berechnungsmodell einerseits den Fokus auf eine sehr detaillierte Berechnung für einen begrenzten Raum legt und andererseits nicht für die Öffentlichkeit zugänglich ist, wird in dieser Arbeit ebenfalls nicht direkt auf die Angaben und Vorgaben von TREMOD eingegangen. Indirekt kommt TREMOD zum Einsatz, indem die EN 16258 teilweise auf die Datenbank des Modells zugreift.

²⁰⁶ vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/en/hbefa/> (gelesen am: 06.11.2016)

²⁰⁷ vgl. http://www.verkehrsrundschau.de/tremod-981251-vkr_lexikon.html (gelesen am: 06.11.2016)

²⁰⁸ vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten> (gelesen am: 06.11.2016)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



6 Treibhausgasemissionen ermitteln am Beispiel MPT (Praxis)

In diesem Kapitel werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der praktischen Arbeit beschrieben.

6.1 Tatsächliche Vorgehensweise bei der Berechnung

Im Kapitel 5.3.3 wurde im Detail beschrieben, wie anhand von zwei unterschiedlichen Methoden – die verbrauchsbasierte Methode und die entfernungsbasierte Methode – zunächst der spezifische Energieverbrauch und anschließend der standardisierte Energieverbrauch sowie die emittierten Treibhausgase bestimmt werden können. Da MPT weder selbst den Kraftstoffverbrauch misst, noch von den beauftragten Transportunternehmen Verbrauchswerte erhält, kann die verbrauchsbasierte Methode nicht angewendet werden. Der Weg zur Berechnung der Treibhausgasemissionen und dem standardisierten Energieverbrauch führt also über die **entfernungsbasierte Methode** der EN 16258. Wie die drei beschriebenen Schritte der Klimabilanzierung im praktischen Anwendungsfall der Materialbeschaffungstransporte von MPT ausgelegt werden, wird in diesem Abschnitt ausgearbeitet:

Im **ersten Schritt** werden die Transportdienstleistungen in Legs – Teilstrecken ohne Transportmittelwechsel – unterteilt. Wie so eine Unterteilung aussehen kann, wird am Beispiel der Materialbeschaffung eines Lieferanten in Ithaca, New York, USA dargestellt:

- Leg 1: Die erste Teilstrecke erfolgt mit dem LKW und führt von der Produktionsstätte in Ithaca nach Detroit.
- Leg 2: In Detroit wird das Gut auf den Zug umgeladen und mit diesem nach Norfolk transportiert.
- Leg 3: Nachdem die Ware in Norfolk vom Zug auf ein Seeschiff umgeladen wurde, wird sie mit diesem nach Bremerhaven verfrachtet.
- Leg 4: Vom Schiff wird die Ware wieder auf einen Zug geladen und mit diesem nach Wien transportiert.
- Leg 5: Von Wien wird die letzte Strecke zum MPT-Standort in Albersdorf mit dem LKW zurückgelegt.

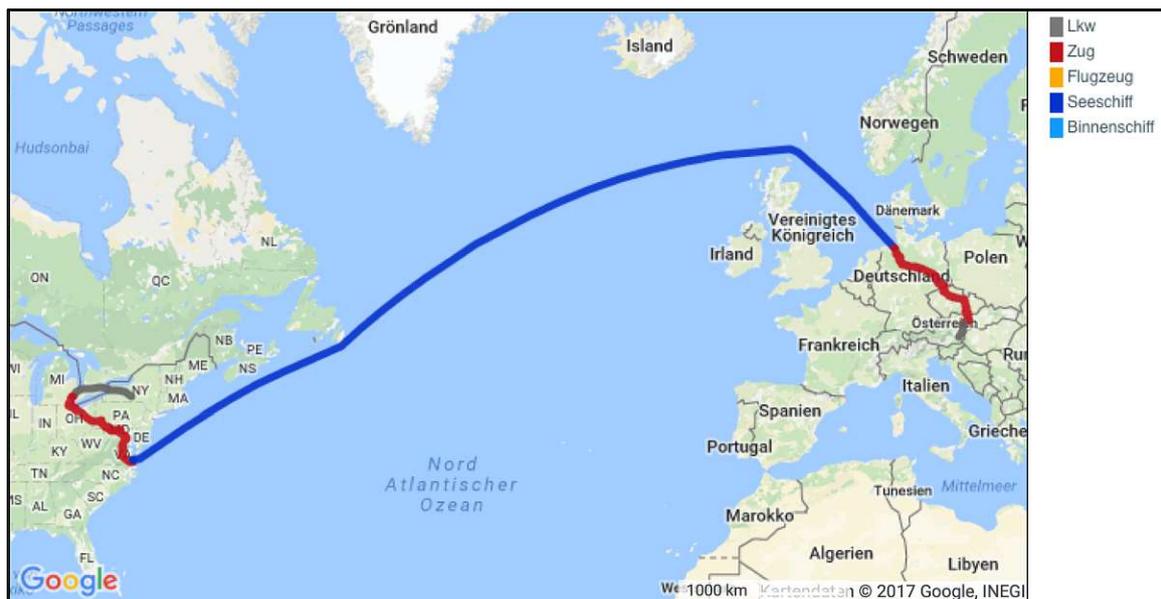


Abbildung 39: Übersee-Materialbeschaffung in Legs unterteilt²⁰⁹

Dieses Beispiel einer Transportdienstleistung besteht somit aus fünf Legs und nützt drei verschiedene Verkehrsmittel (LKW, Zug und Seeschiff).

Im **zweiten Schritt** werden die Emissionen und der Energieverbrauch der einzelnen Legs ermittelt. Es gilt: Je genauer und umfangreicher die Informationen über das eingesetzte Verkehrsmittel, die zurückgelegte Strecke und das transportierte Gut, desto präziser sind die Ergebnisse. Folgende Informationen sind für eine ordnungsgemäße Berechnung unabdingbar:

- Gutart
- Transportentfernung (D)
- Sendungsgewicht (W)
- Verkehrsmitteltyp
- Spezifischer Energieverbrauchsfaktor (E)
- TTW- und WTW-Emissionsfaktor (g_T , g_W)
- TTW- und WTW- Energieverbrauchsfaktor (e_T , e_W)

In Absprache mit dem Betreuersteam von MPT (siehe Abbildung 5, S.18) wurde entschieden, dass bei der Auswahl der **Gutart** für alle Verkehrsmittel die Kategorie **Durchschnittsgut** gewählt wird. MPT hat zwar ein weitreichendes Produktportfolio, das sowohl Volumen- als auch Massengütern entspricht, allerdings geht das Unternehmen davon aus, dass im Durchschnitt die Transportkapazitäten zwischen 60 und 70 Prozent ausgelastet sind, was der Gutart Durchschnittsgut entspricht. Wie sich diese Entscheidung auf die spezifischen Energieverbrauchsfaktoren und somit den Kraftstoffverbrauch auswirkt, zeigt die Abbildung 14 (siehe S.46). Und in der

²⁰⁹ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html#> (gelesen am: 07.12.2016)

Abbildung 17 (siehe S.52) wird angegeben wie sich die Gutartauswahl auf die Auslastung und Kapazitäten von LKW-Transporten auswirkt. Für einen Last-/Sattelzug-Transport bedeutet das zum Beispiel, dass anstatt der maximalen Zuladung von 26 Tonnen, nur ein maximales Frachtgewicht von 15,6 Tonnen an Durchschnittsgütern transportiert werden kann.

Für die reale **Transportentfernung** werden einerseits, bei Transporten ohne Transportmittelwechsel, firmeninterne Angaben²¹⁰ direkt übernommen und andererseits, bei Transporten mit Transportmittelwechsel, auf alternative Distanzrechner (wie zum Beispiel: Google Maps, EcoTransIT, Map&Guide) zurückgegriffen. In der Regel weichen die internen und alternativen Entfernungsangaben nur geringfügig voneinander ab.

Das reale **Sendungsgewicht** kann ebenfalls aus MPT-internen Datenbanken²¹¹ entnommen werden. Es liegen sowohl Informationen über das Gewicht einer einzelnen Sendung, als auch über das Gewicht aller Sendungen eines Jahres vor. Das Gewicht wird sowohl in der Einheit Kilogramm als auch in Tonnen angegeben. Weiters wird vorausgesetzt, dass die betrachteten Transporte von den Transportunternehmen optimiert werden und die durchschnittliche Auslastung eingehalten wird. Ob der Transport dabei rein Güter von MPT transportiert oder auch fremde Güter führt, ist nicht relevant. Der Energieverbrauch und die Emissionen des gesamten Transports werden nach den Allokationsregeln (siehe Kapitel 5.3.4, S.48ff) anteilig auf die betrachtete Sendung heruntergebrochen.

Genauere Information über die Art und Größe der eingesetzten Verkehrsmitteltypen zu erheben ist im Fall von MPT, wegen des großen und global vernetzten Lieferantenangebots, mit einem sehr hohem Aufwand verbunden und daher letztendlich nicht sinnvoll. Daher wird jeder Verkehrsmittelkategorie ein repräsentativer **Fahrzeugtyp** zugewiesen. Für die Verkehrsmittel im Straßentransport bedeutet das beispielsweise, dass alle Transporte mit dem Fahrzeugtyp LKW 24-40t berechnet werden. Eine genaue Aufstellung welcher Fahrzeugtyp welchem Verkehrsmittel zugeordnet wird, kann einerseits der folgenden Tabelle entnommen werden und wird andererseits im Kapitel 6.2 detailliert beschrieben. Tabelle 7 zeigt die **spezifischen Energieverbrauchsfaktoren** aller Verkehrsmittel und Fahrzeugtypen, die für den Anwendungsfall von MPT ausgewählt wurden.

²¹⁰ In dem MPT-internen File: „Tonnenkilometer.xlsx“ wird jedem Lieferanten die Transportdistanz in der Einheit Kilometer zugeordnet (siehe Kapitel 6.4, S.92).

²¹¹ In dem MPT-internen File: „Tonnenkilometer.xlsx“ wird jedem Lieferanten das Sendungsgewicht zugeordnet (siehe Kapitel 6.4, S.92).

Verkehrsmitteltyp	Einheit	E	Treibstoff
LKW 24-40t	l / tkm	0,0230	Diesel
Mittlerer Zug (1.000t)	kWh / tkm	0,0320	Bahnstrom
Containerschiff (Durchschnitt) ²¹²	kg / tkm	0,0051	Schweröl
Fähre (RoRo) ²¹³	kg / tkm	0,0194	Schweröl
Lufttransport (1.500km)	kg / tkm	0,2300	Kerosin
Lufttransport (2.500km)	kg / tkm	0,2100	Kerosin
Lufttransport (3.700km)	kg / tkm	0,2024	Kerosin
Lufttransport (6.000km)	kg / tkm	0,1898	Kerosin
Lufttransport (8.000km)	kg / tkm	0,1936	Kerosin
Lufttransport (10.000km) ²¹⁴	kg / tkm	0,1968	Kerosin

Tabelle 7: MPT – Spezifische Energieverbrauchsfaktoren der Verkehrsmitteltypen

Nun liegen alle Informationen vor, um den spezifischen Energieverbrauch (F) berechnen zu können. Es wird das mathematische Produkt aus Sendungsgewicht (W), Transportentfernungen (D) und spezifischem Energieverbrauchsfaktor (E) gebildet.

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$F = W \cdot D \cdot E$	F	Spezifischer Energieverbrauch	l, kg, kWh
	W	Reales Frachtgewicht	t, TEU
	D	Reale Transportentfernungen	km
	E	Spezifischer Energieverbrauchsfaktor	l, kg, kWh pro tkm, TEU-km

Formel 4: MPT – Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs²¹⁵

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Umrechnungsfaktoren aller Verkehrsmittel und Fahrzeugtypen, die für den Anwendungsfall von MPT ausgewählt wurden.

Verkehrsmitteltyp	Einheit	e_T	Einheit	e_w	Treibstoff
Fähre (RoRo)	MJ / kg	40,5	MJ / kWh	44,1	Schweröl
LKW 24-40t	MJ / l	35,9	MJ / l	42,7	Diesel
Lufttransport	MJ / kg	44,1	MJ / kg	52,5	Kerosin
Containerschiff	MJ / kg	40,5	MJ / kWh	44,1	Schweröl
Mittlerer Zug (1.000t)	MJ / kWh	3,60	MJ / kg	11,1	Bahnstrom

Tabelle 8: MPT – Standardisierte Energieverbrauchsfaktoren der Verkehrsmitteltypen²¹⁶

Verkehrsmitteltyp	Einheit	g_T	Einheit	g_w	Treibstoff
Fähre (RoRo)	kg CO ₂ e / kg	3,15	kg CO ₂ e / kg	3,41	Schweröl
LKW 24-40t	kg CO ₂ e / l	2,67	kg CO ₂ e / l	3,24	Diesel
Lufttransport	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / kg	3,88	Kerosin
Containerschiff	kg CO ₂ e / kg	3,15	kg CO ₂ e / kg	3,41	Schweröl
Mittlerer Zug (1.000t)	kg CO ₂ e / kWh	0	kg CO ₂ e / kWh	0,574	Bahnstrom

Tabelle 9: MPT – Emissionsfaktoren der Verkehrsmitteltypen²¹⁷

Anhand des bestimmten spezifischen Energieverbrauchs (siehe Formel 4) und den energiespezifischen Energieverbrauchs- und Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 8 und

²¹² siehe Abbildung 14, S.46

²¹³ vgl. Kranke, 2011a, S.42

²¹⁴ siehe Kapitel 6.2.4, S.85

²¹⁵ Diese Formel wird unverändert von der EN übernommen (siehe Formel 1, S.45)

²¹⁶ siehe Abbildung 16, S.48

²¹⁷ siehe Abbildung 16, S.48

Tabelle 9) kann nun der **standardisierte Energieverbrauch** (siehe Formel 5) und die **Treibhausgasemissionen** (siehe Formel 6) berechnet werden.

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$E_W = F * e_W$	E_W	Well-to-Wheel-Energieverbrauch	MJ
$E_T = F * e_T$	E_T	Tank-to-Wheel-Energieverbrauch	MJ
	F	Spezifischer Energieverbrauch	kg, l, kWh
	e_W	Well-to-Wheel-Energieverbrauchsfaktor	MJ pro kg, l oder kWh
	e_T	Tank-to-Wheel-Energieverbrauchsfaktor	MJ pro kg, l oder kWh

Formel 5: MPT – Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs²¹⁸

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
$G_W = F * g_W$	G_W	Well-to-Wheel-THG-Emissionen	kg CO ₂ e
$G_T = F * g_T$	G_T	Tank-to-Wheel-THG-Emissionen	kg CO ₂ e
	F	Spezifischer Energieverbrauch	kg, l, kWh
	g_W	Well-to-Wheel-THG-Emissionsfaktor	kg CO ₂ e pro kg, l oder kWh
	g_T	Tank-to-Wheel-THG-Emissionsfaktor	kg CO ₂ e pro kg, l oder kWh

Formel 6: MPT – Berechnung der Treibhausemissionen²¹⁹

Im **dritten Schritt** wird die Summe der einzelnen Teilergebnisse (Legs) gebildet und somit sind die gesamten Auswirkungen einer Sendung bestimmt. Eine normgerechte Darstellung der Resultate schreibt vor, den TTW- und den WTW- Energieverbrauch in der Einheit Megajoule und die TTW- und die WTW- Treibhausgasemissionen in der Einheit Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalente anzugeben.

6.2 Verkehrsmittel im Detail

Da der spezifische Energieverbrauch nicht nur vom Verkehrsmitteltyp, sondern auch vom Fahrzeugtyp stark beeinflusst wird, wird in diesem Abschnitt beschrieben, nach welchen Kriterien die für MPT repräsentativen Fahrzeugtypen ausgewählt wurden.

6.2.1 Straßenfrachttransporte²²⁰

Für den Straßentransport von Gütern wurde, in Abstimmung mit dem Betreuersteam von MPT, die Entscheidung getroffen, ausschließlich **Last-/Sattelzug-Transporte** mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 Tonnen und einer maximalen Zuladung von 26 Tonnen zu berechnen. Für diesen ausgewählten Fahrzeugtyp und für den Transport von Durchschnittsgütern ergibt das ein maximales Frachtgewicht von 15,6 Tonnen. In Europa haben sich vorwiegend LKWs mit Dieselmotoren durchgesetzt, unter anderem weil Dieselmotoren einen höheren Wirkungsgrad als Benziner haben und weil sie im Betrieb günstiger sind. Daher werden in dieser Arbeit weiters für alle LKW-Transporte Dieselmotoren als Antriebsart vorausgesetzt und berechnet.

²¹⁸ Diese Formel wird unverändert von der EN übernommen (siehe Formel 2, S.49)

²¹⁹ Diese Formel wird unverändert von der EN übernommen (siehe Formel 3, S.49)

²²⁰ vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.52ff

Da der spezifische Energieverbrauch in direkter Abhängigkeit mit dem Gewicht der Zuladung steht, ist der Beladungsgrad ein weiterer wichtiger Faktor für den Kraftstoffverbrauch. Grundsätzlich muss zunächst unterschieden werden, ob die betrachtete Sendung Anteil eines voll oder eines nur teilweise beladenen Fahrzeugs ist. Berechnet man nämlich nur den spezifischen Energieverbrauch für den die betrachtete Sendung verantwortlich ist, dann ist dieser bei einem nur teilweise beladenen LKW höher als bei einem vollen LKW, wo die freien Kapazitäten mit fremden Gütern aufgefüllt werden. In Absprache mit MPT wird für die Berechnungen dieser Arbeit vorausgesetzt, dass ausschließlich Transporte mit voll ausgelasteten Kapazitäten geführt werden. Soll dennoch ein Fall untersucht werden, wo der Kraftstoffverbrauch eines LKWs mit nicht voll ausgeschöpften Kapazitäten berechnet wird, wird folgende Vorgehensweise vorgegeben:

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
F = D * E / 100	F	Berechneter Dieserverbrauch	l
	D	Zurückgelegte Entfernung des gesamten Fahrzeugumlaufs (inklusive Leerfahrten)	km
	E	Spezifischer Dieserverbrauch	l / 100km

Formel 7: MPT – Spezifischer Energieverbrauch eines teilbeladenen LKWs

Formel	Kennzeichen	Beschreibung	Einheit
E = A + B * N / C	E	Spezifischer Dieserverbrauch	l / 100km
	A	Verbrauch des leeren Fahrzeugs	l / 100km
	B	Differenz aus voll beladenem Fahrzeug minus Leerfahrzeug	l / 100km
	N	Nutzlast	t
	C	Nutzlastkapazität	t

Formel 8: MPT – Spezifischer Dieserverbrauch eines teilbeladenen LKWs

Parameter	mittleres Neigungsprofil		
	A	B	C
Last-/Sattelzug 24-40t zGG	22,7	13,18	15,6t

Tabelle 10: MPT – Parameter für den spezifischen Dieserverbrauch eines teilbeladenen LKWs²²¹

Eine weitere Annahme, die getroffen wurde, ist, dass die Schadstoffklassen vernachlässigt werden. Dies hat zwei Gründe: Zum einen ist es nahezu unmöglich, von jedem von MPT beauftragten Transport die Schadstoffklassen zu bestimmen und zum anderen gilt, zumindest für Europa, dass ab der Klasse EURO III die Unterschiede in einem vernachlässigbaren kleinen Rahmen ausfallen (siehe Kapitel 5.4.3). Sollen die Schadstoffklassen dennoch berücksichtigt werden, dann wird zum einen die Anwendung des ETW-Online-Rechners empfohlen oder zum anderen kann für jeden Lieferanten das MPT-interne Pflichtenheft, welches unter anderem Vorgaben zu den geforderten Umweltstandards an die beauftragten Transportunternehmen enthält, zu Rate gezogen werden. Mit Hilfe des Pflichtenhefts

²²¹ Die Quelle (vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.53) gibt nur Parameter für Transporte von Massengütern an. Da sich diese Parameter aber wegen des unterschiedlichen maximalen Frachtgewichts von den Parametern für Durchschnittsgüter unterscheiden, wurden diese Parameter mittels eigener Berechnungen bestimmt.

können überschlagsmäßig realistische Annahmen getroffen werden, welche Anteile der Transporte welchen Schadstoffklassen zugewiesen werden sollen.

6.2.2 Schienenfrachttransporte

Für Schienenfrachttransporte wurde festgelegt, einheitlich mittlere Züge mit Elektrotraktion zu berechnen. Ein mittlerer Zug hat ein Bruttogewicht von 1.000 Tonnen, wobei ein leerer Wagon 23 Tonnen wiegt und eine maximale Ladekapazität von 61 Tonnen aufweist. Auch hier gilt, dass Durchschnittsgüter transportiert werden und dass diese Güter eine massenbezogene Auslastung von 60 Prozent implizieren.

Der Großteil der Schienentransporte wird mit Strom angetrieben, vor allem wenn Langstrecken-Transporte betrachtet werden. Aus diesem Grund und wegen mangelnder Informationen über den genauen Einsatz der Schienentransporte und der Schienenverkehrsnetze werden die Berechnungen näherungsweise ausschließlich für Züge mit Elektrotraktion durchgeführt. Da die Differenz zwischen dem standardisierten WTW-Energieverbrauch von mit Strom angetriebenen Zügen zu jenen, die mit Diesel angetrieben werden²²², vernachlässigbar gering ist, hat diese Verallgemeinerung im Grunde keine entscheidenden Auswirkungen auf das Endergebnis. Daher ist diese Annäherung in einem angemessenen Rahmen und kann für die Berechnung angewendet werden. Wenn dennoch zwischen Zügen mit Elektro- und Dieseltraktion unterschieden werden soll, wird bezüglich der Umrechnungsfaktoren auf die Abbildung 14 und Abbildung 16 verwiesen und bezüglich welche Strecke mit welchem Zugtyp zurückgelegt wird, auf externe Kartensysteme wie zum Beispiel jene des ETW-Rechners.

Im Kapitel 5.3.5 „Ergänzende Anmerkungen“ wurde die Problematik der Umrechnungsfaktoren schon beschrieben. Wird Strom als Treibstoff eingesetzt, entsteht das Problem, dass die EN 16258 keine allgemein gültigen Durchschnittswerte angeben kann, da die Werte von zu vielen individuellen Faktoren abhängen und die breite Streuung der einzelnen Werte zu einer zu hohen Ungenauigkeit eines Durchschnittswerts führt. Als Lösung schlägt die Norm vor, die Umrechnungszahlen der Lieferanten zu verwenden. Wenn diese nicht verfügbar sind, müssen Durchschnittswerte für das Land oder das genutzte Netz herangezogen werden. In den Berechnungen der vorliegenden Arbeit wurde festgelegt, für alle Zugtransporte die Vorgabewerte für Bahnstrom in Deutschland zu wählen. Dies wird damit begründet, dass eine Vielzahl der untersuchten Transporte im deutschen Bahnnetz betrieben wird und dass für deutschen Bahnstrom eine

²²² Um Zugtransporte mit Elektro- und Dieseltraktion miteinander zu vergleichen, müssen zunächst deren Verbrauchsfaktoren auf eine gemeinsame Einheit gebracht werden. Daher wird das mathematische Produkt aus dem spezifischen Energieverbrauchsfaktor (siehe Abbildung 14) und dem WTW- oder TTW-Energieverbrauchsfaktor (siehe Abbildung 16) gebildet. Somit erhält man einen vom Treibstoff unabhängigen Umrechnungsfaktor in der Einheit MJ pro tkm mit dem der Vergleich durchgeführt werden kann.

zuverlässige Quelle²²³ für die Vorgabewerte, die den WTW-Energieverbrauch und die WTW-Treibhausgasemissionen einbeziehen, sichergestellt werden kann. Auch wenn die hier getätigten Berechnungen in ausreichender Näherung erfolgen, wird für Zugtransporte, die im Detail berechnet werden sollen, an dieser Stelle auf den ETW-Online-Rechner einerseits wegen des ausführlich ausgearbeiteten Schienenverkehrsnetzes und andererseits wegen der vertiefenden länderspezifischen Kenntnisse über Stromnetzwerke verwiesen.

6.2.3 Wasserfrachttransporte

Grundsätzlich entscheidet die Route und das Frachtgewicht eines Transports welcher Schiffstyp sinnvollerweise eingesetzt wird. Dabei wird zwischen See- und Binnenschiffahrten unterschieden. Da MPT ausschließlich Seeschifftransporte beauftragt, werden nur diese näher betrachtet. Die Seeschifftransporte werden in drei Typen unterteilt: Massengutschiffsverkehr, Containerschiffsverkehr und Fährschiffsverkehr. Von diesen drei Typen sind für die Materialbeschaffungen des Unternehmens nur die letzten beiden relevant. Im Schiffsverkehr gelten für den Energieverbrauch im Grunde die gleichen physikalischen Regeln wie bei anderen Verkehrsträgern auch: Je größer Schiff und Ladekapazität, desto kleiner ist der spezifische Energieverbrauch pro Ladeeinheit. Anders als bei anderen Verkehrsmitteln hat bei Wassertransporten die Geschwindigkeit, oder besser die Geschwindigkeitsreduktion, entscheidende Auswirkungen auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Daher wird hier für alle Transporte eine 25-prozentige Geschwindigkeitsreduktion gegenüber der so genannten Design-Geschwindigkeit – die maximale Geschwindigkeit, mit der ein Verkehrsmittel unter normalen und sicheren Bedingungen reisen kann – definiert.²²⁴

Für den Verkehrsmitteltyp Containerschiffsverkehr wird mit dem spezifischen Energieverbrauchswert eines durchschnittlichen Containerschiffes gerechnet. Dieser Energieverbrauchsfaktor ergibt sich als gemittelter Wert aus allen maßgeblichen Handelslinien, wie zum Beispiel: Asien, Transpazifik, Transatlantik, Intrakontinental und andere Linien. Weiters ist zu beachten, dass Containerschiffe mit schwerem Heizöl, besser bekannt als Schweröl (engl.: Heavy Fuel Oil, kurz: HFO) angetrieben werden.

Für den Verkehrsmitteltyp Fährschiff, der hauptsächlich bei Kurzstreckentransporten zum Einsatz kommt, wird im Zuge dieser Arbeit der allgemeine Fall eines RoRo-Schifftransportes, wie zum Beispiel Passagier- und Autofähren, angenommen. RoRo steht dabei für „Roll on Roll off“ und bedeutet, dass keine speziellen Hilfsmittel und Vorrichtungen benötigt werden, um das Schiff zu beladen. Auch wenn in der

²²³ DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband (vgl. Schmied, Knörr, 2013)

²²⁴ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.69

Küstenschiffahrt gelegentlich Dieselöl (engl.: Marine Diesel Oil, kurz: MDO) genutzt wird, verbrennt dieser Schiffstyp in der Regel klassisches Schweröl, daher wird diese Antriebsform für die Berechnungen dieser Arbeit vorausgesetzt.

Der Einsatz von Schwerölen exponiert allerdings auch eine Schwachstelle der Emissionsrichtlinien. Dadurch, dass ausschließlich Gase, die den Treibhauseffekt verstärken, untersucht werden, werden Emissionen, die zwar keine Auswirkungen auf den Treibhauseffekt haben, aber dennoch giftige Substanzen sind, nicht in den Bewertungen berücksichtigt. Im Fall von Schweröl werden zum Beispiel Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide und schwermetallhaltige Asche freigesetzt. Vor allem das Schwefeldioxid ist eine Substanz, die zwar keine Auswirkungen auf den Treibhauseffekt, aber gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen hat. Das bedeutet, dass Verkehrsmittel, die mit Schweröl betrieben werden, zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen auch lokale gesundheitliche Auswirkungen zur Folge haben. Dieser Aspekt kann bei der Auswahl von Schifftransporten ebenfalls berücksichtigt werden.²²⁵

6.2.4 Luftfrachttransporte

Luftfrachttransporte können in zwei übergreifende Klassen unterteilt werden: in reine Frachtflugzeuge (Frachter) und in Flugzeuge, die sowohl Passagiere als auch Frachten transportieren (Belly-Fracht). Hat man sich für eine dieser Klassen entschieden, hängt die Auswahl des spezifischen Energieverbrauchsfaktors nur noch von der Gutart und der Strecke ab. Nachdem die Gutart im Kapitel 6.1 (siehe S.77f) für alle Transporte als Durchschnittsgut deklariert wurde, ist für den Anwendungsfall von MPT nur noch die Flugdistanz ein entscheidendes Kriterium für die Bestimmung der spezifischen Energieverbrauchsfaktoren. Der spezifische Kraftstoffverbrauch wird in Kilogramm Kerosin gemessen.

Nachdem Luftfrachttransporte überwiegend für Sondertransporte, Eilsendungen, lange Strecken oder sehr hochwertige Produkte eingesetzt werden, kann es zu sehr kurzfristigen Änderungen und einem hohen Maß an Unregelmäßigkeiten in der Planung kommen. Dies erschwert die Aufnahme der bestehenden Luftfrachttransporte und hat zur Folge, dass eine genaue Angabe der tatsächlich eingesetzten Lufttransportsysteme – ob Frachter oder Belly-Fracht – mit einem hohem Aufwand verbunden ist. Aus diesem Grund wird mit gemischten Transportsystemen, die in der Literatur auch als Hybrid-Lufttransporte bezeichnet werden, gerechnet. Bei gemischten Transportformen wird angenommen, dass im Durchschnitt 60 Prozent der Transporte mit Frachtern durchgeführt werden und 40

²²⁵vgl. <https://www.welt.de/dieweltbewegen/sonderveroeffentlichungen/article118988228/Das-schmutzigste-Gewerbe-der-Welt-bleibt-auf-Kurs.html> (gelesen am 23.10.16)

Prozent mit Belly-Fracht-Transporten.²²⁶ Typische Frachter sind unter anderem: Boeing 737-300SF, Boeing 767-200F sowie Boeing 747-400F und typische Belly-Frachter sind: Boeing 757-200, Boeing 747-400 und der Airbus 320.²²⁷

Der spezifische Energieverbrauchsfaktor für den Kerosinverbrauch wird in diesem Anwendungsfall ausschließlich über die zurückgelegte Flugentfernung bestimmt. Daraus ergeben sich folgende Tabellenwerte:

Transportmitteltyp	Einheit	E
Lufttransport (1.500km)	kg / tkm	0,2300
Lufttransport (2.500km)	kg / tkm	0,2100
Lufttransport (3.700km)	kg / tkm	0,2024
Lufttransport (6.000km)	kg / tkm	0,1898
Lufttransport (8.000km)	kg / tkm	0,1936
Lufttransport (10.000km)	kg / tkm	0,1968

Tabelle 11: MPT – Spezifischer Energieverbrauchsfaktor für Lufttransporte²²⁸

Liegt die reale Flugstrecke zwischen den angegebenen Distanzen, muss linear interpoliert werden, um die Umrechnungsfaktoren anzupassen.

An und für sich wird zwischen dem Treibstoffverbrauch und der zurückgelegten Flugstrecke eine lineare Korrelation angenommen. Bei genauerer Betrachtung der Tabellenwerte zeigt sich allerdings, dass der spezifische Verbrauchsfaktor mit zunehmender Flugstrecke zuerst sinkt und ab der Distanz von 6.000 Kilometern wieder steigt. Dieses Muster ergibt sich durch den unterschiedlichen Energiebedarf der unterschiedlichen Flugphasen, zum Beispiel steigt der Energieverbrauch in der Start- und Landephase sowie beim Hinauf- und Herabsteigen des Flugzeugs. Sinkende Umrechnungsfaktoren sind damit zu begründen, dass je länger der zurückgelegte Flug ist, desto weniger dominant wirkt der erhöhte Treibstoffverbrauch der eben beschriebenen Flugphasen. Ab einer gewissen Flugentfernung kommt allerdings der Umstand hinzu, dass die Zuladungskapazitäten aus Platzmangel dem Treibstoffspeicher weichen müssen und somit durch kleinere Ladekapazitäten der spezifische Energieverbrauch pro Zuladungseinheit steigt.²²⁹

²²⁶ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.82

²²⁷ vgl. ebenda, S.85

²²⁸ Die Quelle (vgl. Schmied, Knörr, 2013, S.53) gibt nur spezifische Energieverbrauchsfaktoren für Frachter und Belly-Frachter an. Daher wurden die Parameter für die Hybrid-Lufttransporte mittels eigener Berechnungen bestimmt.

²²⁹ vgl. IVE, INFRAS, ifeu, 2016, S.83

6.2.5 Vergleich der ausgewählten Verkehrsmittel

Nachdem nun eigens für die Klimabilanzierung der Materialbeschaffung von MPT für jeden Verkehrsmitteltyp optimal abgestimmte Fahrzeugtypen ausgewählt wurden, wird in diesem Abschnitt ein Vergleich dieser Fahrzeugtypen durchgeführt. Die Einheit, auf die die Umrechnungsfaktoren umgeformt werden müssen und nach der die unterschiedlichen Verkehrsmitteltypen ordnungsgemäß verglichen werden können, ist: **kgCO₂e/tkm**. Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer ($G_{W/T}/tkm$) erhält man, wenn der spezifische Energieverbrauchsfaktor (Treibstoff/tkm) mit dem WTW- oder TTW-Treibhausgasemissionsfaktor ($G_{W/T}/Treibstoff$) multipliziert wird. Es werden deshalb zwei Tabellen angegeben, damit die Verkehrsmittel einerseits nach ihren gesamten (WTW, siehe Tabelle 12) und andererseits nach ihren direkten (TTW, siehe Tabelle 13) Klimaauswirkungen verglichen werden können.

Fahrzeugtyp	Einheit	Treibstoff / tkm ²³⁰	Einheit	$G_w /$ Treibstoff ²³¹	Einheit	$G_w /$ tkm ²³²
Containerschiff	kg / tkm	0,0051	kg CO ₂ e / kg	3,41	kg CO ₂ e / tkm	0,0174
Zug	kWh / tkm	0,0320	kg CO ₂ e / kWh	0,574	kg CO ₂ e / tkm	0,0184
Fähre (RoRo)	kg / tkm	0,0194	kg CO ₂ e / kg	3,41	kg CO ₂ e / tkm	0,0662
LKW 24-40t	l / tkm	0,0230	kg CO ₂ e / l	3,24	kg CO ₂ e / tkm	0,0745
Lufttransport (6.000km)	kg / tkm	0,1898	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,7364
Lufttransport (8.000km)	kg / tkm	0,1936	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,7512
Lufttransport (10.000km)	kg / tkm	0,1968	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,7636
Lufttransport (3.700km)	kg / tkm	0,2024	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,7853
Lufttransport (2.500km)	kg / tkm	0,2100	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,8148
Lufttransport (1.500km)	kg / tkm	0,2300	kg CO ₂ e / kg	3,88	kg CO ₂ e / tkm	0,8924

Tabelle 12: MPT – WTW-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer

Werden die WTW Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer betrachtet, dann stellt sich heraus, dass der Einsatz von Containerschiffen, dicht gefolgt von Zugtransporten, zu den emissionsärmsten Ergebnissen führt. Containerschiffe profitieren besonders von der physikalischen Gesetzmäßigkeit, dass je größer die Ladungskapazitäten pro Verkehrsmittel sind, desto niedriger ist der spezifische Treibstoffverbrauch je beförderter Ladeinheit. Ladungskapazitäten und tatsächliche

²³⁰ siehe Tabelle 7

²³¹ siehe Tabelle 9

²³² Die Werte dieser Spalte sind das Produkt aus den Werten der Spalten „Treibstoff / tkm“ und „ $G_w /$ Treibstoff“.

Auslastungen haben also bedeutende Auswirkungen auf den spezifischen Treibstoffverbrauch. Daher wird an dieser Stelle daran erinnert, dass dieses Ranking nur für Transporte von Durchschnittsgütern gültig ist. Außerdem wird an dieser Stelle angemerkt, dass dieses Ranking lediglich die nach Kyoto definierten Treibhausgasemissionen berücksichtigt und dass nicht treibhausgasbezogene Auswirkungen auf die Umwelt nicht in diese Bewertung einfließen (siehe Abschnitt 6.2.3, S.84).

Da der Containerschiffsverkehr im Vergleich zu Zugtransporten nur marginale Vorteile aufweist, gilt die Streckenführung als entscheidende Richtlinie für einen treibhausgasoptimierten Transport. Eine weitere Entscheidungshilfe die zu Rate gezogen werden kann, ist der Vergleich nach allgemeinen ökologischen Auswirkungen. In diesem Fall schneidet, unter anderem aufgrund der Schwefeldioxidemissionen der mit Schweröl angetriebenen Schifftransporte, der Zugtransport besser ab.

Nachdem LKW-Transporte rund viermal so viele Treibhausgase wie Containerschifftransporte emittieren, kann es sich durchaus lohnen, den Straßentransport auf das Wasser zu verlegen. Naturgemäß liegen ganz andere Möglichkeiten der Routenbildung vor und in der Regel ist die auf Straßen zurückgelegte Strecke kürzer, aber in einem gewissen Rahmen können durch den alternativen Einsatz von Schifftransporten dennoch klimawirksame Vorteile geschaffen werden.

Umso öfter kann zwischen Luft- und Seefrachttransporten entschieden werden. Ein Vergleich der beiden Verkehrsmittel zeigt, dass unter gleichen Voraussetzungen ein Flugzeugtransport rund die 42-fache Menge an Treibhausgasen wie ein Containerschifftransport emittiert. Eine weitere Alternative ist der Einsatz von Schienentransporten. Da zeigt der Vergleich, dass Luftfrachttransporte ungefähr die 40-fache Menge an Treibhausgasemissionen bewirken.

Die Tatsache, dass Containerschiffe am wenigsten Treibhausgase pro Tonnenkilometer und damit weniger als mit Strom angetriebene Zugtransporte emittieren, ist im ersten Moment, vor allem weil beim Schienenverkehr keine direkten Emissionen anfallen, sicherlich eine Überraschung. Der Grund, warum Containerschiffe dennoch die klimawirksameren Transporte sind, ist die Effizienz der umfassenden Ladekapazitäten.

In Summe kann zusammengefasst werden: Wenn Alternativen für LKW-Transporte gesucht werden, dann bieten Containerschiff- und Zugtransporte eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um das Vierfache, während Luftfrachten einen Anstieg der Ausstöße um das Zehnfache mit sich bringen.

Fahrzeugtyp	Einheit	Treibstoff / tkm ²³³	Einheit	G _T / Treibstoff ²³⁴	Einheit	G _T / tkm ²³⁵
Zug	kWh / tkm	0,0320	kg CO ₂ e / kWh	0	kg CO ₂ e / tkm	0
Containerschiff	kg / tkm	0,0051	kg CO ₂ e / kg	3,15	kg CO ₂ e / tkm	0,0161
Fähre (RoRo)	kg / tkm	0,0194	kg CO ₂ e / kg	3,15	kg CO ₂ e / tkm	0,0611
LKW 24-40t	l / tkm	0,0230	kg CO ₂ e / l	2,67	kg CO ₂ e / tkm	0,0614
Lufttransport (6.000km)	kg / tkm	0,1898	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,6036
Lufttransport (8.000km)	kg / tkm	0,1936	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,6156
Lufttransport (10.000km)	kg / tkm	0,1968	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,6258
Lufttransport (3.700km)	kg / tkm	0,2024	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,6436
Lufttransport (2.500km)	kg / tkm	0,2100	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,6678
Lufttransport (1.500km)	kg / tkm	0,2300	kg CO ₂ e / kg	3,18	kg CO ₂ e / tkm	0,7314

Tabelle 13: MPT – TTW-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer

Werden die Verkehrsmittel nach den TTW-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer verglichen (siehe Tabelle 13), dann stellen sich die Schienentransporte als klimafreundlichste Verkehrsmittel heraus. Ansonsten zeigt der Vergleich der Tabelle 12 mit der Tabelle 13, dass, abgesehen vom Schienenverkehr, sich die Relation der Verkehrsmittel zueinander nicht ändert. Für das Ranking und die Auswahl der Verkehrsmittel ist somit eine Unterscheidung zwischen TTW und WTW nicht notwendig.

Da Fährtransporte vorwiegend stark an die örtlichen Gegebenheiten gebunden sind und hauptsächlich eingesetzt werden, um Umwege zu vermeiden und somit Entfernungen zu reduzieren, wurden sie in den bisherigen Vergleichen außer acht gelassen. Grundsätzlich sind die Emissionswerte dieses Verkehrsmittels geringfügig besser also die der LKW-Transporte. Sollen also ausschließlich die CO₂e-Emissionen reduziert werden, ist der Einsatz von Fährtransporten, bei annähernd gleicher Strecke, die bessere Alternative zu LKW-Transporten. Es sei allerdings wiederholt angemerkt, dass auch bei den Fährtransporten der Ausstoß von Schwefeldioxid und somit dessen gesundheitsschädliche Folgen hier nicht berücksichtigt werden.

²³³ siehe Tabelle 7

²³⁴ siehe Tabelle 9

²³⁵ Die Werte dieser Spalte sind das Produkt aus den Werten der Spalten „Treibstoff / tkm“ und „THG / Treibstoff“.

6.3 Eingabemaske zur Emissionsberechnung

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist, eine Methode zu entwickeln, mit der Erkenntnisse zur Entstehung von Treibhausgasemissionen in die Sourcing-Entscheidungen der globalen Materialbeschaffung einbezogen werden können. Aus diesem Grund wurde für MPT eine Eingabemaske, mit der die Transportemissionen berechnet werden können, erstellt. Dieses Werkzeug ist ein in Excel angefertigter Rechner, mit dem die Treibhausgasemissionen vordefinierter Verkehrsmittel kalkuliert werden können. Neben der **Auswahl des Verkehrsmitteltyps** müssen ausschließlich Angaben zur **Transportdistanz** und **Liefermenge** getätigt werden, um die Berechnung durchführen zu können. Alle Annahmen, die für die Berechnung getroffen wurden, sowie Voraussetzungen, die der Transport erfüllen muss, sind in Kurzform in der Eingabemaske selbst und im Detail in den Kapiteln 6.1 und 6.2 dieser Arbeit beschrieben.

Der große Vorteil dieser Eingabemaske ist die Reduktion auf das Wesentliche. Vor allem die allgemeinverständliche und einfache Handhabung des Rechners sticht dabei heraus. Der Benutzer muss lediglich drei Eingabefelder ausfüllen, um ein aussagekräftiges Ergebnis über die WTW- und TTW-Treibhausgasemissionen eines Transports, welches umgehend in die Sourcing-Entscheidungen einbezogen werden kann, zu erhalten. Die Berechnung wird so einfach wie möglich gehalten, ohne dabei allzu große Einschränkungen in der Ergebnisqualität hinnehmen zu müssen. Wesentliche Nachteile dieses Rechners sind, dass die Auswahl der Verkehrsmittel auf die für MPT typischen Fahrzeugtypen beschränkt ist, dass kombinierte Transporte aufwändig und manuell eingegeben werden müssen sowie dass der Benutzer die zurückgelegten Distanzen selbst bestimmen muss.

Alles in allem ist diese Eingabemaske für die Lieferanten- und Transportmittelauswahl von MPT vollkommen ausreichend. Wenn allerdings ein Transport im Detail untersucht werden soll, wird empfohlen entweder die in den Kapiteln 5.3, 6.1 und 6.2 beschriebene Vorgehensweise Schritt für Schritt durchzuarbeiten, oder den Online Rechner von EcoTransIT (siehe Kapitel 5.4) anzuwenden. Die folgenden Abbildungen zeigen das Layout der Eingabemaske:

Transportdienstleistung 1			
Beschreibung	Auswahl / Ergebnis	Einheit	Anmerkung
A) Transportmittel	LKW	-	Einstellfeld
B) Transportgewicht in kg	Eingabefeld	in kg	Eingabefeld
C) Transportentfernung	Eingabefeld	in km	Eingabefeld
G_W	Berechnungsfeld	in t CO ₂ e	WTW-THG-Emissionen
G_T	Berechnungsfeld	in kg CO ₂ e	TTW-THG-Emissionen

Abbildung 40: Eingabemaske – Transportdienstleistung bestimmen

Die Eingabefelder dieses Rechners erkennt man daran, dass sie eine dunkelblaue Schrift auf orangem Hintergrund haben, welches dem von Excel vorgegeben Format „Input“ entspricht. Und die Berechnungsfelder erkennt man daran, dass sie eine orange Schrift auf grauem Hintergrund haben, welches dem Format „Calculation“ entspricht. Damit Berechnungen parallel durchgeführt werden können enthält die Eingabemaske drei²³⁶ äquivalente Transportdienstleistung-Berechnungsfelder. Somit können einerseits unterschiedliche Verkehrsmittel problemlos direkt miteinander verglichen werden und andererseits kann der Vor-, Haupt- und Nachlauf gleichzeitig angezeigt werden, um so einen kombinierten Transport vollständig zu erfassen. Anmerkungen und Hintergrundinformationen zu den drei Eingabefeldern – Transportmittel, Transportgewicht, Transportentfernung – sind in der Legende der Excel-Datei beschrieben. Die Angaben und Erklärungen der Legende sind in vier Unterpunkte gegliedert: Allgemeine Hinweise, Beschreibung der Transportmittel, Beschreibung des Transportgewichts und Beschreibung der Transportentfernung.

Die Ergebnisse werden einerseits in den Berechnungsfeldern angegeben und andererseits werden die Auswirkungen der Transportdienstleistungen anhand von praxisbezogenen Beispielen in Relation gesetzt und greifbar gemacht. Die Einheit, in der die Ergebnisse angezeigt werden – t CO₂e oder kg CO₂e –, wird vom Benutzer festgelegt. Zu den Beispielen gehören:

- Die Anzahl der Bäume (Buchen), die notwendig sind, um innerhalb eines Jahres die entstandenen Emissionen wieder abzubauen. Pro Jahr bindet eine Buche 12,5 Kilogramm CO₂e.
- Die Anzahl an Heizöl-Boilern, die durch Solar-Boiler ersetzt werden müssen, um äquivalente Einsparungen zu bringen. Das Ersetzen eines Heizöl-Boilers durch einen Solar-Boiler spart jährlich eine halbe Tonne CO₂ ein.
- Die Anzahl der 45-Quadratmeter-Wohnungen, die stattdessen beheizt werden können. Das Beheizen einer Wohnfläche von 45 Quadratmetern verursacht während eines Jahres durchschnittlich rund eine Tonne CO₂.²³⁷
- Die Anzahl der EU-Bürger, die pro Jahr die gleiche Menge an Emissionen verursachen. Im europäischen Durchschnitt (28 EU-Mitgliedsländer) verursacht jeder Mensch etwa neun Tonnen CO₂e im Jahr.²³⁸

Die folgenden Abbildungen zeigen das Layout der Eingabemaske und die Ergebnisse einer beispielsweise berechneten Transportdienstleistung: Es wird ein Transport von Wien nach Paris (Entfernung: 1.233 Kilometer) mit einem voll

²³⁶ Die Anzahl der Felder kann je nach Bedarf beliebig erweitert werden.

²³⁷ vgl. http://www.optipac.ch/files/content/spezialitaeten/Factsheet_Swiss%20Climate_Wie_viel_ist_eine_Tonne_CO2.pdf (gelesen am: 07.12.2016)

²³⁸ vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/europaeischer-vergleich-der-treibhausgas-emissionen> (gelesen am: 07.12.2016)

beladenem Last-/Sattelzug (Transportgewicht: 15.600 Kilogramm) untersucht. Die kompakte Darstellung der Ergebnisse ist folgender Abbildung zu entnehmen.

Beschreibung	Auswahl / Ergebnis	Einheit	Anmerkung
G_W	1,4	t CO ₂ e	WTW-THG-Emissionen
G_T	1,2	t CO ₂ e	TTW-THG-Emissionen

Abbildung 41: Eingabemaske – Beispiel der Ergebnisdarstellung

Und die bildhafte Veranschaulichung der gewonnenen Werte wird in der Abbildung 42 gezeigt.

Ergebnisse der THG-Emissionen in Relation gesetzt			
Bäume	Solarboiler	Heizen - 45qm Wohnung	THG-Emissionen pro EU-Bürger
Anzahl der Bäume (Buchen) die notwendig sind, um in einem Jahr die entstandenen Emissionen abzubauen.	Anzahl an Heizöl-Boilern, die durch Solarboiler ersetzt werden müssen, um die emittierte Menge einzusparen.	Anzahl der 45qm Wohnungen, die durch Heizen pro Jahr die äquivalente Menge emittieren.	Anzahl der durchschnittlichen EU-Bürger, die in einem Jahr eine äquivalente Menge emittieren.
115	2,9	1,4	0,16
94	2,4	1,2	0,13

Abbildung 42: Eingabemaske – Ergebnisse der Transportdienstleistung in Relation gesetzt

6.4 Auswertung der gesamten Materialbeschaffungen

Alle für die Auswertung der Treibhausgasemissionen notwendigen Informationen wurden von MPT in Form von Excel-Dateien bereitgestellt. Dabei sind zwei Informationsträger besonders hervorzuheben:

Zum einen wurde eine so genannte „Tonnenkilometer“-Datei zur Verfügung gestellt. Diese Arbeitsmappe enthält Angaben über die Materiallieferanten von MPT und über von diesen getätigte Sendungen für den Zeitraum 2008 bis 2016. In der Datei wird jedem Lieferanten eine Lieferantenummer, die im File als „Supplier Number“ bezeichnet wird, zugeteilt.

Folgende Informationen zu den Transportdienstleistungen werden in diesem Dokument angegeben:

- Gewicht pro Woche in Kilogramm (Bezeichnung im File: „Weight pw (kg)“)
- Gewicht pro Jahr in Kilogramm (Bezeichnung im File: „Weight py (kg)“)
- Gewicht pro Jahr in Tonnen (Bezeichnung im File: „Weight py (t)“)
- Distanz in Kilometern (Bezeichnung im File: „Distance (km)“)
- Tonnenkilometer pro Jahr (Bezeichnung im File: „tkm per year“)²³⁹

²³⁹ Wobei die Angabe „tkm per year“ äquivalent zu dem Ergebnis, das man durch die Multiplikation der Werte „Distance (km)“ und „Weight py (t)“ erhält, ist.

Zum anderen wurden so genannte „Jahr_Monat_Tag_ZTRBEK“-Dateien²⁴⁰, die im Grunde eine fortlaufende und rund zweimal im Jahr aktualisierte Datensammlung ist, bereitgestellt. Die Angaben dieser Arbeitsmappe sind nach Artikelnummern (Bezeichnung im File: „Article number“), unter denen MPT die Güter bestellt, sortiert. Dabei werden zu jeder Artikelnummer umfangreiche und detaillierte Informationen über den Artikel selbst, dessen Transport und über den Lieferanten sowie den Empfänger angeführt.

Mit Hilfe der im Kapitel 6.1 (siehe S.77ff) beschriebenen Vorgehensweise und der von MPT bereitgestellten Informationen wurden alle Materialbeschaffungen seit 2012 bis einschließlich 2016 bewertet. Auf Basis der Bestellmengen der letzten Jahre hat MPT eine Prognose für die Materiallieferungen für das Jahr 2016 erstellt.

Material-lieferungen	2012	2013	2014	2015	2016	Entwicklung
Gewicht (t)	42.811	48.076	64.023	68.789	75.151	176%
Distanz (km)	430.046	461.158	557.275	697.963	723.347	168%
Tonnenkilometer (tkm)	55.766.494	63.637.623	94.927.991	112.120.226	117.527.160	211%
THG-Emissionen (t CO ₂ e)	3.244	3.552	4.840	5.447	7.028	217%
Anzahl der Lieferanten	218	246	268	306	309	142%

Tabelle 14: Gesamtüberblick der Materiallieferungen²⁴¹

Durch einen Vergleich der Werte aus dem Jahr 2012 mit jenen von 2016, der in der Spalte „Entwicklung“ angeführt wird, erhält man einen allgemeinen Überblick über den zukünftigen Trend. In der Regel kann die Entwicklung der Materialbeschaffung als repräsentativer Richtwert für das Unternehmenswachstum angesehen werden. Die erste Zeile der Tabelle 14 zeigt, dass die in der Einheit Tonnen pro Jahr angegebene Summe aller an das Unternehmen gelieferten Güter kontinuierlich steigt. Die mittlerweile auf 176 Prozent der Bestellmengen von 2012 angestiegenen Materiallieferungen verkörpern den positiven Unternehmenserfolg der letzten Jahre. Die zurückgelegten Tonnenkilometer der Materiallieferungen haben sich seit 2012 mehr als verdoppelt, sodass für die Transporte im Jahr 2016 ein Wert von über 117 Millionen Tonnenkilometern berechnet wird. Dieser enorme Zuwachs ist nicht nur auf die gestiegenen Materialbeschaffungen zurückzuführen, sondern auch auf den Globalisierungstrend des Konzerns. Globalisierung führt grundsätzlich zu einem Anstieg der Transportwege und der Anzahl an die unterschiedlichsten Lieferanten. Das Unternehmenswachstum und der Globalisierungstrend spiegeln sich letztendlich aber auch in den emittierten Treibhausgasen wieder. In Summe haben sich die Treibhausgasemissionen seit 2012 mehr als verdoppelt und betragen im Jahr 2016

²⁴⁰ Die Begriffe Jahr, Monat und Tag werden in den tatsächlichen Dokumenten jeweils durch das Datum, an dem die Liste publiziert wird, ersetzt.

²⁴¹ In dieser und in den folgenden Tabellen dieses Kapitels werden ausschließlich die Well-to-Wheel Treibhausgasemissionen angeführt.

rund 7.000 Tonnen CO₂e. Um das Ausmaß dieses Werts greifbar zu machen und in Relation zu setzen, werden an dieser Stelle einige Beispiele genannt, die zu der gleichen Menge an Treibhausgasemissionen führen:

Innerhalb der österreichischen Landesgrenzen werden pro Jahr rund 78 Millionen Tonnen Treibhausgase ausgestoßen, somit entsprechen die MPT-bedingten Treibhausgasemissionen von 2016 rund 0,01 Prozent der österreichischen Jahresemissionen. Im Vergleich zu den Jahresemissionen von Liechtenstein entsprechen die von MPT ausgestoßenen Treibhausgase rund drei Prozent.²⁴² Außerdem ist die Menge der von MPT freigesetzten Treibhausgase äquivalent zu den jährlichen Emissionen von rund 345 in Österreich lebenden Personen oder von 364 durchschnittlichen, gemittelt über die 28 Mitgliedsstaaten der EU, EU-Bürgern.²⁴³ Weiters sind die Jahresemissionen von MPT äquivalent zu der durchschnittlichen Treibhausgasmenge, die bei der Beheizung von 450 Altbau-Wohnungen mit einer Fläche von 100 Quadratmetern in einem Jahr entstehen.²⁴⁴

Angaben über gelieferte Bestellmengen, zurückgelegte Tonnenkilometer, Unternehmenswachstum und aufsummierte Treibhausgasemissionen führen zwar zu einer durchaus interessanten Statistik, aber letztendlich reichen diese Informationen nicht aus, um Maßnahmen für klimawirksame Erfolge einleiten zu können, was letztendlich das Ziel dieser Arbeit ist. Daher wird die Entwicklung und die Zusammensetzung der berechneten Werte im Detail betrachtet. Die Vorgehensweise beruht dabei darauf, dass zunächst die zurückgelegten Tonnenkilometer und die freigesetzten Treibhausgasemissionen anhand von großflächig und nach kontinentalen Märkten festgelegten Ländergruppen – Amerika, Asien, Europa – beschrieben werden. Anschließend werden die Lieferungen ihren Herkunftsländern zugeteilt und bewertet. Bis schlussendlich eine nach Verkehrsmitteltypen gegliederte Beschreibung der untersuchten Parameter – Tonnenkilometer und Treibhausgasemissionen – erfolgt. Bei der Unterteilung nach Verkehrsmitteln entstehen drei Gruppen – LKW, Luftfracht und Seefracht – die einerseits aus einheitlichen Transportsystemen bestehen und andererseits kombinierte Transporte enthalten können. Je nachdem welcher Verkehrsmitteltransport die meisten Treibhausgasemissionen verursacht, wird der kombinierte Transport der entsprechenden Verkehrsmittelgruppe zugeteilt. Wenn zum Beispiel ein Transport im Vorlauf mit dem LKW, im Hauptlauf mit dem Flugzeug und im Nachlauf mit dem Zug transportiert wird und der Flugzeugtransport für den größten Anteil der Emissionen verantwortlich ist, dann wird dieser Transport der Verkehrsmittelgruppe Luftfracht zugewiesen. Den Verkehrsmitteltypen Zug- und Fährentransporte werden in dieser

²⁴² vgl. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (gelesen am: 29.10.2016)

²⁴³ vgl. Umweltbundesamt, 2016, S.57

²⁴⁴ vgl. <http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html?lang=de> (gelesen am: 29.10.2016)

Arbeit keine eigene Verkehrsmittelgruppen zugewiesen, da sie in den untersuchten Sendungen ausschließlich in kombinierten Liefersystemen zum Einsatz kommen und in diesen nicht die treibenden Treibhausgasemittenten sind.

Ländergruppen	2012	2013	2014	2015	2016
Europa	69%	64%	57%	51%	58%
Amerika	19%	24%	31%	36%	31%
Asien	12%	12%	11%	13%	11%

Tabelle 15: Ländergruppen – Prozentuelle Verteilung nach Tonnenkilometern

In der Tabelle 15 werden die Tonnenkilometer der zurückgelegten Lieferungen des europäischen, amerikanischen und asiatischen Marktes betrachtet. Die Ergebnisse unterstreichen ein weiteres Mal den angesprochenen Trend zur Globalisierung und zur Ausweitung des Lieferantennetzwerks von MPT. Im Jahr 2012 hat noch der europäische Markt mit 69 Prozent in der Versorgungskette vorgeherrscht, während der amerikanische, mit 19 Prozent, und der asiatische Markt, mit 12 Prozent, an den Rand gedrängt wurden. Vier Jahre später hat sich dies aber geändert und die Trendwende zu einem globalen Materialbeschaffungssystem ist eingeleitet. Der asiatische Markt ist zwar mit einem Anteil von 11 Prozent im Jahr 2016 relativ konstant geblieben, dafür hat die Entwicklung in Richtung globaler Lieferantennetzwerke vor allem in Amerika Früchte getragen, sodass sich die Anteile der Materiallieferungen aus dem amerikanischen Raum auf rund 31 Prozent erhöht haben. Der Schwerpunkt der Lieferungen liegt dabei vor allem in Nordamerika – USA, Mexiko und Kanada. Nachdem der asiatische Markt konstant geblieben ist und der amerikanische an Bedeutung gewonnen hat, musste folglich der europäische Markt an seiner Dominanz einbüßen. Im Jahr 2016 werden nur noch rund 58 Prozent aller an MPT gelieferten Güter aus Europa bezogen: In Zahlen bedeutet das, dass die Lieferungen aus Europa in Summe einen Betrag von rund 68,1 Millionen Tonnenkilometer ausmachen, die aus Amerika 36,6 Millionen Tonnenkilometer und die aus Asien 12,9 Millionen Tonnenkilometer.

Ländergruppen	t CO ₂ e 2012	t CO ₂ e 2013	t CO ₂ e 2014	t CO ₂ e 2015	t CO ₂ e 2016
Europa	2.774	2.973	3.843	4.134	4.938
Amerika	255	338	641	860	1.235
Asien	214	241	356	523	855

Tabelle 16: Ländergruppen – Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Ländergruppen	%-Anteil 2012	%-Anteil 2013	%-Anteil 2014	%-Anteil 2015	%-Anteil 2016
Europa	86%	84%	79%	75%	70%
Amerika	8%	10%	13%	16%	18%
Asien	7%	7%	7%	9%	12%

Tabelle 17: Ländergruppen – Entwicklung der Treibhausgasemissionsanteile

Die beiden Tabellen zeigen einerseits die Menge der jährlichen Treibhausgasemissionen in Tonnen und andererseits den prozentuellen Anteil, den die einzelnen Ländergruppen emittieren. Im Vergleich mit der Tabelle 15, wo die Aufteilung der Ländergruppen nach Tonnenkilometern erfolgt, werden zwei wesentliche Erkenntnisse gewonnen:

Zum einen fällt auf, dass die Lieferungen aus dem europäischen Raum mit 70 Prozent die Hauptverursacher der emittierten Treibhausgase sind. Und zum anderen, dass der asiatische und der amerikanische Markt höhere Anteile an Tonnenkilometern als an Treibhausgasemissionen haben. Im Jahr 2016 waren diese beiden Märkte für 40 Prozent der gesamten Tonnenkilometer verantwortlich, aber nur für 30 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Verkehrsmittelauswahl der letzten Jahre für nicht-europäische Transporte durchaus klimafreundlich ausgewirkt hat (siehe Tabelle 12).

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse für Tonnenkilometer (siehe Tabelle 18) und Treibhausgasemissionen (siehe Tabelle 19) aller länderspezifisch aufgeteilten Materiallieferungen dargestellt. Anhand dieser Veranschaulichung werden die Länder mit den größten Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen erkannt. Wenn Transportemissionen generell oder in Relation zu den Tonnenkilometern auffällig hoch sind und reduziert werden sollen, dann besteht die Möglichkeit, das Lieferkettensystem zu überarbeiten. Grundsätzlich gilt dabei, um die Treibhausgasemissionen durch klimawirksame Sourcing-Entscheidungen zu reduzieren, muss entweder die Strecke des Transports reduziert oder das verwendete Transportmittel geändert werden.

Lieferanten-Länder	tkm 2012	tkm 2013	tkm 2014	tkm 2015	tkm 2016	Entwicklung
NL	2.360	5.379	57.467	85.212	85.746	3634%
MX	397.928	1.049.058	3.213.101	10.029.804	7.901.043	1986%
IN	-	-	-	94.097	1.728.106	1837%
CA	697.504	741.894	4.649.633	5.890.851	5.418.703	777%
IT	776.615	1.650.337	5.134.759	5.846.425	5.712.923	736%
BR	74	-	400	-	-	543%
PT	3.083.812	3.454.780	8.552.502	8.446.115	10.912.728	354%
TR	703.467	618.765	908.308	1.696.543	2.149.313	306%
CH	652	360	6.566	3.158	1.685	258%
US	9.531.173	13.389.547	21.939.592	24.275.609	23.227.863	244%
ES	9.338.066	10.145.683	10.011.825	10.401.226	19.676.431	211%
HU	303.841	229.787	235.594	224.210	627.567	207%
JP	2.126.037	2.293.701	3.424.199	4.252.961	4.311.499	203%
KR	-	-	43.772	2.166.947	87.597	200%
GB	829.714	1.142.113	1.546.920	1.601.629	1.377.889	166%
PL	157.968	148.832	159.110	168.903	254.883	161%
CZ	665.825	712.268	966.889	817.816	1.031.123	155%
FR	162.746	192.583	196.612	197.755	245.271	151%
DE	12.384.369	14.106.746	17.545.277	18.573.310	18.082.001	146%
CN	4.681.680	5.417.016	7.185.623	7.737.767	6.794.019	145%
SL	185.184	84.649	108.869	98.828	231.290	125%
AT	592.044	668.613	667.513	611.351	601.393	102%
BG	-	-	-	2.353.068	1.997.618	85%
BE	1.208.020	1.198.335	1.438.077	1.586.134	1.008.228	83%
SK	758.107	694.162	595.609	499.142	438.599	58%
SE	6.548.513	5.041.924	5.819.807	4.060.741	3.311.311	51%
RO	630.794	651.090	519.965	400.624	312.334	50%

Tabelle 18: Lieferanten-Länder – Tonnenkilometer Übersicht²⁴⁵

Die Spalte „Entwicklung“ lässt darauf schließen, welche Länder in Zukunft an Bedeutung gewinnen und welche an Bedeutung verlieren werden. Je höher die gesamten Transport-Tonnenkilometer eines Landes sind, desto wichtiger ist die Verkürzung der Transportstrecken oder der Umstieg auf klimafreundliche Verkehrsmittel, um so die Treibhausgasemissionen bestmöglich zu reduzieren. Zu den Ländern mit besonderem Anstieg der Tonnenkilometer zählen: Niederlande, Mexiko, Indien, Kanada, Italien, Portugal, Türkei, USA, Spanien, Ungarn, Japan, Südkorea, Tschechien und Deutschland. Ein erwähnenswerter Rückgang der Tonnenkilometer wird in der Slowakei, Schweden und Rumänien festgestellt. Werden diese Länder genauer untersucht, erhält man folgende Erkenntnisse:

- Der Tonnenkilometeranstieg in Ländern wie **Italien, Ungarn, Tschechien** und **Deutschland** kann als positiv bewertet werden, da der Einsatz von LKWs auf kurzen Distanzen grundsätzlich zu relativ klimafreundlichen Transporten führt.
- Länder wie **Niederlande, Portugal, Türkei** und **Spanien** sind zwar in Europa, allerdings sind hier die LKW-Transporte, aufgrund der weiteren Strecken, wesentlich emissionsbehafteter.

²⁴⁵ Die Lieferanten-Länder dieser Tabelle werden nach dem absteigenden Entwicklungsfaktor gereiht und angeführt. Das Abkürzungsverzeichnis im Anhang (siehe Kapitel 13, S.129) enthält die Beschreibung der Länderkürzel.

- Der Tonnenkilometer-Rückgang in **Schweden** und **Rumänien** kann als positiv bewertet werden. Die Frage ist zwar, durch welche Lieferanten die Transporte ersetzt werden, aber grundsätzlich werden hier relativ weite LKW-Transportwege reduziert.
- Der Rückgang an Tonnenkilometern in der **Slowakei** fällt hingegen negativ auf, da diese Lieferungen, aufgrund der geringen Entfernung, besonders treibhausgasarm sind.²⁴⁶
- Zu den Langstreckentransporten, die aufgrund der eingesetzten Verkehrsmittel, zum Beispiel kombinierte Transporte aus Schienen- und Schiffsverkehrsmitteln, trotzdem zu den klimafreundlichen Lieferanten gehören, zählen **Mexiko** und **Kanada**.
- Und zu den Ländern, wo die Lieferungen über lange Strecken transportiert und vorwiegend Luftfrachttransporte eingesetzt werden, wodurch sie zu den kritischen Lieferungen gehören, zählen die **USA**, **Indien** und **Südkorea**.

Lieferanten-Länder	t CO ₂ e 2012	t CO ₂ e 2013	t CO ₂ e 2014	t CO ₂ e 2015	t CO ₂ e 2016	Entwicklung
ES	695,2	755,3	745,5	774,7	1.465,9	211%
DE	922,9	1.051,2	1.307,5	1.384,1	1.347,5	146%
US	232,2	302,8	484,1	146,9	969,5	417%
PT	229,8	257,5	637,3	629,4	813,2	354%
IN	-	-	-	46,8	457,5	977%
IT	57,9	123,0	382,6	435,7	425,7	736%
CN	145,5	166,9	221,0	26,7	208,2	143%
TR	52,4	46,1	67,7	126,4	160,2	306%
MX	8,2	18,9	64,8	12,6	155,1	1887%
BG	-	-	-	175,4	148,9	85%
JP	68,7	74,1	110,5	-	139,3	203%
SE	406,6	313,1	218,2	139,5	113,4	28%
CA	14,7	15,9	91,6	92,0	110,7	755%
GB	61,8	85,1	115,3	119,4	102,7	166%
CZ	49,6	53,1	72,1	60,9	76,8	155%
BE	90,0	89,3	107,2	118,2	75,1	83%
KR	-	-	24,9	101,3	49,8	200%
HU	22,6	17,1	17,6	16,7	46,8	207%
AT	44,1	49,8	49,7	45,6	44,8	102%
SK	56,5	51,7	44,4	37,2	32,7	58%
RO	47,0	48,5	38,7	29,9	23,3	50%
PL	11,8	11,1	11,9	12,6	19,0	161%
FR	12,1	14,4	14,7	14,7	18,3	151%
SL	13,8	6,3	8,1	7,4	17,2	125%
NL	0,2	0,4	4,3	6,4	6,4	3634%
CH	0,05	0,03	0,5	0,2	0,1	258%
BR	0,01	-	0,03	-	-	543%

Tabelle 19: Lieferanten-Länder – Treibhausgasemissionen Übersicht²⁴⁷

²⁴⁶ Der nächste Schritt, um in Europa weitere Treibhausgasreduktionen zu bewirken, ist einerseits der vermehrte Einsatz von Zugtransporten und andererseits der Wechsel zu nähergelegenen Lieferanten.

²⁴⁷ Die Lieferanten-Länder dieser Tabelle werden nach den absteigenden Treibhausgasemissionen von 2016 gereiht und angeführt. Das Abkürzungsverzeichnis im Anhang (siehe Kapitel 13, S.129) enthält die Beschreibung der Länderkürzel.

In der Tabelle 19 werden für jedes Land, aus dem Güter an MPT geliefert werden, die Treibhausgasemissionen angegeben. Zusätzlich zu der länderspezifischen Auswertung von Transport-Treibhausgasemissionen wird in der Tabelle auch die Entwicklung der Ergebnisse berücksichtigt. Die letzte Spalte gibt den prozentuellen Quotienten von jüngsten und dem ältesten berechneten Wert an. Die Länder mit den höchsten Treibhausgasemissionen im Jahr 2016 sind: Spanien (1.466 Tonnen), Deutschland (1.348 Tonnen), USA (970 Tonnen), Portugal (813 Tonnen), Indien (458 Tonnen), Italien (426 Tonnen) und China (208 Tonnen). Die Materiallieferungen dieser Länder sind also aus der Sicht des Umweltmanagements besonders kritisch. Daher ist es von Vorteil, gerade für diese Länder die Sourcing-Entscheidungen klimawirksam zu optimieren, wie zum Beispiel ein Wechsel zu alternativen und näher gelegenen Lieferanten oder der Einsatz von klimafreundlicheren Verkehrsmitteln (siehe Tabelle 12). Außerdem kann man daraus den Schluss ziehen, dass aus jenen Ländern auch die Lieferanten, die die meisten Treibhausgase verursachen, stammen. In der Tabelle 20 werden diese Lieferanten mit der dazugehörigen Lieferantenummer angegeben sowie die verursachten Treibhausgasemissionen im Jahr 2016, der prozentuelle Anteil, den diese Emissionen in Relation zu den gesamten Transportemissionen von MPT ausmachen und das Herkunftsland der Lieferanten.

Lieferantenname	Lieferantenummer	Land	t CO ₂ e	%-Anteil
Lieferant 1	Lieferantennr. 1	PT	587,4	8,4%
Lieferant 2	Lieferantennr. 2	IN	457,5	6,5%
Lieferant 3	Lieferantennr. 3	US	437,6	6,2%
Lieferant 4	Lieferantennr. 4	ES	293,0	4,2%
Lieferant 5	Lieferantennr. 5	DE	253,5	3,6%

Tabelle 20: Lieferanten mit den höchsten Treibhausgasemissionen²⁴⁸

In der folgenden Tabelle 21 werden nun die nach Tonnenkilometern berechneten Anteile der unterschiedlichen Verkehrsmittelgruppen dargestellt. Der betrachtete Zeitraum reicht von 2012 bis einschließlich 2016.

Verkehrsmittel	2012	2013	2014	2015	2016
LKW	68,7%	64,0%	53,5%	48,6%	55,7%
Luftfracht	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	1,8%
Seefracht	31,0%	35,8%	46,3%	51,0%	42,5%

Tabelle 21: Verkehrsmittelgruppen – Tonnenkilometeranteile Überblick

Im Jahr 2012 wurden noch etwas mehr als zwei Drittel der zurückgelegten Tonnenkilometer mit Straßentransporten durchgeführt, 31 Prozent wurden mit kombinierten Schifftransporten transportiert und nur 0,2 Prozent aller Materiallieferungen wurden mit kombinierten Luftfrachttransporten geliefert. Heute werden Straßentransporte immer öfter durch alternative und kombinierte

²⁴⁸ Da es sich hier um sensible Angaben handelt, werden die tatsächlichen Lieferantennamen und Lieferantenummern in dieser Arbeit nicht angegeben.

Transportsysteme ersetzt, so dass im Jahr 2016 LKW-Transporte nur noch 56 Prozent der gesendeten Tonnenkilometer ausmachen. Daraufhin ist der Einsatz von Luftfrachten und Seefrachten gestiegen, so dass die Transport-Tonnenkilometer zu rund 2 Prozent mit Lufttransporten und zu rund 43 Prozent zu Wasser bewältigt werden. Konkret bedeutet das für das Jahr 2016, dass die Straßentransporte in Summe einen Betrag von 65,2 Millionen Tonnenkilometer ergeben, die Lufttransporte 2,1 Millionen Tonnenkilometer und die Wassertransporte 49,8 Millionen Tonnenkilometer. Treibhausgasemissionen steigen und sinken proportional zu den zurückgelegten Tonnenkilometern und eingesetzten Verkehrsmitteln. Im Zeitraum von 2012 bis 2016 ist die Materialbestellmenge um das 1,76-fache und die

Treibhausgasemissionen um das 2,17-fache gestiegen. In Summe sind die Sourcing-Entscheidungen also weniger klimafreundlich geworden. Dies ist einerseits auf Änderungen im Lieferantennetzwerk und andererseits auf die eingesetzten Transportmittelsysteme zurückzuführen. Die Aufteilung des Lieferantennetzwerkes wurde schon anhand der Tabelle 18 und Tabelle 19 näher beschrieben, daher liegt nun der Fokus auf den eingesetzten Verkehrsmitteln. Die folgenden Tabellen geben für jedes Jahr seit 2012 die Emissionswerte der einzelnen Verkehrsmittelgruppen an sowie jenen Anteil, den die einzelnen Transportsysteme in Relation zu den gesamten Treibhausgasemissionen ausstoßen.

Verkehrsmittel	t CO ₂ e 2012	t CO ₂ e 2013	t CO ₂ e 2014	t CO ₂ e 2015	t CO ₂ e 2016
LKW	2.774	2.973	3.750	4.042	4.860
Luftfracht	59	62	122	245	1.071
Seefracht	410	517	967	1.160	1.069

Tabelle 22: Verkehrsmittelgruppen – Treibhausgasemissionen Überblick

Verkehrsmittel	%-Anteil 2012	%-Anteil 2013	%-Anteil 2014	%-Anteil 2015	%-Anteil 2016
LKW	85,5%	83,7%	77,5%	74,2%	69,2%
Luftfracht	1,8%	1,8%	2,5%	4,5%	15,2%
Seefracht	12,6%	14,5%	20,0%	21,3%	15,6%

Tabelle 23: Verkehrsmittelgruppen – Treibhausgasemissionsanteile Überblick

Grundsätzlich gilt es, Lufttransporte und Straßentransporte so weit wie möglich zu vermeiden und wo es möglich ist, Güter mit Containerschiffen und Schienentransporten zu transportieren. Ein wesentlicher Grund, warum die Treibhausgasemissionen überproportional zu den Liefermengen gestiegen sind, ist die Zunahme der Tonnenkilometer im Bereich der Lufttransporte und zwar von 0,2 Prozent im Jahr 2012 auf 1,8 Prozent im Jahr 2016 (siehe Tabelle 21). Grundsätzlich verfolgte MPT bis zum Jahr 2015 mit einem Tonnenkilometer-Luftfrachtanteil von 0,4 Prozent eine durchaus klimawirksame Beschaffungsstrategie. Im Jahr 2016 ist dieser Anteil allerdings stark angestiegen. Nachdem ein Flugzeugtransport die 10-fachen Emissionen eines LKWs und die rund 40-fachen Emissionen eines Containerschiffs verursacht, wirkt sich dieser scheinbar geringfügige Anstieg überproportional auf die

Treibhausgasemissionen aus. Denn obwohl nur 1,8 Prozent der gesamten zurückgelegten Tonnenkilometer mit Flugzeugen transportiert wurden, liegt der Anteil der Treibhausgasemissionen von Luftfrachttransporten bei rund 15 Prozent. Rund 69 Prozent der Treibhausgasemissionen werden LKW-Transporten zugewiesen, bei einem Tonnenkilometer-Anteil von 55,7 Prozent und rund 16 Prozent der Treibhausgasemissionen werden den Schifftransporten, die einen Tonnenkilometer-Anteil von 42,5 Prozent aufweisen, zugewiesen.

Die Entscheidungen des Supply Chain Managements der Jahre 2012 bis 2016 sind aus klimawirksamer Sicht zum einen von der negativen Entwicklung des zunehmenden Einsatzes von Luftfrachttransporten geprägt und zum anderen von dem positiven Trend, vermehrt Seefrachttransporte einzusetzen. Die ansteigende Entwicklung hin zu Schifftransportsystemen wird vor allem im Zeitraum von 2012 bis 2015 realisiert und die negative Entwicklung der ansteigenden Lufttransporte steht im Jahr 2016 im Vordergrund. Zusammenfassend gesehen sind seit 2012 die Treibhausgasemissionen von Straßen-Transporten um 175 Prozent, von Luftfrachttransporten um 1.809 Prozent und von Seefrachttransporten um 267 Prozent gestiegen.

6.5 Auswertung ausgewählter Fallbeispiele

Zusätzlich zur allgemeinen Bewertung der gesamten Materialbeschaffungen von MPT werden im Zuge dieser Arbeit auch ausgewählte Transporte im Detail untersucht. Diese Fallbeispiele beschreiben kombinierte Transporte, die individuell und spezifisch von MPT für eine Detailanalyse bestimmt wurden. Neben dem bestehenden Transportsystem werden jeweils auch alternative Transportsysteme untersucht, um so die Treibhausgas-Effizienz der bestehenden Lieferkette zu erheben.

Auch für dieses Kapitel gilt, wenn in der Folge von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen die Rede ist, handelt es sich stets um WTW-Werte – E_W und G_W .

6.5.1 Spanien

Die ersten Transportdienstleistungen, die im Detail untersucht werden, kommen von dem spanischen Unternehmen Betsaide. Die Transportfrequenz ist seit dem Jahr 2012 konstant und es werden im Schnitt zweimal pro Woche Sendungen von Elorrio in Spanien nach Lannach in Österreich transportiert. Bis zur fünfunddreißigsten Kalenderwoche im Jahr 2014 wurden die Transporte ausschließlich mit LKWs durchgeführt. Aber nachdem die Transporte von Betsaide die viertgrößten Treibhausgasverursacher aller Lieferanten sind (siehe Tabelle 20, S.99), hat das Supply Chain Management die Entscheidung getroffen, 25 Prozent der Sendungen

auf so genannte „Short Sea“-Transporte umzustellen. Diese Short Sea-Transporte werden mit dem LKW von Elorrio nach Barcelona geführt, von dort mit einer Fähre nach Livorno gefrachtet und schlussendlich wieder mit dem LKW von Livorno an den MPT Standort in Lannach gebracht. Die gesamte Strecke wird in der Abbildung 44 veranschaulicht und die gewonnenen Erkenntnisse zu den Transportsystemen – Distanz, Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen – werden in der Tabelle 25 und der Tabelle 26 verglichen.

Die folgenden drei Abbildungen zeigen einerseits die aktuell von MPT eingesetzten Transportsysteme – LKW- und Short Sea-Transporte – und andererseits wird ein drittes alternatives Transportsystem vorgeschlagen. Die Routen wurden mit dem Online-Tool ETW erstellt und entsprechen in ausreichender Näherung den tatsächlich zurückgelegten Strecken. Grau hinterlegte Routen stehen für LKW-Transporte, rot hinterlegte für Zugtransporte, orange hinterlegte für Flugzeugtransporte und blau hinterlegte für Wassertransporte.

Die erste Abbildung zeigt die Route des LKW-Transportsystems. Dabei wird die Strecke von 1.929 Kilometern vollständig per LKW zurückgelegt.



Abbildung 43: Spanien – Route der Transportdienstleistung LKW²⁴⁹

Die zweite Abbildung zeigt die Route des kombinierten Short Sea-Transportsystems. Die gesamte Strecke beträgt hier 2.014 Kilometer, wobei 1.292 Kilometer mit LKWs und 722 Kilometer mit Fähren zurückgelegt werden. Der auf Straßen transportierte Anteil entspricht dabei rund 64 Prozent und der zu Wasser zurückgelegte Anteil macht die restlichen 36 Prozent aus.

²⁴⁹ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

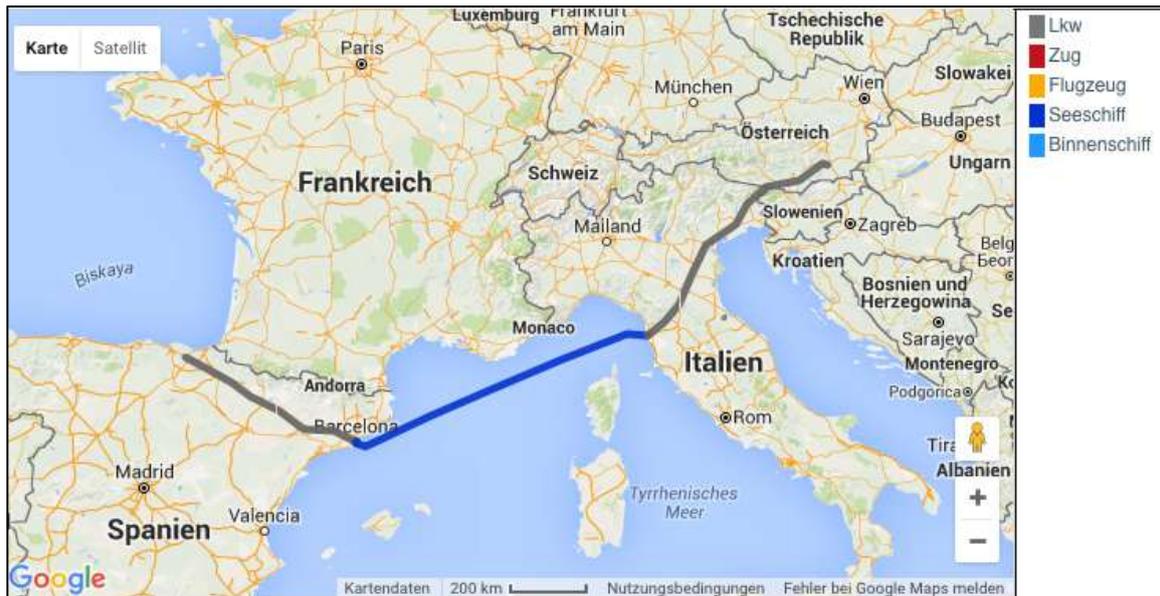


Abbildung 44: Spanien – Route der Transportdienstleistung Short Sea²⁵⁰

Die dritte Abbildung zeigt den Vorschlag einer alternativen Route, wo ausschließlich Schienenverkehrsmittel zum Einsatz kommen und eine Strecke von 2.145 Kilometern zurückgelegt wird. In der Regel wird bei Zugtransporten zwar der Vor- und Nachlauf mit LKWs durchgeführt, für diese alternative Route wird allerdings die von ETW empfohlene Route, die gleichzeitig die Treibhausgas-ärmste ist, direkt übernommen. Wie im Kapitel 6.2.5 beschrieben, kann für die Verkehrsmitteltypen dieser Arbeit angenommen werden, dass ein LKW-Transport die etwas vierfache Menge eines Zugtransportes an Treibhausgasen emittiert. Daher gilt, je größer der Streckenanteil der Zugtransporte ist, desto klimafreundlicher ist der Transport.



Abbildung 45: Spanien – Route der Transportdienstleistung Zug²⁵¹

²⁵⁰ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die Entwicklung der Transportdienstleistungen von Betsaide seit 2012. Die wichtigsten Erkenntnisse sind:

- Gewicht pro Jahr in Tonnen
- Durchschnittliche pro Transport zurückgelegte Distanz in Kilometern²⁵²
- Die aus den ersten beiden Angaben resultierenden Tonnenkilometer pro Jahr
- Die Anzahl und der prozentuelle Anteil der LKW-Transporte
- Die Anzahl und der prozentuelle Anteil der Short Sea-Transporte
- Die durchschnittliche Transportmenge einer einzelnen Sendung
- Der Energieverbrauch in Megajoule
- Die Treibhausgasemissionen in Tonnen CO₂e

Der Durchschnittswert für die zurückgelegte Distanz wird anteilig aus der LKW- und Short Sea-Strecke berechnet. Die durchschnittliche Liefermenge in Tonnen pro Transport wird zusätzlich angegeben, um sich über die Dimensionen der einzelnen Transporte ein besseres Bild machen zu können.

Jahr	Gewicht (t)	Tonnenkilometer (tkm)	LKW-Transporte	Short Sea-Transporte	Gewicht (t) / Transport	Distanz (km) / Transport
2012	2.943	5.676.698	96 (100%)	0 (0%)	30,7	1.929
2013	3.012	5.810.689	96 (100%)	0 (0%)	31,4	1.929
2014	2.457	4.755.903	88,1 (92%)	7,9 (8%)	25,6	1.936
2015	2.222	4.333.392	72 (75%)	24 (25%)	23,2	1.950
2016	2.037	3.972.642	72 (75%)	24 (25%)	21,2	1.950

Tabelle 24: Spanien – Gesamtübersicht der Transportdienstleistungen

Nachdem die gelieferten Transportmengen und eingesetzten Transportsysteme bekannt sind, kann mittels der im Abschnitt 6.1 beschriebenen Vorgehensweise der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen berechnet werden. Das Ergebnis der Berechnung ist der Verlauf des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2012 bis 2016 und wird in der Tabelle 25 angezeigt.

Jahr	LKW-Transporte	Short Sea-Transporte	Gewicht (t)	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (t CO ₂ e)
2012	96 (100%)	0 (0%)	2.943	5.575.085	423,0
2013	96 (100%)	0 (0%)	3.012	5.706.678	433,0
2014	88,15 (92%)	7,85 (8%)	2.457	4.652.426	353,2
2015	72 (75%)	24 (25%)	2.222	4.205.065	319,6
2016	72 (75%)	24 (25%)	2.037	3.854.999	293,0

Tabelle 25: Spanien – Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen

²⁵¹ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

²⁵² Hier wird der anteilige Mittelwert zwischen den Distanzen der LKW- und Short Sea-Transporte angegeben.

Die tabellarische Darstellung zeigt, dass die Treibhausgasemissionen seit 2012 um rund 30 Prozent reduziert werden konnten. Allerdings zeigt die Tabelle auch, dass die jährlichen Liefermengen – Gewicht in Tonnen – seit 2012 ebenfalls um rund 30 Prozent zurückgegangen sind. Grundsätzlich können die Sourcing-Entscheidungen von MPT also durchaus positiv bewertet werden, aber um die Frage beantworten zu können, ob die Einführung der Short Sea-Transporte den gewünschten Effekt gebracht hat oder ob die reduzierten Transportmengen zu diesem Ergebnis geführt haben, werden in der Tabelle 26 die Treibhausgasemissionen der drei Transportsysteme verglichen. Die Tabelle zeigt die Transportdistanz, den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für jeweils einen Transport der drei untersuchten Transportsysteme, bezogen auf das Jahr 2016.

Verkehrsmittel	Distanz (km)	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (kg CO ₂ e)
LKW	1.929	40.198	3.050
Short Sea	2.014	40.031	3.056
Zug	2.145	16.167	836

Tabelle 26: Spanien – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport

Diese Darstellung zeigt, dass eine Umstellung auf Short Sea-Transporte den Energieverbrauch lediglich um 0,4 Prozent reduziert und die Treibhausgasemissionen sogar um 0,2 Prozent erhöht hat. In Summe können die beiden eingesetzten Transportsysteme, bezüglich der Treibhausgasemissionen, als annähernd identisch betrachtet werden. Somit ist die eingangs gestellte Frage, worauf die deutlich gesunkenen Verbrauchs- und Emissionswerte der letzten Jahre zurückzuführen sind, geklärt: Es sind ausschließlich die reduzierten Transportmengen dafür verantwortlich. Auch wenn die lokalen Umweltauswirkungen nicht Bestandteil des Aufgabenbereichs dieser Diplomarbeit sind, wird an dieser Stelle abermals an den zusätzlichen negativen Effekt, den Schweröltransporte durch den Ausstoß von Schwefeldioxid erzeugen, erinnert (siehe Kapitel 6.2.3, S.84). Dieser Faktor kann zusätzlich in die Sourcing-Entscheidungen einfließen.

Da die Transporte von Betsaide allein für vier Prozent der gesamten durch den Transport von MPT verursachten Emissionen verantwortlich sind (siehe Tabelle 20), wird die dritte Alternative, nämlich auf Zugtransporte umzusteigen, für sinnvoll erachtet. Ein Wechsel von LKW- auf Zugtransporte führt zu einer Treibhausgasreduktion von rund 73 Prozent (siehe Tabelle 26).

6.5.2 Schweden

In diesem Fallbeispiel werden die Lieferungen des Unternehmens Borgwarner Torqtransfer Systems untersucht. Mit einer seit 2012 konstanten Transportfrequenz von durchschnittlich 4,6 Transporten pro Woche werden die Sendungen des schwedischen Lieferanten von Landskrona an den MPT Standort in Ilz transportiert. Im Detail wird die Route dieser Transportart in der Abbildung 46 dargestellt. Bis zur sechsten Kalenderwoche des Jahres 2014 wurden die Transporte mit LKWs durchgeführt, danach wurde das Liefersystem vollständig umgestellt, so dass nun ausschließlich kombinierte Transporte, dessen genaue Route in der Abbildung 47 wiedergegeben wird, eingesetzt werden. Für das Jahr 2016 wird eine Emissionsmenge von 113,4 Tonnen CO₂e prognostiziert, womit das schwedische Unternehmen für rund zwei Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen von MPT verantwortlich ist. Dementsprechend ist das Einsparungspotential durch Sourcing-Entscheidungen für dieses Unternehmen, im Vergleich zu anderen Unternehmen, deutlich höher. Mit diesem Hintergrund wurde schon die Umstellung der Transportsysteme im Jahr 2014 veranlasst.

Die folgenden Routen wurden, wie auch beim ersten Fallbeispiel, mit dem ETW Online-Tool erstellt und entsprechen in ausreichender Näherung den tatsächlich zurückgelegten Strecken. Daher gilt das gleiche Farbleitsystem für die Darstellung der Routen wie im Unterpunkt 6.5.1. Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der Transportsysteme werden in Tabelle 27 und der Tabelle 28 verglichen.



Abbildung 46: Schweden – Route der Transportdienstleistung LKW²⁵³

Beim LKW-Gütertransport beträgt die Summe der im Straßenverkehr zurückgelegten Strecke 1.291 Kilometer. Nur eine Teilstrecke von 50 Kilometern, die mit einer RoRo-Fähre zurückgelegt wird, entfällt auf die Schifffahrt.

²⁵³ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Beim kombinierten Transport werden die Güter zunächst auf der Straße von Landskrona nach Trelleborg gefahren. Dort setzen die LKWs dann auf einer RoRo-Fähre nach Rostock über, wo die Fracht auf einen Zug geladen und nach Brno transportiert wird. Von Brno wird die restliche Strecke zum Standort Ilz wieder auf der Straße zurückgelegt.



Abbildung 47: Schweden – Route der Transportdienstleistung kombinierter Transport²⁵⁴

Die gesamte Transportdistanz beträgt 1.333 Kilometer, wobei rund 60 Prozent der Strecke auf Schienen, rund 28 Prozent auf der Straße und rund 12 Prozent zu Wasser zurückgelegt werden. Äquivalent zur Tabelle 24 des ersten Fallbeispiels fasst die folgende Tabelle die wichtigsten Informationen aller Lieferungen seit 2012 zusammen.

Jahr	Gewicht (t)	Tonnenkilometer (tkm)	LKW-Transporte	Short Sea-Transporte	Gewicht (t) / Transport	Distanz (km) / Transport
2012	4.226	5.456.383	220,8 (100%)	0 (0%)	19,1	1.291
2013	3.252	4.198.677	220,8 (100%)	0 (0%)	14,7	1.291
2014	3.755	4.987.132	25,5 (11,5%)	195,3 (88,5%)	17,0	1.328
2015	2.616	3.487.036	0 (0%)	220,8 (100%)	11,9	1.333
2016	2.135	2.845.552	0 (0%)	220,8 (100%)	9,7	1.333

Tabelle 27: Schweden – Gesamtübersicht der Transportdienstleistungen

²⁵⁴ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Anhand dieser Informationen und mittels der im Abschnitt 6.1 beschriebenen Berechnungen, wird der Verlauf des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen für den Zeitraum 2012 bis 2016 bestimmt und in der folgenden Tabelle angezeigt.

Jahr	LKW-Transporte	Kombinierte-Transporte	Gewicht (t)	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (t CO ₂ e)
2012	220,8 (100%)	0 (0%)	4.226	5.358.714	406,6
2013	220,8 (100%)	0 (0%)	3.252	4.123.521	312,9
2014	25,5 (11,5%)	195,3 (88,5%)	3.755	3.165.975	218,1
2015	0 (0%)	220,8 (100%)	2.616	2.060.698	138,9
2016	0 (0%)	220,8 (100%)	2.135	1.681.607	113,4

Tabelle 28: Schweden – Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen

Nachdem die Treibhausgasemissionen und der Energieverbrauch seit 2012 kontinuierlich reduziert werden konnten – heute werden nur noch 28 Prozent der Treibhausgase von 2012 emittiert – können die Sourcing-Entscheidungen dieses Fallbeispiels grundsätzlich positiv bewertet werden. Zum einen wurden die Liefermengen insgesamt um ungefähr die Hälfte reduziert und zum anderen scheint der Wechsel auf das kombinierte Transportsystem erfolgreich zur Reduktion der Emissionen geführt zu haben. Wie hoch der klimabezogene Mehrwert dieser Umstellung tatsächlich ist, wird in der Tabelle 29, die die Treibhausgasemissionen der beiden Transportsysteme vergleicht, angegeben. Die Tabelle zeigt die Transportdistanz, den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für genau einen LKW- und genau einen kombinierten Transport. Für die Berechnungen wird die Liefermenge einer typischen Sendung aus dem Jahr 2016 verwendet.

Verkehrsmittel	Distanz (km)	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (kg CO ₂ e)
LKW	1.291	12.258	930
Kombiniert	1.333	7.616	513

Tabelle 29: Schweden – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport

Die Auswertung zeigt, dass eine Umstellung auf kombinierte Transporte zu wesentlichen Einsparungen im Energieverbrauch und bei Treibhausgasen führt. Durch einen Wechsel von LKW-Transporten zu kombinierten Transporten wird eine Reduktion von 38 Prozent im Energieverbrauch und von 45 Prozent bei den Emissionen erreicht.

6.5.3 China

Dieses Fallbeispiel zeigt die Analyse von zwei Lieferungen der Unternehmensgruppe Magna Electronics Europe aus zwei verschiedenen Orten in China – Zhangjiagang und Changsha. Somit sind diese Transporte aktuell nicht Bestandteil des Supply Chain Managements von MPT. Da es sich aber um zukünftige Transportlieferungen, die noch in der Planungsphase sind, handelt, wurde entschieden, eine Treibhausgasbewertung der unterschiedlichen möglichen Transportvarianten für Magna Electronics Europe zu erstellen und die Ergebnisse ebenfalls in diese Arbeit aufzunehmen.

Zhangjiagang

Beim ersten Transport, dem die Taric-Nummer 8473308000 zur Magna-internen Identifikation zugewiesen wird, werden Güter von Zhangjiagang in China an den neuen Magna Electronics Standort in Waldshut-Tiengen in Deutschland geliefert. Die hier angegebenen Routen wurden mit dem ETW Online-Tool erstellt. In der Folge werden drei unterschiedliche Transportarten zunächst vorgestellt und anschließend nach deren Treibhausgasemissionen verglichen.

Die Abbildung 48 zeigt eine mögliche Route von Luftfrachttransporten, durchgeführt ab Shanghai Hongqiao nach Frankfurt am Main, wobei der Vor- und Nachlauf jeweils mit LKW-Transporten erfolgt. Die Gesamtstrecke beträgt 9.463 Kilometer, wovon 8.920 Kilometer der Luftfracht und 543 Kilometer dem Straßentransport zugewiesen werden.



Abbildung 48: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Flugzeug²⁵⁵

²⁵⁵ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Die zweite mögliche Route ist der Einsatz von Schienentransporten von Wuhan nach Hamburg im Hauptlauf und mit LKW-Transporten im Vor- und Nachlauf, vom Lieferanten zum Bahnhof in Wuhan und vom Bahnhof in Hamburg zum Standort in Waldshut-Tiengen. Die Gesamtstrecke dieser Route beträgt 11.600 Kilometer, wobei 1.632 Kilometer mit dem LKW und 9.968 Kilometer mit dem Zug zurückgelegt werden.



Abbildung 49: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Zug²⁵⁶

In der dritten möglichen Route wird für den Hauptlauf der Transport mit Containerschiffen gewählt. Der Versandhafen dabei ist Taicang in China und der Empfängerhafen Koper in Slowenien. Auch hier werden für den Vor- und Nachlauf Straßentransporte eingesetzt. Die Gesamtstrecke dieses Transportsystems beträgt 16.741 Kilometer, wobei 874 Kilometer mit dem LKW und 15.893 Kilometer mit dem Schiff zurückgelegt werden.

²⁵⁶ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)



Abbildung 50: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Containerschiff²⁵⁷

Die tabellarische Aufschlüsselung dieser drei möglichen Transportvarianten – Luft, Zug, Schiff – zeigt, dass die Variante mit dem Zugtransport, dicht gefolgt von jener mit Containerschiffen, die umweltfreundlichste der drei ausgewählten Systeme sind. Der Einsatz der Luftfracht-Variante führt zu den 22-fachen Emissionen der Zugtransport-Variante und zu den 20-fachen Emissionen der Schifftransport-Variante. Oder anders ausgedrückt: Mit Lieferungen aus China per Zug statt per Flugzeug können rund 95 Prozent der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Der Unterschied zwischen dem Zug- und dem Schifftransport ist hingegen vernachlässigbar, außer man beachtet die im Kapitel 6.2.3 beschriebenen schädlichen lokalen Emissionen in Hafenstädten.

Verkehrsmittel	Distanz (km) / Transport	Distanz (km) Hauptlauf	Distanz (km) Vor- und Nachlauf	Gewicht (kg) / Woche	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (kg CO ₂ e)
Zug	11.600	9.968	1.632	1.100	5.658	335,2
Schiff	16.740	15.893	874	1.100	4.847	373,5
Luft	9.463	8.920	543	1.100	101.966	7.536,9

Tabelle 30: Zhangjiagang – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport

Aus unterschiedlichen Gründen, wie zum Beispiel Sicherheit, Distanz und Organisation, kommt ein LKW-Transport für diese Strecke nicht in Frage. Um die Ergebnisse der drei Transportarten zusätzlich in Relation zu setzen, wurde auch das theoretische Ausmaß an Emissionen für einen LKW-Transport berechnet. Bei gleichen Randbedingungen emittiert ein LKW auf der 10.586 Kilometer langen Strecke von Zhangjiagang nach Waldshut-Tiengen 867,8 Kilogramm CO₂e-Treibhausgase und ist somit immer noch wesentlich umweltfreundlicher als der Lufttransport, aber auch deutlich schädlicher als Zug- und Schifftransportsysteme.

²⁵⁷ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Changsha

Der zweite Transport, der von Changsha in China zum Magna Electronics Europe Standort in Waldshut-Tiengen durchgeführt wird, hat die Taric-Nummer 8534001100. Auch für diese Lieferung werden drei unterschiedliche Transportarten – Luft, Schiene, Wasser – nach ihren Emissionen bewertet. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Routen wurden jeweils mit dem ETW Online-Tool erstellt.

Die Abbildung 51 zeigt einen möglichen Luftfrachttransport. Die Flugzeugstrecke führt dabei von Changsha Huanghua nach Frankfurt am Main und sowohl Vor- als auch Nachlauf erfolgen im Straßenverkehr. Insgesamt beträgt die Strecke 9.096 Kilometer, wovon 8.696 Kilometer der Luftfracht und 400 Kilometer dem Straßentransport zugewiesen werden.



Abbildung 51: Changsha – Route der Transportdienstleistung Flugzeug²⁵⁸

Die Abbildung 52 zeigt den Einsatz von Schienentransporten von Wuhan nach Hamburg im Hauptlauf und weiters die LKW-Transporte im Vor- und Nachlauf, vom chinesischen Lieferanten zum Bahnhof in Wuhan und vom Bahnhof in Hamburg zum Standort in Waldshut-Tiengen. Die Gesamtstrecke dieser Route beträgt 11.190 Kilometer, wobei 1.222 Kilometer mit dem LKW und 9.968 Kilometer mit dem Zug zurückgelegt werden.

²⁵⁸ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)



Abbildung 52: Changsha – Route der Transportdienstleistung Zug²⁵⁹

Die Abbildung 53 zeigt die Route des Transports mit Containerschiffen im Hauptlauf. Der Versandhafen liegt in Guangzhou und der Empfängerhafen in Koper. Auch hier werden für den Vor- und Nachlauf Straßentransporte eingesetzt. Die Gesamtstrecke dieses Transportsystems beträgt 15.971 Kilometer, wobei 1.490 Kilometer mit dem LKW und 14.481 Kilometer mit dem Schiff zurückgelegt werden.

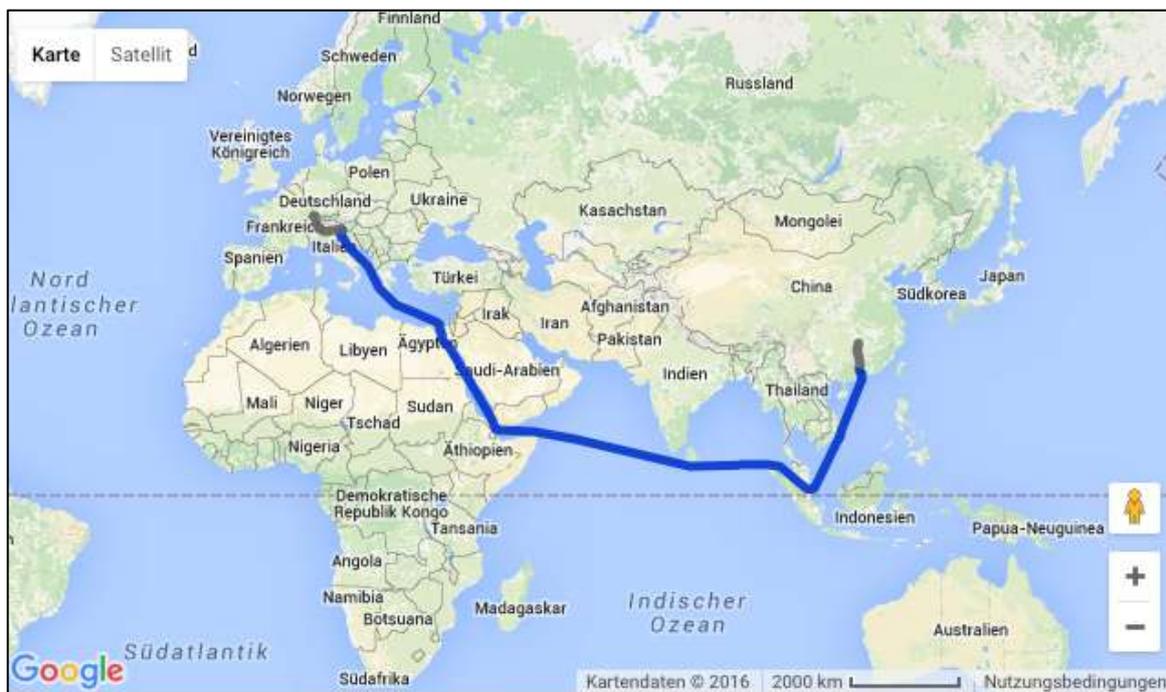


Abbildung 53: Changsha – Route der Transportdienstleistung Containerschiff²⁶⁰

²⁵⁹ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

Die folgende Tabelle gibt die Treibhausgasemissionen für die drei beschriebenen Transportvarianten – Luft, Zug, Schiff – an sowie das Verhältnis der zurückgelegten Strecken zueinander. Die Auswertung zeigt, dass die Zugtransport-Variante, dicht gefolgt von der Variante mit Containerschiffen, die umweltfreundlichste Transportart ist. Der Einsatz der Luftfracht-Variante führt zu den 24-fachen Emissionen der Zugtransport-Variante und zu den 18-fachen Emissionen der Schifftransport-Variante. Oder anders ausgedrückt: Mit Lieferungen aus China per Zug statt per Flugzeug können 96 Prozent der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Der Unterschied zwischen dem Zug- und dem Schifftransport ist hingegen vernachlässigbar.

Verkehrsmittel	Distanz (km) / Transport	Distanz (km) Hauptlauf	Distanz (km) Vor- und Nachlauf	Gewicht (kg) / Woche	Energieverbrauch (MJ)	THG-Emissionen (kg CO ₂ e)
Zug	11.190	9.968	1.222	450	2.133	123,4
Schiff	15.971	14.481	1.490	450	2.124	163,3
Luft	9.096	8.696	400	450	40.607	3.001,5

Tabelle 31: Changsha – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport

Für diese Lieferung gilt, wie auch für die zuerst beschriebene Lieferung aus China, dass in der Praxis der Einsatz von Straßentransportmitteln nicht realistisch ist. Aus diesem Grund wird für diesen Fall keine LKW-Route vorgeschlagen. Dennoch wurden die Treibhausgasemissionen für einen Straßentransport von Changsha nach Waldshut-Tiengen berechnet, um so die Ergebnisse der drei vorgeschlagenen Transportarten in Relation zu setzen. Bei gleichen Randbedingungen emittiert ein LKW-Transport auf dieser 10.689 Kilometer langen Strecke 358,4 Kilogramm CO₂e. Im Vergleich zum Zug-Transport ist das die dreifache Menge, im Vergleich zum Containerschifftransport die doppelte Menge und im Vergleich zum Flugzeugtransport ein Achtel der Menge.

6.6 Lieferanten mit Luftfrachttransporten

Da die Treibhausgasemissionen von Luftfrachttransporten um ein Vielfaches höher sind als die von alternativen Verkehrsmitteln (siehe Tabelle 12, S.87), sind gerade Lieferungen mit diesem Verkehrsmitteltyp besonders kritisch und weisen ein hohes Treibhausgas-Einsparungspotential auf. Daher werden in diesem Unterpunkt alle Lieferanten, deren Sendungen mit Flugzeugen erfolgen, aufgelistet und nach Klimaauswirkungen bewertet. So werden die Lieferanten mit dem größten Treibhausgaspotential erkannt und MPT kann in weiterer Folge die entsprechenden Sourcing-Entscheidungen unter diesem Aspekt neu überprüfen. Die folgende Tabelle ordnet jedem Lieferanten – Lieferantennamen – das Herkunftsland, die durch Luftfrachttransporte bedingten Treibhausgasemissionen und die prozentuale Entwicklung zu. Die Summe aller Luftfrachttransport-Treibhausgasemissionen ergibt

²⁶⁰ Abbildung entnommen aus: <http://www.ecotransit.org/calculation.de.html> (07.12.2016)

rund 1.000 Tonnen CO₂e, was 15 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen von MPT ausmacht.

Lieferantenname	Land	kg CO ₂ e 2012	kg CO ₂ e 2013	kg CO ₂ e 2014	kg CO ₂ e 2015	kg CO ₂ e 2016	Entwicklung
Lieferant 1	US	-	-	-	9.769	437.629	4480%
Lieferant 2	IN	-	-	-	46.818	429.907	918%
Lieferant 3	US	51.028	49.561	57.933	63.070	65.012	127%
Lieferant 4	KR	-	-	24.894	49.817	49.817	200%
Lieferant 4	MX	-	-	11.656	-	23.140	199%
Lieferant 5	US	2.795	5.589	13.973	13.973	16.768	600%
Lieferant 6	US	-	-	-	13.337	13.337	100%
Lieferant 7	US	-	-	-	-	8.385	-
Lieferant 8	MX	-	-	-	9.001	8.240	92%
Lieferant 9	US	5.371	6.122	8.983	9.861	8.236	153%
Lieferant 10	MX	-	-	3.626	3.626	3.626	100%
Lieferant 11	CA	-	-	-	-	3.387	-
Lieferant 12	US	-	852	1.363	1.363	1.930	227%
Lieferant 13	CA	-	-	-	1.255	1.255	100%
Lieferant 14	US	-	-	-	286	215	75%
Lieferant 15	US	-	-	-	22.408	-	0%

Tabelle 32: Luftfrachttransportlieferanten – Treibhausgasemissionen der Luftfrachttransporte

Die Priorität, mit der die Sourcing-Entscheidungen dieser Lieferanten überarbeitet werden sollen, ist einerseits von den gesamten Treibhausgasemissionen und andererseits vom Trend abhängig. Die fünf größten Treibhausgas-Verursacher, für die vorrangig nach alternativen Logistikketten geforscht werden soll, sind:

- Lieferant 1 (USA)
- Lieferant 2 (Indien)
- Lieferant 3 (USA)
- Lieferant 4 (Südkorea)
- Lieferant 5 (Mexiko)

Und zu den Lieferanten, deren Liefersysteme wegen ihres kritischen Trends überarbeitet werden sollten, gehören:

- Lieferant 1 (USA)
- Lieferant 2 (Indien)
- Lieferant 6 (USA)
- Lieferant 4 (Südkorea)
- Lieferant 5 (Mexiko)
- Lieferant 3 (USA)²⁶¹

²⁶¹ Da es sich hier um sensible Angaben handelt, werden die tatsächlichen Lieferantennamen und Lieferantennummern in dieser Arbeit nicht angegeben.

Aus der Tabelle 32 gehen auch zwei positive Beispiele hervor, die an dieser Stelle erwähnt werden sollen. Zum einen wurden die Lieferungen von „Lieferant 2“ im Jahr 2016 zu 50 Prozent auf kombinierte Containerschifftransporte umgestellt, wodurch eine Treibhausgaseinsparung von rund 402 Tonnen bewirkt werden konnte. Und zum anderen wurden die gesamten Luftfrachttransporte des Lieferanten „Lieferant 15“ im Jahr 2016 auf Seefrachttransporte umgestellt (daher zeigt dieser Lieferant in der Tabelle 32 im Jahr 2016 auch keine Emissionen an) und somit eine Treibhausgaseinsparung von 566 Tonnen gewonnen. Diese zwei Beispiele sollen als Motivation für zukünftige Sourcing-Entscheidungen gelten.

7 Ergebnisse der Diplomarbeit

In diesem Kapitel werden sämtliche Ergebnisse, die im Rahmen der Arbeit erzielt wurden, in kurzer und übersichtlicher Form zusammengefasst.

7.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche bildet die grundlegende Basis für die Ergebnisse dieser Diplomarbeit. Allgemein wurde bei der Recherche großer Wert darauf gelegt, dass qualitativ hochwertige und wissenschaftlich belegte Quellen verwendet werden. Klimaschutz und Treibhausgasemissionen sind grundsätzlich allgemein bekannte Begriffe, aber um Maßnahmen aus diesem Bereich im eigenen Arbeitsumfeld umzusetzen, müssen diese gut begründet sein. Daher wurde im Zuge der Literaturrecherche in den Kapiteln 4 und 5 ein theoretisches Grundlagenwissen über die ökologischen Aspekte des Transportwesens ausgearbeitet. Außerdem gibt die Untersuchung einen allgemeinen Überblick über die aktuellen Vorgaben, Methoden und Ziele im Umweltmanagement.

Ein weiteres Ergebnis der Recherche ist die Zusammenfassung der gegenwärtig verfügbaren und relevanten Treibhausgas-Bewertungsmethoden im Transportwesen. In dieser Arbeit werden, neben der grundsätzlichen Vorgehensweise der Bewertung, auch verschiedene konkrete Methoden und Werkzeuge zur Berechnung vorgestellt. Außerdem wird beschrieben, was die Ergebnisse einer Treibhausgasbilanzierung aussagen und wie diese zu interpretieren sind.

7.2 Eingabemaske

Auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche wurde eine Eingabemaske erstellt (siehe Kapitel 6.3), mit der das Supply Chain Management von MPT die Treibhausgasemissionen einer typischen Transportdienstleistung kurzerhand und mühelos berechnen kann. Der Rechner wurde im Standardprogramm Excel angefertigt und es wurde besonders darauf Acht gegeben, dass die Eingabemaske so einfach und allgemeinverständlich wie möglich aufgebaut ist. So muss der Anwender nur drei Werte – Entfernung, Frachtgewicht und Verkehrsmitteltyp – zur Transportdienstleistung angeben, damit er einen Ergebniswert für die entstehenden direkten und gesamten Emissionen erhält. Zusätzlich zu dem Wert werden die Treibhausgasemissionen mit äquivalenten Beispielen in Relation gesetzt, damit sich der Anwender ein besseres Bild über die Aussagekräftigkeit des Resultats machen kann.

Das Ziel ist, diese Eingabemaske als Entscheidungshilfe im Supply Chain Management von MPT zu etablieren.

7.3 Vergleich der Verkehrsmitteltypen

Neben der allgemeinen Treibhausgasberechnung werden zusätzlich die einzelnen für die Anwendung von MPT festgelegten Verkehrsmitteltypen verglichen und bewertet. So wird einerseits ein generelles Bewusstsein über die Auswirkungen der Sourcing-Entscheidungen geschaffen und andererseits lässt sich anhand der beschriebenen Vor- und Nachteile leichter und schneller einschätzen, wie sich die Lieferketten-Entscheidungen auf die Treibhausgasemissionen auswirken. Der Transportmittelvergleich im Kapitel 6.2.5 zeigt folgendes Ergebnis:

- Containerschiff- und Zugtransporte emittieren durchschnittlich am wenigsten Treibhausgase.
- LKW- und Fährentransporte emittieren rund die vierfache Menge an Treibhausgasen wie Containerschiff- und Zugtransporte.
- Luftfrachttransporte verursachen rund die vierzigfache Menge an Treibhausgasemissionen wie Containerschiff- und Zugtransporte sowie die zehnfache Menge wie LKW- und Fährtransporte.

7.4 Treibhausgasemissionen der Materialbeschaffung

Die Auswertung der gesamten durch Materialbeschaffungen von MPT verursachten Emissionen seit 2012 (siehe Kapitel 6.4) gibt einen Überblick über die ökologische Entwicklung der Sourcing-Entscheidungen und bewertet den Globalisierungstrend der letzten Jahre. Weiters wird festgestellt, wie sich die Transportemissionen in Relation zu den Änderungen der Materialbestellungen entwickeln. Somit wird gezeigt wie klimawirksam bisher die Sourcing-Entscheidungen getroffen wurden. Außerdem gibt die Auswertung an, welche Ländergruppen und welche Länder das höchste Treibhausgas-Reduktionspotential aufweisen sowie welche Lieferanten und Transportdienstleistungen von einem ökologischen Standpunkt her neu geprüft werden sollen.

7.5 Bewertung ausgewählter Fallbeispiele

Zusätzlich zu der allgemeinen Analyse und Bewertung der Materialbeschaffungen werden ausgewählte Transportdienstleistungen im Detail analysiert und mit alternativen Lieferketten verglichen. So werden sowohl ökologisch erfolgreiche Sourcing-Entscheidungen, wie die Umstellung von LKW- auf Schienentransporte (siehe Kapitel 6.5.2), als auch negative Beispiele von LKW-, Fähren- und Luftfrachttransporten (siehe Kapitel 6.5.1 und 6.5.3) aufgezeigt. Für die Fallbeispiele mit hohem Treibhausgas-Einsparungspotential, ist es sinnvoll, dass die vorgeschlagenen Routen und Lieferketten von der Logistikabteilung von MPT auf eine mögliche Umstellung überprüft werden.

8 Schlussfolgerungen der Diplomarbeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit und vor allem im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass die vorhandene Literatur und die theoretischen Konzepte für die Bereiche Umweltmanagement und Nachhaltigkeit im Transportwesen zwar sehr umfangreich sind, aber nur bis zu einem gewissen Grad konkrete Konzepte für die praktische Umsetzung von nachhaltigen Optimierungen liefern. Außerdem wurde beobachtet, dass Unternehmen zwar grundsätzlich gewillt sind in Nachhaltigkeit und Umweltschutz zu investieren, aber letztendlich noch weit davon entfernt sind Geschäftsmodelle drastisch zu verändern und dass nachhaltige Innovationen zum Standard werden.

Die vorliegende Diplomarbeit zeigt, dass die Unternehmensführung von MPT grundsätzlich das Bestreben hat, weitere Schritte und Maßnahmen in Richtung Nachhaltigkeit zu setzen. Ob und in welchem Umfang ökologische Parameter, wie zum Beispiel die Beachtung von Treibhausgasemissionen einer Transportdienstleistung, in die Sourcing-Entscheidungen des Supply Chain Managements aufgenommen werden, wird sich aber erst in der Zukunft zeigen.

Zumindest ist eine Konsequenz dieser Arbeit die Schaffung eines stärkeren Bewusstseins über die ökologischen Auswirkungen der Transportdienstleistungen, die nun besser verständlich und konkret vorstellbar sind. Außerdem wurde der Grundstein zur Emissionsoptimierung der Sourcing-Entscheidungen gelegt. Im besten Fall bewirken die vorliegenden Ausführungen, dass die Eingabemaske in Zukunft als Entscheidungshilfe für die Konzeptionierung der Materialbeschaffung eingesetzt wird und somit zur Emissionsoptimierung im Transportwesen führt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde bereits im Vorfeld festgelegt, dass die wirtschaftliche Bewertung der Materialtransporte nicht Teil der Aufgabenstellung ist. Daher wird an dieser Stelle vorgeschlagen, im nächsten Schritt eine Brücke zwischen einer nachhaltigen und einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise zu schlagen und die Auswirkungen der ökologischen Optimierungen auf wirtschaftliche Parameter, wie zum Beispiel Transportkosten und Lieferdauer, zu untersuchen. Für diese Analyse wird angeregt, vorerst jene Transporte mit besonders hohem Emissionsoptimierungspotential zu betrachten.

9 Literaturverzeichnis

Appel, F.; Beckmann, C.: Delivering Tomorrow, Towards Sustainable Logistics, Deutsche Post AG, Bonn, 2010

Azlina, A. A.; Law, S. H.; Mustapha, N. H. N.: Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO₂ emission in Malaysia, in: Energy Policy, Volume 73, 2014, S.598-606

Baumgartner, R. J.; Ebner, D.: Corporate Sustainability Strategies, Sustainability Profiles and Maturity Levels, in: Sustainable Development, Volume 18 / Issue 3, 2010, S.76-89

Bhatia, P.; Ranganathan, J.; World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): The Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition), World Resources Institute, Washington DC, 2004

Braun, D.: Von welchen Supply-Chain-Management-Maßnahmen profitieren Automobilzulieferer?, Eine wertorientierte Analyse an der Schnittstelle zwischen Zulieferer und Automobilhersteller, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2011

Bretzke, W. R.; Barkawi, K.: Nachhaltige Logistik, Antworten auf eine globale Herausforderung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010

Brunner, F. J.: Japanische Erfolgskonzepte, KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production Management, Carl Hanser Verlag München, 2008

Bundesamt für Umwelt (BAFU): Vom Menschen verursachte Treibhausgase, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), 2015

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr), Europäische Norm (EN) 16258, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2012

Devika, K.; Jafarian, A.; Nourbakhsh, V.: Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach, A comparison of metaheuristics hybridization techniques, in: European Journal of Operational Research, Volume 235 / Issue 3, 2014, S.594-615

Durakbasa, N.M.: End-of-Life Management für die Nachhaltigkeit moderner Fertigungsprozesse, Austauschbau und Messtechnik, Institut für Fertigungstechnik, Technische Universität Wien, Wien, 2008

Ebel, B.: Produktionswirtschaft, Reihe: Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft, 9. überarbeitete Auflage, NWB Verlag, Ludwigshafen, 2009

Elkington, J.: Cannibals with Forks, The Triple Bottom Line of 21st Century Business, Capstone Publishing Limited, Oxford, 1997

EU Climate Change Expert Group (CCXG): The 2°C Target, Background on Impacts, Emission Pathways, Mitigation Options and Costs, Version 9.1, Climate Emergency Institute, Pender Island, 2008

Fercoq, A.; Lamouri, S.; Carbone, V.: Lean/Green integration focused on waste reduction techniques, in: Journal of Cleaner Production, Volume 137, 2016, S.567-578

Giddings, B.; Hopwood, B.; O'Brien, G.: Environment, Economy and Society, Fitting them together into Sustainable Development, in: Sustainable Development, Volume 10 / Issue 4, 2002, S.187-196

Gimenez, C.; Sierra, V.; Rodon, J.: Sustainable operations, Their impact on the triple bottom line, in: International Journal of Production Economics, Volume 140 / Issue 1, 2012, S.149-150

Glavas, A.; Mish, J.: Resources and Capabilities of Triple Bottom Line Firms: Going Over Old or Breaking New Ground?, in: Journal of Business Ethics, Volume 127 / Issue 3, 2015, S.623-642

Gruden, D.: Umweltschutz in der Automobilindustrie, Skriptum zur Vorlesung (LVA-Nr. 315.667), Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik E315, Wien, 2016

Gruden, D.: Umweltschutz in der Automobilindustrie, Motor, Kraftstoffe, Recycling, PRAXIS/ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2008

Herkommer, E.; Bartol, A.: Der aktuelle Begriff: Nachhaltigkeit, Fachbereich VIII, Deutscher Bundestag, Berlin, 2004

Herry, M.; u.a.: Verkehr in Zahlen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Abteilung V/Infra 5, Wien, 2007

Ingenieurgesellschaft für Verkehrswesen (IVE); Infrac AG – Consulting, Analysis and Research (INFRAS); Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu): Methodology and Data Update, 3rd revised edition, Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports Initiative (EWI), Berne/Hannover/Heidelberg, 2016

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2013 – The Physical Science Basis, Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2013

Jayaram, J.; Avittathur, B.: Green supply chains, A perspective from an emerging economy, in: International Journal of Production Economics, Volume 164, 2015, S.234-244

Jung, E.; Juchler, I.: Sachanalyse Globalisierung, in: Journal of Social Science Education, 2002, S.1-16

Kannegiesser, M.; Günther, H.-O.; Autentrieb, N.: The time-to-sustainability optimization strategy for sustainable supply network design, in: Journal of Cleaner Production, Volume 108, 2015, S.1-13

Kaplan, R. S.; Norton, D. P.: The Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action, Harvard Business Press, Boston, 1996

Koplin, J.; Seuring, S.; Mesterharm, M.: The Automobile Industry and Sustainability, Incorporating sustainability into supply chain management in the automotive industry – the case of Volkswagen AG, in: Journal of Cleaner Production, Volume 15, 2007, S.1053-1062

Kranke, A.; Schmied, M.; Schön, A. D.: CO₂-Berechnung in der Logistik, Datenquellen, Formeln, Standards, 1. Auflage, Verlag Heinrich Vogel, München, 2011

Kranke, A.: CO₂-Berechnung – Seeschifffahrt, Der Fußabdruck eines Seetransportes, in: VerkehrsRUNDschau, 3, 2011, S.40-43 (zit. 2011a)

Kranke, A.: CO₂-Berechnung – Luftfracht, Die Eigenheiten des Luftverkehrs, in: VerkehrsRUNDschau, 4, 2011, S.32-35 (zit. 2011b)

Kuhlang, P.; u.a.: Logistik, Skriptum zur Unterstützung der LVA Logistik, 4. überarbeitete Auflage, Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung Eigenverlag, Wien, 2010

Lenz, H. P.; Prüller, S.: Emissionen und Immissionen von Abgaskomponenten, Untertitel, Fortschritt Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 528, VDI Verlag, Düsseldorf, 2003

Malviya, R.K.; Kant, R.: Hybrid decision making approach to predict and measure the success possibility of green supply chain management implementation, in: Journal of Cleaner Production, Volume 135, 2016, S.387-409

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); International Transport Forum (ITF): The Carbon Footprint of Global Trade, Tackling Emissions from International Freight Transport, OECD Publishing / ITF, Paris, 2015 (zit. 2015a)

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); International Transport Forum (ITF): Transport Outlook 2015, OECD Publishing / ITF, Paris, 2015 (zit. 2015b)

Schmied, M.; Knörr, W.: Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258, Begriffe, Methoden, Beispiele, 2. aktualisierte Auflage, DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V., Bonn, 2013

Slaper, T. F.; Hall, T. J.: The Triple Bottom Line, What Is It and How Does It Work?, in Indiana Business Review, Volume 86, 2011, S.4-8

Statistisches Bundesamt: Daten zur Energiepreisentwicklung, Lange Reihen von Januar 2000 bis Oktober 2016, in: Preise, 5619001161104, 2016 (zit. 2016a)

Statistisches Bundesamt: Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe "Schwefelhexafluorid" (SF₆) und "Stickstofftrifluorid" (NF₃), Ausgewählte Ergebnisse für das Berichtsjahr 2015, in: Umwelt, 5332401-15700-4, 2016 (zit. 2016b)

Straube, F., Cetinkaya, B.: Umwelt und Logistik, in: Straube, F. (Hrsg.); Pfohl, H.-C.: Trends und Strategien in der Logistik, Globale Netzwerke im Wandel, Bremen, 2008, S.62-81

Tonnello, M.; u.a.: Sustainability Matters, Why and How Corporate Boards Should Become Involved, The Conference Board, R-1481-11-RR, New York, 2011

Umweltbundesamt: Zehnter Umweltkontrollbericht, Umweltsituation in Österreich, Umweltbundesamt GmbH, Bd. REP-0410, Wien, 2013

Umweltbundesamt: Klimaschutzbericht 2016, Umweltbundesamt GmbH, Bd. REP 0582, Wien, 2016

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Das Protokoll von Kyoto, zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Sekretariat der Klimarahmenkonvention mit Unterstützung des deutschen Bundesumweltministeriums, Bonn, 1998

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): Energiekenngrößen, Grundlagen – Methodik, VDI 4661, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

Zailani, S.; u.a.: Green innovation adoption in automotive supply chain: the Malaysian case, in: Journal of Cleaner Production, Volume 108, Part A, 2015, S.1115-1122

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Magna International – Global Operations’	6
Abbildung 2: Treibhausgasanteile an den österreichischen Gesamtemissionen.....	12
Abbildung 3: Überblick der Arbeitspakete	16
Abbildung 4: Zeitlicher Ablauf der Arbeitspakete	17
Abbildung 5: Projektorganisation und Betreuung.....	18
Abbildung 6: Emissionen, Transmissionen, Immissionen.....	20
Abbildung 7: Einteilung der Scopes	21
Abbildung 8: Grafische Darstellung des Treibhauseffektes	21
Abbildung 9: Drei-Säulen-Prinzip der nachhaltigen Entwicklung	24
Abbildung 10: Treibhausgasemissionen bedingt durch Frachttransport	25
Abbildung 11: Entwicklung ausgewählter Kyoto-Parameter (1850 bis 2300)	30
Abbildung 12: Darstellung der Kyoto-Verpflichtungsperioden (1990 bis 2050)	33
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen in Österreich nach Sektoren (2014).....	37
Abbildung 14: EN 16258 – spezifische Energieverbrauchsfaktoren differenziert nach Verkehrsmittel- und Fahrzeugtypen.....	46
Abbildung 15: EN 16258 – Vier Ansätze zur Bestimmung des spezifischen Energieverbrauchs.....	47
Abbildung 16: EN 16258 – Faktoren zur Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen.....	48
Abbildung 17: EN 16258 – Auslastung und Leerfahrten der LKW-Klassen.....	52
Abbildung 18: EN 16258 – An Streckenprofil angepasster spezifischer Energieverbrauch für LKWs.....	53
Abbildung 19: EN 16258 – Mischungsfaktoren Dieselmotorkraftstoff/Biomotorkraftstoff	54
Abbildung 20: ETW – Eingabemodus	59
Abbildung 21: ETW – Berechnungsparameter im Standard-Modus	59
Abbildung 22: ETW – Berechnungsparameter im Erweiterten-Modus	60
Abbildung 23: ETW – Versandort der Transportdienstleistung.....	61
Abbildung 24: ETW – Transportarten im Standard-Modus	61
Abbildung 25: ETW – Verkehrstyp LKW im Erweiterten-Modus	61
Abbildung 26: ETW – Verkehrstyp Zug im Erweiterten-Modus.....	62
Abbildung 27: ETW – Verkehrstyp Flugzeug im Erweiterten-Modus	62
Abbildung 28: ETW – Verkehrstyp Seeschiff im Erweiterten-Modus	63
Abbildung 29: ETW – Verkehrstyp Binnenschiff im Erweiterten-Modus	63
Abbildung 30: ETW – Eingabe des exakten Routenverlaufs im Erweiterten-Modus ..	64
Abbildung 31: ETW – Empfangsort der Transportdienstleistung	64
Abbildung 32: ETW – Benutzeroberfläche im Standard-Modus (Schritte 3-5).....	65
Abbildung 33: ETW – Benutzeroberfläche im Erweiterten-Modus (Schritte 3-5).....	65
Abbildung 34: ETW – Bilanzierungsergebnis der Transportdienstleistung	66

Abbildung 35: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: EN 16258). 66	66
Abbildung 36: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Graphen)... 67	67
Abbildung 37: ETW – Beispiel eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Entfernung)68	68
Abbildung 38: ETW – Google Maps Auszug eines Bilanzierungsergebnisses (Reiter: Entfernung)	68
Abbildung 39: Übersee-Materialbeschaffung in Legs unterteilt	78
Abbildung 40: Eingabemaske – Transportdienstleistung bestimmen	90
Abbildung 41: Eingabemaske – Beispiel der Ergebnisdarstellung	92
Abbildung 42: Eingabemaske – Ergebnisse der Transportdienstleistung in Relation gesetzt	92
Abbildung 43: Spanien – Route der Transportdienstleistung LKW	102
Abbildung 44: Spanien – Route der Transportdienstleistung Short Sea.....	103
Abbildung 45: Spanien – Route der Transportdienstleistung Zug	103
Abbildung 46: Schweden – Route der Transportdienstleistung LKW	106
Abbildung 47: Schweden – Route der Transportdienstleistung kombinierter Transport	107
Abbildung 48: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Flugzeug	109
Abbildung 49: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Zug.....	110
Abbildung 50: Zhangjiagang – Route der Transportdienstleistung Containerschiff. 111	111
Abbildung 51: Changsha – Route der Transportdienstleistung Flugzeug.....	112
Abbildung 52: Changsha – Route der Transportdienstleistung Zug	113
Abbildung 53: Changsha – Route der Transportdienstleistung Containerschiff	113

11 Formelverzeichnis

Formel 1: EN 16258 – Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs.....	45
Formel 2: EN 16258 – Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs.....	49
Formel 3: EN 16258 – Berechnung der Treibhausgasemissionen	49
Formel 4: MPT – Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs	80
Formel 5: MPT – Berechnung des standardisierten Energieverbrauchs	81
Formel 6: MPT – Berechnung der Treibhausemissionen	81
Formel 7: MPT – Spezifischer Energieverbrauch eines teilbeladenen LKWs.....	82
Formel 8: MPT – Spezifischer Dieserverbrauch eines teilbeladenen LKWs	82

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl von Green Supply Chain Management Enablers	29
Tabelle 2: Global Warming Potential Faktoren für ausgewählte Treibhausgase	36
Tabelle 3: EN 16258 – Containergewicht verschiedener Gutarten	51
Tabelle 4: EN 16258 – Korrekturfaktoren für den Verbrauch auf Innerortstraßen	53
Tabelle 5: EN 16258 – Treibhausgasemissionsfaktoren für ausgewählte Kältemittel	56
Tabelle 6: RFI-Faktor für ausgewählte Flugdistanzen	71
Tabelle 7: MPT – Spezifische Energieverbrauchsfaktoren der Verkehrsmitteltypen	80
Tabelle 8: MPT – Standardisierte Energieverbrauchsfaktoren der Verkehrsmitteltypen	80
Tabelle 9: MPT – Emissionsfaktoren der Verkehrsmitteltypen	80
Tabelle 10: MPT – Parameter für den spezifischen Dieserverbrauch eines teilbeladenen LKWs	82
Tabelle 11: MPT – Spezifischer Energieverbrauchsfaktor für Lufttransporte	86
Tabelle 12: MPT – WTW-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer	87
Tabelle 13: MPT – TTW-Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer	89
Tabelle 14: Gesamtüberblick der Materiallieferungen	93
Tabelle 15: Ländergruppen – Prozentuelle Verteilung nach Tonnenkilometern	95
Tabelle 16: Ländergruppen – Entwicklung der Treibhausgasemissionen	95
Tabelle 17: Ländergruppen – Entwicklung der Treibhausgasemissionsanteile	95
Tabelle 18: Lieferanten-Länder – Tonnenkilometer Übersicht	97
Tabelle 19: Lieferanten-Länder – Treibhausgasemissionen Übersicht	98
Tabelle 20: Lieferanten mit den höchsten Treibhausgasemissionen	99
Tabelle 21: Verkehrsmittelgruppen – Tonnenkilometeranteile Überblick	99
Tabelle 22: Verkehrsmittelgruppen – Treibhausgasemissionen Überblick	100
Tabelle 23: Verkehrsmittelgruppen – Treibhausgasemissionsanteile Überblick	100
Tabelle 24: Spanien – Gesamtübersicht der Transportdienstleistungen	104
Tabelle 25: Spanien – Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen	104
Tabelle 26: Spanien – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport	105
Tabelle 27: Schweden – Gesamtübersicht der Transportdienstleistungen	107
Tabelle 28: Schweden – Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen	108
Tabelle 29: Schweden – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport	108
Tabelle 30: Zhangjiagang – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport	111
Tabelle 31: Changsha – Vergleich der Verkehrsmitteltypen pro Transport	114
Tabelle 32: Luftfrachttransportlieferanten – Treibhausgasemissionen der Luftfrachttransporte	115
Tabelle 33: Abkürzungsverzeichnis	131

13 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
AG	Aktiengesellschaft
AP	Arbeitspaket
Ar	Argon
AT	Österreich
B	Bio
BE	Belgien
BG	Bulgarien
BR	Brasilien
bzw.	beziehungsweise
CA	Kanada
ca.	circa
CH	Schweiz
CH ₄	Methan
CN	China
CO	Kohlenmonoxid
Co	Company
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ e	Kohlendioxid-Äquivalent
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalent
corp.	corporation
CZ	Tschechische Republik
D	Reale Transportentfernung
DE	Deutschland
DIN	Deutsches Institut für Normung
E	Spezifischer Energieverbrauchsfaktor
ECCP	The European Climate Change Programm
EcoTransIT	Ecological Transport Information Tool
EN	Europäische Norm
engl.	Englisch
EPA	Efficient Particulate Air filter
ES	Spanien
e _T	Tank-to-Wheel-Energiefaktor
E _T	Tank-to-Wheel-Energieverbrauch
etc.	et cetera
ETW	Ecological Transport Information Tool – worldwide
EU	Europäische Union
EURO	Euroklasse
e _w	Well-to-Wheel-Energiefaktor
E _w	Well-to-Wheel-Energieverbrauch
EWI	Ecological Transport Information Tool Initiative
F	Spezifischer Energieverbrauch
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FR	Frankreich
G	Giga
GB	Großbritannien
GHG	Greenhouse Gas
GMS	Großmotorgüterschiff

GSCM	Grünes Supply Chain Management
GSCMEs	Green Supply Chain Management Enablers
g _T	Tank-to-Wheel-Emissionsfaktor
G _T	Tank-to-Wheel -Treibhausgasemissionen
Gt	Gigatonnen
g _w	Well-to-Wheel-Emissionsfaktor
G _w	Well-to-Wheel -Treibhausgasemissionen
GWP	Global Warming Potential
H ₂ O	Wasserdampf
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HC	Kohlenwasserstoff
HFC	Hydrofluorocarbons
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HFO	Heavy Fuel Oil
HU	Ungarn
IATA	International Air Transport Association
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IN	Indien
Inc.	Incorporated
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Internationale Organisation für Normung
IT	Italien
ITF	Internationales Transport Forum
IVE	Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen
JP	Japan
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KR	Südkorea
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LKW	Lastkraftwagen
Lieferantennr.	Lieferantennummer
LM	Lean Management
Ltd.	Limited
Magna	Magna International Inc.
Map&Guide	PTV Map&Guide
MDO	Marine Diesel Oil
MJ	Megajoule
MPT	Magna Powertrain
Mt	Megatonnen
MX	Mexiko
N ₂	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffoxid
NF ₃	Stickstofftrifluorid
NL	Niederlande
NMHC	Nichtmethankohlenwasserstoffe
NO _x	Stickstoffoxid
Nr.	Nummer
O ₂	Sauerstoff
ÖNORM	Österreichische Norm
PAS	Publicly Available Specification
PDF	Portable Document Format
PL	Polen
PM	Partikel

ppm	parts per million
PT	Portugal
PTV	Planung, Transport und Verkehr
qm	Quadratmeter
RFI	Radiative Forcing Index
RO	Rumänien
RoRo	Roll on Roll off
S.	Seite
SCM	Supply Chain Management
SCR	Selektive katalytische Reduktion
SE	Schweden
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SK	Slowakei
SL	Slowenien
SO ₂	Schwefeldioxid
t	Tonne
T	Tank-to-Wheel
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer
TR	Türkei
TREMOD	Transport Emission Model
TTW	Tank-to-Wheel
TU	Technische Universität
u.a.	und andere
UN/LOCODE	United Nations Code for Trade and Transport Locations
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
US	United States of America
USA	United States of America
v. Chr.	Vor Christus
vgl.	vergleiche
VOS	Vehicle Operation Systems
W	Reales Frachtgewicht
w	Well-to-Wheel
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheel
yr	year
z.B.	zum Beispiel
zGG	zulässige Gesamtgewicht

Tabelle 33: Abkürzungsverzeichnis

14 Anhang

14.1 Exposé zur Diplomarbeit

Im Vorfeld der Arbeit wurde in Abstimmung mit den Betreuern von MPT und dem Betreuer der TU Wien ein Exposé ausgearbeitet, das als Leitfaden für diese Diplomarbeit gelten soll.

1. Vorläufiger Arbeitstitel

„Emissionsoptimierung einer globalen Beschaffungsstruktur am Beispiel Magna Powertrain“

oder alternativ:

„Analyse und Optimierung der Abgasemissionen einer globalen Beschaffungsstruktur am Beispiel Magna Powertrain“

2. Problemstellung/Aufgabenstellung

Magna ist heute der weltweit am stärksten diversifizierte Autozulieferer der Welt. Einerseits entwickelt, konstruiert und fertigt das Unternehmen Systeme, Baugruppen, Module und Bauteile und andererseits wird das Engineering und die Montage von kompletten Fahrzeugen übernommen.

Das erklärte Ziel von Magna ist, für Kunden der bevorzugte Lieferant in der Automobilindustrie zu sein. Dies wird durch innovative Produkte und Prozesse und Weltklasse-Herstellung zum besten Preis-Leistungs-Verhältnis ermöglicht.

Eine weitere Säule der Unternehmensphilosophie ist die besondere Wertschätzung von Fairness und Rücksichtnahme gegenüber Mitarbeitern, Kunden und den Gemeinden, in denen Betriebe angesiedelt sind.

Aus diesem Grund hat sich das Unternehmen das Ziel gesetzt, Branchenführer bezüglich der Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltschutzpraktiken zu sein und durch technische Innovationen und effiziente Prozesse die Auswirkung der Betriebe auf die Umwelt zu minimieren sowie sichere und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen.

3. (Konkrete Fragestellung)

Im Zuge dieser Arbeit, soll eine aussagekräftige Roadmap erstellt werden, um die CO₂ Emissionen bezüglich der globalen Materialbeschaffung der Magna Powertrain zu bewerten und zu reduzieren.

4. Ziele und Nicht-Ziele

Ziele:

- Literaturrecherche zum Thema Klimaschutz im Transportwesen
- Überblick über Umweltmanagement und Klimapolitik im Transportwesen
- Bewertungsschema für Materialtransporte erstellen
- Treibhausgasbezogener Vergleich der für MPT relevanten Verkehrsmittel
- Emissionsberechnung der Materialbeschaffungen seit 2012
- Entwicklung der vergangenen und zukünftigen Transportemissionen von MPT
- Entscheidungshilfe für Sourcing-Entscheidungen konzeptionieren
- Ausarbeitung relevanter Reduktionsmaßnahmen der Emissionen

Nicht-Ziele:

- Transportbewertung der Lieferungen von MPT zum Kunden
- Integration von wirtschaftlichen Parametern in die Auswertung
- Detailanalyse und Forschung bezüglich CO₂-Reduktionsmaßnahmen durch Treibstoffe und Antriebssysteme
- Individuelle und separate Betrachtung der Treibhausgaskoeffizienten (wie zum Beispiel: CO, CO₂, NMHC, NO_x und Partikel)
- Emissionsoptimierungen der Intralogistik und Immobilien
- Maßnahmen zur Reduktion der indirekten Emissionen (Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Verkehrsmitteln sowie Verkehrsinfrastrukturen)
- Programmieren einer Berechnungssoftware

5. Methoden

- Bilanzierung mittels Norm (EN 16258)
- Bilanzierung mittels Onlinetool
- Nachhaltiges Supply Chain Management
- Green Logistics

6. Vorläufiges Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 - 1.1. Zielsetzung/Aufgabenstellung/Hypothese
 - 1.2. Rahmenbedingungen
 - 1.3. Aufbau der Arbeit/methodisches Vorgehen beschreiben
2. Firmenbeschreibung
 - 2.1. Konzern Magna vorstellen
 - 2.2. Unternehmensphilosophie und -Struktur, -Strategie, Management, Methoden, Firmenstatement

3. Grundlagenteil / Analyse
 - 3.1. Problemstellung, Ausgangslage, Status quo
 - 3.1.1. Verursacher (CO₂ im Transportsektor)
 - 3.1.2. Auswirkungen (Treibhauseffekt, Treibhausgase, CO₂ Emissionen)
 - 3.1.3. Nachhaltige Mobilität (Potentiale)
 - 3.1.4. Hindernisse für CO₂ Reduktion
 - 3.1.5. allgemeiner Ausblick
 - 3.2. Klimapolitik
 - 3.2.1. Gesetze
 - 3.2.2. Abgasnormen
 - 3.2.3. EURO Klassen
 - 3.2.4. DIN 14001
 - 3.2.5. EN 16258
 - 3.3. Vorstellung der Bewertungsmethode EN 16258
 - 3.3.1. Vorgehensweise
 - 3.3.2. Ergebnisse
 - 3.3.3. Einschränkungen
 - 3.4. Online Berechnungstools
 - 3.4.1. EcoTransIT
 - 3.4.2. Map&Guide
 - 3.4.3. Weitere Alternativen
 - 3.5. Einsatz von Reduktionsmaßnahmen (Grüne Logistik)
 - 3.5.1. Environmental Supply Chain Management
 - 3.5.2. Alternative Verkehrsmittel
 - 3.5.3. Transporteffizienz, Routenoptimierung
 - 3.5.4. Kombiniertes Verkehr
4. Praxisteil / Bewertungsmethoden
 - 4.1. Berechnungstool aus EN 16258
 - 4.2. Einsatz von Online Bilanzierungstools
 - 4.3. Eingabemaske für die Treibhausgasberechnung
5. Auswertung
 - 5.1. Aufarbeitung historischer Daten, Verlaufsanalyse
 - 5.2. Einfluss in Sourcing-Entscheidung
 - 5.2.1. Relation der Transportmittel (Faustregeln)
 - 5.2.2. Fallbeispiele
 - 5.2.3. Luftfrachttransportlieferanten
 - 5.2.4. Optimierung / Roadmap zur Reduktion
 - 5.2.5. CO₂ Komponente in Sourcing-Entscheidung einbinden
6. Ergebnisse der Diplomarbeit
7. Resümee / Schlussfolgerung

7. (Vorläufiges Literaturverzeichnis)

8. Voraussichtlicher Terminplan

