

B A C H E L O R A R B E I T

Entwicklung einer Methodik zur
Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope
3-Emissionen in produzierenden Unternehmen
bei der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH

Vorgelegt an der TH Köln
Campus Deutz
im Studiengang
Bachelor Erneuerbare Energien

ausgearbeitet von:
FLORIAN REINHOLD
(Matrikelnummer: 11118963)

Erster Prüfer: Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt
Zweiter Prüfer: Dipl. Ing. Tim Schröder

Leverkusen, im Juli 2023

Erklärungen

Name: Florian Reinhold

Matrikelnummer: 11118963

Erklärung zum eigenständigen Verfassen

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe. Ich habe keine anderen außer den von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht

Leverkusen, 07.07.2023

F.Reinhold

(Unterschrift)

Erklärung zur Veröffentlichung

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit ausgeliehen werden darf. Sie darf von meinem Betreuer im Internet veröffentlicht werden.

Leverkusen, 07.07.2023

F.Reinhold

(Unterschrift)

Erklärung zu Bildrechten

Ich habe alle Bilder und Diagramme dieser Abschlussarbeit selbst erstellt.

Leverkusen, 07.07.2023

F.Reinhold

(Unterschrift)

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit demonstriert die Herausforderungen bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen und stellt die Forschungsfrage, ob sich eine vereinfachte Herangehensweise an diese Erfassung erzielen lässt. Für die Beantwortung der Forschungsfrage, wird eine praktisch anwendbare Methodik zur Vereinfachung der Erfassung von Scope 3-Emissionen entwickelt, angewandt und bewertet.

Diese Methodik umfasst die Identifizierung von Schlüsselprozessen, die Wahl des Erfassungsdesigns, die Erfassung der Emissionsdaten, die Berechnung der Scope 3-Emissionen und deren Bewertung. Als größte Emittier von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen wurden das verwendete Material, Transport und Produktnutzung identifiziert. Die Methodik wurde erfolgreich bei der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH angewandt und erfüllt gesetzliche Berichterstattungsanforderungen. Allerdings ist die Arbeit auf produzierende Unternehmen begrenzt und kann daher nicht für alle Unternehmen anwendbar sein. Zukünftige Forschungen könnten die Anwendung der Methodik auf verschiedene Branchen untersuchen, standardisierte und digitalisierte Erfassungs- und Berichterstattungsmethoden entwickeln und eine differenziertere Anpassung der Methodik an spezifische Sektoren erforschen.

Abstract

This paper demonstrates the challenges of capturing Scope 3 emissions in manufacturing companies and poses the research question of whether a simplified approach to this capture can be achieved. To answer the research question, a practical methodology for simplifying the capture of Scope 3 emissions is developed, applied, and evaluated.

This methodology includes identification of key processes, selection of capture design, collection of emissions data, calculation of Scope 3 emissions, and evaluation of these emissions. Materials used, transportation, and product use were identified as the largest emitters of Scope 3 emissions in manufacturing companies. The methodology has been successfully applied at Accuride Wheels Europe & Asia GmbH and meets legal reporting requirements. However, the work is limited to manufacturing companies and therefore may not be applicable to all companies. Future research could explore the application of the methodology to different industries, develop standardized and digitized collection and reporting methods, and explore more sophisticated adaptation of the methodology to specific sectors.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Symbolverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Motivation	8
1.2 Zielsetzung der Arbeit	9
1.3 Vorgehensweise und Struktur	9
2 Grundlagen	11
2.1 Rahmen der Arbeit	11
2.2 Relevanz der Klimabilanzierung	12
2.3 Definition CO ₂ -Scopes	14
3 Literatur und Stand der Forschung	16
3.1 Vorgaben und Standards	16
3.2 Herausforderungen	18
3.3 Marktlösungen	20
4 Entwicklung der Methodik	22
4.1 Identifizierung von Schlüsselprozessen	23
4.2 Wahl des Erfassungsdesigns	24
4.3 Erfassung der Emissionsdaten	26
4.3.1 Erfassung Material	26
4.3.2 Erfassung Transport	27
4.3.3 Erfassung Nutzungsphase	29
4.4 Berechnung der Scope 3-Emissionen	30
4.4.1 Berechnung Material-Emissionen	30
4.4.2 Berechnung Transport-Emissionen	31
4.4.3 Berechnung Nutzungsphasen-Emissionen	31
4.4.4 Berechnung Gesamt-Emissionen	32
4.5 Bewertung der Erfassung	32
5 Anwendung der Methodik	35
5.1 Erfassung der Emissionsdaten von Accuride	36
5.1.1 Erfassung spezifische Material-Emissionen	36
5.1.2 Erfassung Transport-Emissionen Accuride	37
5.1.3 Erfassung Nutzungsphasen-Emissionen Accuride	38
5.2 Berechnung der Scope 3-Emissionen	39
5.2.1 Berechnung Material-Emissionen Accuride	39

5.2.2	Berechnung Transport-Emissionen Accuride	39
5.2.3	Berechnung Nutzungsphasen-Emissionen Accuride	40
5.2.4	Berechnung Gesamt-Emissionen Accuride	40
5.3	Bewertung der Erfassung	41
6	Bewertung der Methodik	43
7	Diskussion	45
8	Zusammenfassung und Ausblick	47
	Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

1	Beispielbild Lastkraftwagen-Stahlrad [Eigene Aufnahme]	11
2	Scope 1-3 THG Emissionen nach Sektoren[Eigene Abbildung]	12

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Accuride	Accuride Wheels Europe & Asia GmbH
CCF	Corporate Carbon Footprint
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
DNK	Deutscher Nachhaltigkeitskodex
ESRS	EU Sustainability Reporting Standards
EU	Europäische Union
GHG Protocol	Greenhouse Gas Protocol
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potential
LKW	Lastkraftwagen
PCF	Product Carbon Footprint
PKW	Personenkraftwagen
SBTi	Science Based Targets initiative
THG	Treibhausgase
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Beschreibung
<i>E</i>	[kg/Jahr]	CO ₂ e-Emissionen
<i>EF</i>	[kg/Aktivität]	CO ₂ e-Emissionsfaktor je Aktivität
<i>A</i>	[Aktivität]	Aktivitätsdaten (Einheit variiert je nach Kontext)
<i>Pmasse</i>	[kg/Jahr]	Produktmasse pro Jahr
<i>CCF</i>	[kg/Jahr]	Unternehmensemissionen pro Jahr
<i>S</i>	[km]	Strecke
<i>Pr</i>	[%]	Prozentzahl
<i>n</i>	[]	Variable
<i>M</i>	[]	Abkürzung für Materialien
<i>PG</i>	[]	Abkürzung für Produktgruppen
<i>Zul</i>	[]	Abkürzung für Zulieferer/-ung
<i>Abl</i>	[]	Abkürzung für Ablieferung
<i>Nut</i>	[]	Abkürzung für Nutzungsphase
Σ	[]	Summenzeichen

1 Einleitung

Die Klimakrise stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar. Die Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist eine der wichtigsten Maßnahmen, um die fortschreitenden Klima- veränderungen zu bekämpfen. Produzierende Unternehmen haben eine wichtige Rolle bei der Reduzierung von Treibhausgasemissionen, da sie einen erheblichen Anteil an den globalen Emis- sionen ausmachen[1].

In den letzten Jahren hat sich dabei ein besonderes Augenmerk auf die sogenannten Scope 3- Emissionen gerichtet. Dabei handelt es sich um die Emissionen, die indirekt durch Aktivitäten von Unternehmen verursacht werden, zum Beispiel durch die eingekauften Materialien oder die Nutzung der hergestellten Produkte. Da Scope 3-Emissionen meist den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen eines produzierenden Unternehmens ausmachen, liegen dort große Po- tenziale zur Reduzierung der Emissionen vor[2]. Die Erfassung dieser Emissionen stellt jedoch eine komplexe Herausforderung dar, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist, die oft schwer zu quantifizieren sind[3].

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, welche produzierenden Unter- nehmen den Einstieg in die Scope 3-Emissionserfassung simplifiziert und dadurch zugänglicher macht.

1.1 Motivation

Die Arbeit wird als externe Bachelorarbeit in Kooperation mit dem Stahlradhersteller Accuride Wheels Europe & Asia GmbH geschrieben. Vermehrt stellen Kunden in der Automobilbranche und damit auch an Accuride, die Forderung, einen zertifizierten jährlichen Nachhaltigkeitsbericht zu liefern. Der Nachhaltigkeitsbericht soll dabei die gesamte Klimabilanz des Unternehmens auf- zeigen und die jährliche Veränderung der Treibhausgasemissionen nachvollziehbar darstellen.

Hintergrund der Forderungen ist es, Lieferanten dazu zu verpflichten eine verlässliche Erfassung und Auskunft über ihre THG-Emissionen geben zu können. Folgend soll durch die Nachverfol- gung der jährlichen Emissionseinsparungen sichergestellt werden, dass die langfristig angepeilten Emissionsziele der Branche eingehalten werden können. Falls kein zertifizierter Nachhaltigkeits- bericht geliefert wird, oder nachweislich die Emissionsziele nicht eingehalten werden können, werden Kunden vermehrt keine weiteren Geschäfte mit den Lieferanten eingehen können.

Bei der Erstellung des Nachhaltigkeitsberichts für die Accuride Wheels Europe & Asia GmbH, sind mir besondere Schwierigkeiten beim Erfassen der Scope 3-Emissionen aufgefallen. Obwohl die Scope 1-, sowie Scope 2-Emissionen, bereits präzise vom Unternehmen erfasst werden, waren wenig bis keine Daten über die Scope 3-Emissionen vorhanden. Die Komplexität der verschiede- nen Normen und Standards zur Erfassung der Emissionen, erschwert den Einstieg in die Scope 3-Erfassung erheblich[3].

Diese Problematik zeigt sich auch in anderen produzierenden Unternehmen. Eine infolgedes- sen unzureichende Erfassung von Scope 3-Emissionen kann zu einer verzerrten Bewertung der Klimaauswirkungen von Unternehmen führen und die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Redu- zierung von Treibhausgasemissionen beeinträchtigen[4].

Durch die Entwicklung der Methodik einen Ansatz zu schaffen, welcher eine Lösung für diese Problematik bieten kann, ist die Motivation für diese Arbeit.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das wissenschaftliche Ziel dieser Arbeit ist es, folgende Forschungsfrage zu beantworten:

"Lässt sich eine vereinfachte Herangehensweise an die Erfassung von Scope 3-Emissionen erzielen, welche den Einstieg in die Scope 3-Erfassung für produzierende Unternehmen unterstützt?"

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, wird eine Methodik zur Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen entwickelt und bewertet. Die Methodik soll dabei als Leitfaden dienen, welcher produzierenden Unternehmen den Einstieg in die Erfassung von Scope 3-Emissionen erleichtern soll. Sie soll dazu die relevanten Normen und Standards zur Erfassung auf die jeweiligen Kerninhalte herunterbrechen und ableiten, welche Regeln und Methoden elementar wichtig sind und wie diese vereinfacht bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen anzuwenden sind.

Gleichzeitig soll sichergestellt werden, dass die wichtigsten Emissionsquellen erfasst werden und trotz der vereinfachten Herangehensweise eine qualifizierte Aussage über die Scope 3-Emissionen des Unternehmens getroffen werden kann. Um dies zu prüfen, wird die entwickelte Methodik am Beispiel des Produktionsstandortes Solingen, der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH, angewendet und bewertet.

1.3 Vorgehensweise und Struktur

Vorgehensweise

Zum Beginn der Bachelorarbeit wurde die Forschungsfrage, auf Basis der erkannten Problematik welche im Unterkapitel Motivation beschrieben wird, entwickelt. Die Forschungsfrage dient als Orientierungsanker der weiteren Forschung und soll sicherstellen, dass die Arbeit zielgerichtet geschrieben wird. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein gemischtes Forschungsdesign gewählt, welches primär qualitative Methoden, aber auch quantitative Methoden einbezieht.

Die Datenerhebung erfolgte durch eine qualitative Literaturrecherche, welche in die Kategorie der traditionellen- als auch integrativen Literaturstudie fällt, mit iterativem Ansatz. Es werden verschiedene Arten von Literatur berücksichtigt, wie Studien, Fachbücher, Normen, amtliche Veröffentlichungen, EU-Richtlinien, Erfahrungs- und Untersuchungsberichte, sowie Gesetzestexte und Vorschriften. Es werden sowohl nationale als auch internationale Quellen verwendet.

Der traditionelle Teil der Literaturrecherche wird zum Sammeln und Zusammenfassen von Informationen genutzt, um ein umfassendes Verständnis über die Grundlagen des Themas der Scope 3-Emissionserfassung zu erlangen. Dazu zählt unter anderem der aktuelle Stand der Scope 3-Emissionserfassung, mit Fokus auf die bestehenden Probleme, und die verschiedenen Methoden und Standards die zur Erfassung angewendet werden können.

Der integrative Teil der Literaturrecherche zielt primär darauf ab, die für die Auswertung der entwickelten Methode und der kritischen Betrachtung relevanten Daten zu sammeln. Diese Datenerfassung ist quantitativer Natur. Darüber hinaus wird qualitative Literatur zur Entwicklung der Methodik angewandt.

Der iterative Ansatz wurde gewählt, um durch den flexiblen und dynamischen Prozess, im Laufe der Arbeit sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen erfasst werden. In der ersten Iteration wurde eine breite Suche auf Basis wesentlicher Suchbegriffe durchgeführt, um eine möglichst umfangreiche Liste von Literaturquellen zu erhalten. In weiteren Iterationen wurden die Auswahlkriterien verfeinert, um die relevanteste und qualitativ hochwertigste Literatur zu identifizieren. Hierzu wurde unter anderem das Schneeballsystem benutzt.

Die gesammelten Informationen und Daten wurden anschließend genutzt, um eine organisierte und kohärente Arbeit zu verfassen, welche die Ergebnisse und Schlussfolgerungen klar vermittelt. Es werden Formeln, Abbildungen und Textpassagen verwendet, um verschiedene Aspekte der Arbeit zu veranschaulichen und die wichtigsten Erkenntnisse hervorzuheben und zusammenzufassen.

Struktur

Zunächst werden die relevanten Grundlagen erläutert, die für das Verständnis der Arbeit notwendig sind. Dazu gehört der Rahmen der Arbeit, die Definitionen der verschiedenen Scopes der Emissionen, sowie die Relevanz einer Klimabilanzierung in produzierenden Unternehmen durchzuführen.

Im Kapitel Literatur und Stand der Forschung werden die verschiedenen Vorschriften und Standards zur Erfassung von Treibhausgasemissionen, insbesondere für die Scope 3-Emissionen, vorgestellt. Auch die Herausforderungen und Schwierigkeiten bei der Erfassung und Quantifizierung von Scope 3-Emissionen werden untersucht. Zusätzlich werden die bestehenden Marktlösungen zur Komplexitätsreduktion identifiziert.

Auf Basis der Analyse, sowie den Stärken und Schwächen der bestehenden Standards, wird ein Konzept für eine eigene Methodik zur Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen entwickelt. Diese besteht aus der Identifizierung von Schlüsselprozessen, der Erfassung von Emissionsdaten mit anschließender Berechnung der Scope 3-Emissionen und abschließender Bewertung der Erfassung.

Die entwickelte Methodik wird anhand eines Fallbeispiels angewendet und anschließend bewertet. Für die Bewertung werden die Ergebnisse zusammengefasst, Stärken und Schwächen betrachtet, die Anwendbarkeit untersucht und die Methodik mit bestehenden Ansätzen verglichen.

Abschließend erfolgt die Diskussion der Arbeit bei welcher die Ergebnisse im Kontext der Forschungsfrage interpretiert werden und eine Zusammenfassung der Bachelorarbeit mit einem Ausblick für weitere Forschungsansätze.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden fundamentale Konzepte dargelegt, welche für das Verständnis der Inhalte der Arbeit relevant sind. Zunächst wird dafür der Rahmen der Arbeit, in welchem Kontext die Arbeit betrachtet werden muss und wer die relevante Zielgruppe ist, erläutert. Nachfolgend wird auf die Relevanz der Klimabilanzierung in Unternehmen eingegangen. Abschließend werden die verschiedenen Scopes der Emissionen, mit besonderem Schwerpunkt auf den Scope 3-Emissionen, erklärt.

2.1 Rahmen der Arbeit

Die Verfassung der Bachelorarbeit erfolgt extern bei der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH, mit Hauptsitz in Solingen, Deutschland. Das Unternehmen ist Teil der Accuride Gruppe, zu der noch Accuride Wheels North America gehört. Hauptgeschäft der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH liegt in der Produktion von Stahlrädern für die Nutzfahrzeugindustrie, wie zum Beispiel für Lastkraftwagen (siehe Abbildung 1) oder landwirtschaftlich genutzte Fahrzeuge. Darüber hinaus werden ebenfalls, wenn auch in geringerer Menge, Stahlräder für den PKW-Sektor hergestellt.



Abbildung 1: Beispielbild Lastkraftwagen-Stahlrad [Eigene Aufnahme]

Als globaler Marktführer in der Produktion von Stahlrädern für die Nutzfahrzeugindustrie und mit über 2000 Mitarbeitern, die auf sieben Produktionsstätten verteilt sind, gewinnt das Thema Nachhaltigkeit in der Fertigung, sowohl aus gesetzlicher Sicht als auch betriebsintern, zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde die Initiative AccuSustain 2039 ins Leben gerufen, durch die sich das Unternehmen dazu verpflichtet, bis zum Jahr 2039 eine CO₂-neutrale Wertschöpfungskette zu gewährleisten. Ein Bestandteil dieser Initiative ist die Ausarbeitung der

vorliegenden Bachelorarbeit, die darauf abzielt, den aktuellen Zustand des Unternehmens in Bezug auf seine Scope 3-Emissionen zu ermitteln.

Infolge der Tätigkeit von Accuride als Produzent von Stahlrädern konzentriert sich die Methodenentwicklung auf produzierende Unternehmen. Die Untersuchung von produzierenden Unternehmen ist insbesondere deshalb sinnvoll, da bei diesen ein signifikanter Anteil der Emissionen auf den Scope 3 entfällt. Im Durchschnitt aller Branchen machen etwa 75 Prozent der Unternehmensemissionen den Scope 3 aus. Im Kontrast dazu entfallen bei der Produktion von Kapitalgütern (beispielsweise in der Maschinenbau- oder Elektronikindustrie) oder in der Automobilindustrie, wie aus Abbildung 2 hervorgeht, durchschnittlich mehr als 90 Prozent der Emissionen auf den Scope 3 (Eigene Abbildung in Anlehnung an[3]).

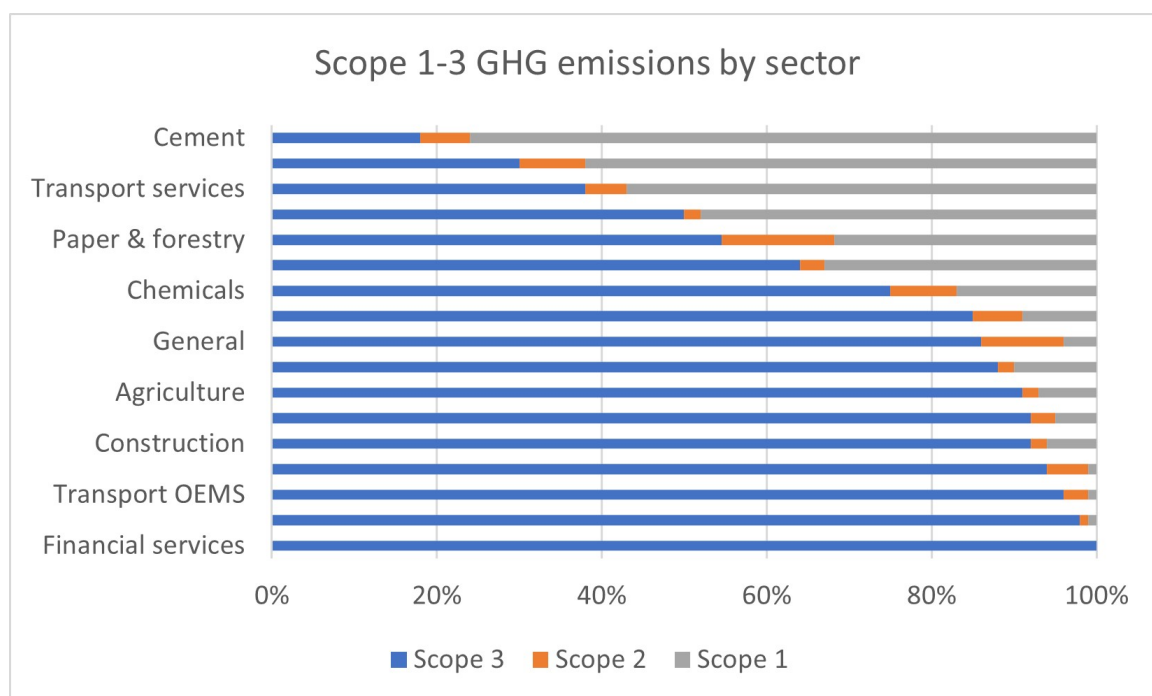


Abbildung 2: Scope 1-3 THG Emissionen nach Sektoren[Eigene Abbildung]

Angesichts der dargelegten Gründe wurde die Methodik so konzipiert, dass sie in verschiedenen produktionsorientierten Branchen Anwendung finden kann. Daher besitzt die vorliegende Bachelorarbeit auch über das Unternehmen Accuride hinaus, eine signifikante Relevanz für andere Unternehmen.

2.2 Relevanz der Klimabilanzierung

Um das Ziel der zu entwickelnden Methodik besser verstehen und einordnen zu können, ist es wichtig zu verstehen warum ein Unternehmen überhaupt eine Klimabilanzierung durchführen sollte.

Als erstes muss dabei aber vor allem zwischen Umweltbilanz und Klimabilanz differenziert werden, da beide Begriffe oft synonym verwendet werden, jedoch verschiedene Aussagen über die

Auswirkungen eines Unternehmens wiedergeben.

Eine Umweltbilanz befasst sich allgemein mit der Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produkts oder einer Organisation. Sie umfasst eine breite Palette von Faktoren, darunter Energieverbrauch, Wassernutzung, Abfallerzeugung, Emissionen in die Luft, den Boden und das Wasser, Auswirkungen auf die Biodiversität usw. Die Umweltbilanzierung ist oft komplex und erfordert die Sammlung und Analyse von Daten aus vielen verschiedenen Quellen[5].

Die Klimabilanz hingegen ist spezifischer und konzentriert sich auf die Auswirkungen eines Produkts oder einer Organisation auf das Klima, insbesondere durch die Emission von Treibhausgasen. Dies beinhaltet die Quantifizierung und Bewertung von Treibhausgasemissionen. Die Klimabilanz ist ein wichtiger Teil der Umweltbilanz, aber sie berücksichtigt nicht alle Umweltauswirkungen[6].

Zusammengefasst wird die Klimabilanz in der Regel als ein Aspekt der Umweltbilanz betrachtet, welcher sich speziell auf die Auswirkungen auf das Klima konzentriert.

Die Entscheidung eines Unternehmens, eine Klimabilanzierung durchzuführen, wird maßgeblich durch das Zusammenspiel dreier Schlüsselkomponenten beeinflusst.

- Rechtliche und gesetzliche Anforderungen
- Branchen- und Kundenforderungen
- Wirtschaftliche Vorteile

Es existieren vielfältige rechtliche sowie gesetzliche Auflagen, welche das Erfassen und Berichten der Klimaauswirkungen eines Unternehmens erfordern. Diese Auflagen weisen länderspezifische Varianzen auf, jedoch lässt sich eine generelle Tendenz zur Verschärfung der Anforderungen beobachten. Ein exemplarisches Regelwerk stellt hierbei die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) dar. Die CSRD etabliert die Grundvoraussetzungen für die CSR-Berichterstattungspflicht, welche größere Unternehmen dazu verpflichtet, über ihre sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen zu berichten[7].

Zusätzlich zu den gültigen rechtlichen und gesetzlichen Anforderungen gibt es spezifische Branchen- oder Kundenforderungen. Beispielhaft ist hier die Automobilindustrie zu nennen, in welcher die Forderung nach zertifizierten Nachhaltigkeitsberichten und die Einhaltung gewisser Emissionsgrenzwerte vermehrt von Kunden, wie Volvo oder Mercedes, vorgebracht wird. Ohne die Erstellung einer umfassenden Klimabilanz ist es für ein Unternehmen nicht möglich, die Einhaltung von Grenzwerten nachzuweisen oder einen zertifizierungswürdigen Nachhaltigkeitsbericht zu erstellen. Dies gefährdet die Fortführung der Geschäftstätigkeit in der betreffenden Branche, sowie darüber hinaus die Geschäftsbeziehungen mit anderen Unternehmen und Kunden.

Unternehmen streben kontinuierlich nach ökonomischen Optimierungen. Eine effiziente Klimabilanzierung kann als Instrument dienen, ineffiziente Prozesse zu identifizieren und entsprechend zu verbessern, was potenziell zu Kosteneinsparungen führt. Darüber hinaus kann ein umweltbewussterer Produktionsansatz Unternehmen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Mitbewerbern verschaffen, insbesondere in Branchen, in denen eine steigende Nachfrage nach nachhaltigen

Produkten verzeichnet wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Großteil der produzierenden Unternehmen ein hohes Interesse an einer umfassenden Klimabilanzierung haben sollte. Ohne detaillierte Kenntnisse über die Emissionen in der gesamten Wertschöpfungskette ist es für ein Unternehmen schwierig, Einsparpotenziale zu identifizieren. Dies könnte die Geschäftstätigkeit gefährden oder Chancen zur Optimierung ungenutzt lassen.

2.3 Definition CO₂-Scopes

Die CO₂-Scopes beziehen sich auf drei verschiedene Kategorien von Emissionen, die durch das Greenhouse Gas Protocol, kurz GHG Protocol, definiert werden. Das GHG Protocol ist eine gemeinsame Initiative des World Resources Institute (WRI) und des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)[8]. Es ist der international anerkannteste Standard für CO₂-Bilanzierungen und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Alle weiteren Erwähnungen von CO₂-Scopes oder Scope-Emissionen beziehen sich auf die Definitionen nach dem GHG Protocol.

Die drei CO₂-Scopes werden standardmäßig auf Unternehmensebene angewandt, um die Gesamtmenge der Treibhausgasemissionen zu erfassen, die ein Unternehmen direkt oder indirekt verursacht. Sie können allerdings auch auf Produktebene angewandt werden, um die Emissionen zu ermitteln die mit einem bestimmten Produkt verbunden sind. Das GHG Protocol bietet verschiedene Standards sowohl für Unternehmens- als auch für Produkt-Level-Emissionsrechnungen an[9]. Auf die Differenzen wird genauer in dem Kapitel Vorgaben und Standards eingegangen.

Das GHG Protocol definiert 18 verschiedene Einflussfaktoren die in der Wertschöpfungskette Emissionen verursachen. Diese werden den jeweiligen Scopes zugeordnet:

Scope 1-Emissionen sind alle Emissionen, welche direkt aus Quellen stammen, die sich im Eigentum oder unter der Kontrolle des Unternehmens befinden. Dies sind zum Beispiel Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in eigenen Anlagen oder die Emissionen aus firmeneigenen Fahrzeugen.

Scope 2-Emissionen sind indirekte Emissionen, die aus dem Verbrauch von gekaufter und verbrauchter Elektrizität, Wärme und Dampf entstehen. Die Emissionen entstehen also bei der Produktion der Energie, welche das Unternehmen einkauft.

Scope 3-Emissionen sind alle indirekte Emissionen, welche nicht in den Scope 2-Emissionen erfasst werden. Sie stammen aus Quellen, die im Wertschöpfungsprozess eines Unternehmens anfallen, aber nicht unter die Kontrolle des Unternehmens fallen. Das GHG Protocol definiert 15 verschiedene Einflussfaktoren in der Vor- und Nachgelagerten Wertschöpfungskette, wobei Emissionen zum Beispiel anfallen können bei[10]:

- **Beschaffung:** Emissionen, die bei der Produktion von Rohstoffen und Dienstleistungen entstehen, die ein Unternehmen kauft.
- **Transport:** Emissionen, die durch den Transport von Waren und Materialien, die in der Lieferkette des Unternehmens verwendet werden, entstehen, sowohl vor als auch nach der Produktion.

- **Verwendung von verkauften Produkten:** Emissionen, die durch die Verwendung der vom Unternehmen verkauften Produkte entstehen.

Das GHG Protocol bezieht sich nicht nur auf CO₂-Emissionen, sondern auf die Emissionen von sieben verschiedenen Treibhausgasen, welche quantifiziert und berichtet werden müssen[8]:

1. Kohlendioxid (CO₂)
2. Methan (CH₄)
3. Lachgas (N₂O)
4. Hydrofluorkohlenwasserstoffe (HFCs)
5. Perfluorkohlenstoffe (PFCs)
6. Schwefelhexafluorid (SF₆)
7. Stickstofftrifluorid (NF₃)

Jedes dieser Treibhausgase hat ein unterschiedliches Potenzial, zur globalen Erderwärmung beizutragen. Dieses Potenzial wird durch die Global Warming Potential Metrik, kurz GWP, quantifiziert. Zum Beispiel hat Methan ein GWP, das etwa 25 Mal höher ist als das von CO₂, was bedeutet, dass eine Tonne Methan 25 Mal so viel zur globalen Erwärmung beiträgt wie eine Tonne CO₂ über einen Zeitraum von 100 Jahren.

Bei der Berichterstattung von THG-Emissionen werden die Emissionen aller Gase in CO₂-Äquivalente, kurz CO₂e, umgewandelt, indem die emittierte Menge jedes Gases mit seinem GWP multipliziert wird. Dies ermöglicht eine standardisierte Quantifizierung und Berichterstattung der Emissionen eines Unternehmens und schafft Vergleichbarkeit[10].

3 Literatur und Stand der Forschung

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die bestehende Literatur im Bereich der Scope 3-Erfassung, sowie über den aktuellen Stand der Forschung zur Reduktion der Komplexität, geben. Zuerst werden dafür die verschiedenen gesetzlichen Vorgaben sowie Standards zur Scope 3-Erfassung und Berichterstattung dargelegt und erläutert. Nachfolgend werden die Herausforderungen beim Erfassen der Scope 3-Emissionen im Detail erläutert. Abschließend werden bereits bestehende Marktlösungen und Ansätze, welche die Erfassung erleichtern sollen, analysiert und Schwächen identifiziert.

Die in diesem Kapitel präsentierten Informationen fungieren als Fundament, auf dem die in dieser Arbeit zu entwickelnde Methodik aufbaut. Die Untersuchung der unterschiedlichen Vorgaben und Standards liefert die Basis, um zu bestimmen, welche Verfahren zur Erfassung der Emissionen angewendet werden können und gewährleistet, dass die Methodik den gesetzlichen Anforderungen für die Berichterstattung entspricht. Die Herausforderungen werden identifiziert, um aufzuzeigen, warum und in welchem Ausmaß eine Vereinfachung der Erfassung erforderlich ist. Durch die Untersuchung existierender Marktlösungen und Ansätzen zur Komplexitätsreduktion wird es möglich, deren Schwachstellen zu identifizieren und die Methodik so zu konzipieren, dass die identifizierten Schwachstellen adressiert werden und neues Wissen generiert wird.

3.1 Vorgaben und Standards

Es existieren eine Vielzahl von gesetzlichen Bestimmungen, die bei der Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts und der damit verbundenen Klimabilanzierung sowie der Erfassung von Scopes zu berücksichtigen sind und folglich für die Entwicklung der Methodik von Bedeutung sind. Zusätzlich existieren diverse Rahmenwerke und Standards, die die Klimabilanzierung und Emissionserfassung unterstützen, indem sie beispielsweise Prozesse, Methoden oder bestimmte Richtlinien vorgeben und erläutern. Das Ziel dieses Unterkapitels ist die Identifizierung der für die Entwicklung der Methodik relevanten Vorgaben und Standards.

Zu den relevanten gesetzlichen Vorgaben bei der Klimabilanzierung, beziehungsweise bei der Emissionserfassung, zählen:

- **CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive):** EU-Richtlinie zur Unternehmens - Nachhaltigkeitsberichterstattung
- **ESRS(EU Sustainability Reporting Standards):** EU-Konformitäts- und Offenlegungsanforderungen zur Nachhaltigkeitsberichterstattung
- **ISO 14064:** Internationale Norm für die Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen
- **ISO 14067:** Internationaler Norm für die Quantifizierung von produktbezogenen Treibhausgasemissionen

Die CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) hat die bestehende EU-Richtlinie zur nichtfinanziellen Berichterstattung erweitert und ist seit 2023 in der gesamten Europäischen Union in Kraft getreten[11]. Große Unternehmen in der EU müssen künftig umfassender und nach den einheitlichen ESRS berichten. Zusätzlich muss die Nachhaltigkeitsberichterstattung künftig ebenso wie die Finanzberichterstattung extern geprüft werden. Hierfür legt die EU-Kommission Prüfstandards fest[7].

Die ESRS (EU Sustainability Reporting Standards) sind ein zentraler Bestandteil der CSRD. Sie sind ein kommendes Set von EU-Konformitäts- und Offenlegungsanforderungen, die von der Europäischen Kommission und der European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG) vorgestellt wurden. Die ESRS sollen die Nachhaltigkeitsberichterstattung und das ESG-Reporting (Environmental, Social, Governance) innerhalb der EU genauer, üblicher, konsistenter, vergleichbarer und standardisierter gestalten, ähnlich wie die Finanzbuchhaltung und Finanzberichterstattung[12].

Die ISO 14064 ist eine internationale Richtlinie zur Bilanzierung der Unternehmensbezogenen Treibhausgasemissionen, also zur Erstellung des sogenannten Corporate Carbon Footprints (CCF). Die ISO 14064-1 legt dabei die Prinzipien und Anforderungen auf Organisationsebene, für die Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen, fest. Es besteht keine grundlegende Pflicht zur Verifizierung dieser Norm, jedoch kann ein Unternehmen durch die Umsetzung der Anforderungen die Qualität ihrer CO₂-Bilanzierung steigern. Inhaltlich ist die Norm angelehnt an das Greenhouse Gas Protocol[6].

Die ISO 14067 ist eine internationale Richtlinie, die Anleitungen zur quantitativen Bestimmung des Kohlendioxid-Fußabdruck eines Produkts, also dem Product Carbon Footprint (PCF), über den gesamten Lebenszyklus bietet. Sie beinhaltet Anforderungen und Richtlinien zur Berechnung, Datenerfassung, Interpretation und Überprüfung der Emissionen, sowie zur Berechnung von Sekundärdaten. Die Norm unterstützt damit Unternehmen bei der Erfassung des PCFs, die Anwendung ist jedoch wie bei der ISO14064 keine Pflicht[13].

Zu den einschlägigen Rahmenwerken in der Nachhaltigkeitsberichterstattung zählen, über die ESRS hinaus, exemplarisch die GRI Sustainability Reporting Standards, die Task Force on Climate Related Financial Disclosures oder der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK). Diese Rahmenwerke konzentrieren sich allerdings primär auf die Berichterstattung von Nachhaltigkeitsinformationen und nicht explizit auf die Emissionserfassung. Für die Emissionserfassung selbst gelten die diversen Standards des Greenhouse Gas Protocols als am weitesten verbreitet und werden von den verschiedenen Rahmenwerken zur Klimabilanzierung zitiert und empfohlen:

- **GHG Procotol Corporate Standard:** Berechnung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen entlang der gesamten Liefer- und Produktionskette
- **GHG Protocol Corporate Value Chain Standard:** Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasen, die im Rahmen der Lieferkette emittiert werden
- **GHG Protocol Product Life Cycle Standard:** Berechnung des Product Carbon Footprint

Der GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard von 2004 bietet Standards und Leitlinien für Unternehmen, die ein THG-Emissionsinventar erstellen. Er standardisiert Herangehensweisen und Prinzipien zur Berechnung der Klimabilanz, um den realistischen Ausstoß von Treibhausgasen zu ermitteln. Dadurch erhöht sich die Konsistenz und Transparenz bei der CO₂-Bilanzierung und die Ergebnisse werden durch eine standardisierte Berichterstattung vergleichbar gemacht[8]. Insgesamt ist der Unternehmensstandard allerdings sehr allgemein gehalten, sodass hier wenig auf spezifische Interessen und Tätigkeiten von Unternehmen eingegangen wird. Daher wurden weitere Standards des GHG Protocols entwickelt, die auf dem Corporate Standard aufbauen und diesen ergänzen.

Der Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard von 2011 fokussiert sich auf die Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasen, die im Rahmen der Lieferkette emittiert werden. Der Standard teilt dabei die Treibhausgasemissionen in die drei Scopes auf, da sich die Emissionen innerhalb der Lieferkette alle den Scope 3-Emissionen zuordnen lassen[10]. Ergänzt wird der Standard durch die Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions, welcher mehr Informationen für die Berechnung und Datenerfassung von Scope 3-Emissionen gibt[14].

Der Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard dient der Berechnung des CO₂-Fußabdrucks für Produkte, dem Product Carbon Footprint. Er fokussiert sich damit auf die Erfassung des Klimaeinfluss einzelner Produkte. Bei genauer Betrachtung des Standards wird deutlich, dass gerade in produzierenden Unternehmen ein enger Zusammenhang zum Lieferkettenstandard besteht[9].

Zusammengefasst lässt sich Aussagen, dass die Anwendung der verschiedenen Standards des Greenhouse Gas Protocols, die international anerkannte Vorgehensweise bei der Emissionserfassung auf Unternehmensebene ist. Die Anwendung der Standards schafft Konformität mit den Rahmenwerken zur Nachhaltigkeitsberichterstattung und erfüllt die gesetzlichen Anforderungen zur Emissionserfassung. Für die Entwicklung der Methodik bilden die Standards des GHG Protocols somit die Basis.

3.2 Herausforderungen

Zur Entwicklung einer Methodik, die auf eine Reduzierung der Komplexität abzielt, ist es zunächst erforderlich, die Herausforderungen bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen zu identifizieren. Diese Herausforderungen sind nicht universell und variieren je nach Branche des produzierenden Unternehmens sowie anderen variablen Faktoren, die von der spezifischen Unternehmenssituation abhängen. Obwohl nicht jedes Unternehmen notwendigerweise auf Schwierigkeiten bei der Erfassung der Scope 3-Emissionen stößt, lassen sich dennoch generelle Problemfelder und Schwierigkeiten bei der Erfassung identifizieren, die ganz oder teilweise auf einen Großteil der Unternehmen zutreffen dürften. Dabei ist eine Unterscheidung zwischen unternehmensspezifischen Schwierigkeiten und Herausforderungen, die speziell die Erfassung von Scope 3-Emissionen betreffen, vorzunehmen.

Ein zentrales unternehmerisches Problem besteht insbesondere in der Bewältigung der komplexen und sich kontinuierlich wandelnden gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf die Nachhaltigkeitsberichterstattung, einschließlich der damit verbundenen ausführlichen Lektüre der entsprechenden Erfassungsstandards[3]. Allein die für die Erfassung von Scope 3-Emissionen relevanten Standards des Greenhouse Gas Protocols umfassen in ihrer Gesamtheit etwa 600 Seiten. Darüber hinaus gestaltet sich die Durchdringung dieser umfangreichen Literatur als besonders anspruchsvoll, wenn eine Vorerfahrung oder Fachkenntnis im Bereich der Emissionserfassung fehlt, was auf den Großteil der produzierenden Unternehmen zutrifft. Die notwendige Einarbeitung in diese Literatur, bevor mit der Erfassung von Scope 3-Emissionen gestartet werden kann, bindet beträchtliche Zeit- und Arbeitsressourcen des Unternehmens. Diese Ressourcen sind oft nur begrenzt vorhanden und ihr Einsatz zieht somit erhebliche wirtschaftliche Kosten nach sich. Laut einer Umfrage der Science Based Targets initiative (SBTi) sind etwa 59 Prozent der befragten Unternehmen von diesem Problem betroffen[3].

Die technischen Herausforderungen und Schwierigkeiten, die bei der Erfassung und Quantifizierung von Scope 3-Emissionen auftreten, umfassen insbesondere die nachfolgend aufgeführten Aspekte:

- Komplexität der Lieferkette
- Datenverfügbarkeit und Qualität
- Interpretation der GHG Protocol-Standards

Eine primäre Herausforderung bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen ist die Komplexität der Lieferkette. Das Greenhouse Gas Protocol definiert fünfzehn verschiedene Einflussfaktoren, die in Betracht gezogen werden müssen[10]. Innerhalb der Lieferkette existieren oftmals eine erhebliche Anzahl von Datenströmen, was eine genaue Übersicht erschwert. Darüber hinaus hat ein Unternehmen meist nur geringen Einfluss auf das nachgelagerte Verhalten bezüglich der verkauften Waren und kann demzufolge den weiteren Emissionsverlauf nur schwerlich verfolgen. Dies führt zu einer Herausforderung bei der Attributierung von Emissionen zu bestimmten Produkten oder Prozessen, wie etwa 60 Prozent der befragten Unternehmen berichten[3].

Die Verfügbarkeit und Qualität von Daten repräsentiert eine weitere Herausforderung bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen. Aufgrund der oftmals unzureichenden Qualität von Primärdaten der Zulieferer, sofern diese überhaupt existieren, muss vermehrt auf Sekundärdaten, wie beispielsweise CO₂-Umrechnungsdatenbanken, zurückgegriffen werden. Etwa 85 Prozent der befragten Unternehmen betrachten den Zugang zu verlässlichen Daten als ein wesentliches Hindernis für die Entwicklung einer belastbaren Datengrundlage, was hauptsächlich auf das Fehlen von validen Zuliefererdaten zurückzuführen ist. Als Konsequenz hiervon nutzen nur 6 Prozent der befragten Unternehmen spezifische Emissionsdaten und -faktoren ihrer Lieferanten[3].

Die Interpretation der GHG Protocol-Standards stellt laut Befragung für etwas 45 Prozent der Unternehmen eine erhebliche Herausforderung dar. Das Festlegen geeigneter Systemgrenzen, die an die spezifischen Umstände eines Unternehmens angepasst sind, sowie die Auswahl der

angemessenen Erfassungsmethodik, stellt einen komplexen Prozess dar. Einige Befragte wiesen darauf hin, dass die bestehenden Methoden nicht auf die individuellen Gegebenheiten ihres Unternehmens zugeschnitten sind[3].

Es ist zu beachten, dass bei den oben aufgeführten Herausforderungen bereits 83 Prozent der befragten Unternehmen ihre Scope 3-Emissionen in die Treibhausgasbilanzierung einbeziehen und sich daher intensiv mit diesem Thema befassen. Dennoch stoßen eine Vielzahl dieser Unternehmen auf bestimmte Schwierigkeiten. Sollten Unternehmen befragt werden, die sich noch nicht mit der Erfassung von Scope 3-Emissionen oder generell mit der Klimabilanzierung beschäftigt haben, könnten die Ergebnisse vermutlich noch drastischer ausfallen. Dies zeigt erneut die Notwendigkeit einer Komplexitätsreduktion auf.

3.3 Marktlösungen

Um die Entstehung neuer Kenntnisse und Inhalte zu fördern, ist es wesentlich, vorhandene Lösungsansätze zur Scope 3-Erfassung, oder zur Reduktion der Komplexität dieser, auf dem Markt zu identifizieren. Eine kritische Analyse der potenziellen Schwachstellen dieser Ansätze ist erforderlich, um eine Methodik zu entwickeln, die eine umfassendere und effizientere Unterstützung bietet.

Als einfachste Lösung dient sicherlich das hinzuziehen von externen Consulting Unternehmen. Consulting Unternehmen welche spezialisiert auf Klimabilanzierungen und Scope 3- Emissionserfassung spezialisiert sind, können bei Teilen des Erfassungsprozesses unterstützen, oder die gesamte Erfassung übernehmen. Abhängig von der Größe des Unternehmens und der Komplexität der Lieferkette sind für diese Dienstleistungen in der Regel Kosten im unteren bis mittleren fünfstelligen Bereich zu erwarten. Problematisch stellt sich hierbei die fehlende Transparenz und eigenständige Überprüfung der Erfassungsqualität dar. Hinzu kommt die Notwendigkeit, diese Dienstleistungen jährlich in Anspruch nehmen zu müssen.

Einen weiteren Lösungsansatz bietet das GHG Protocol selber. Es stellt in Zusammenarbeit mit Quantis ein kostenfreies webbasiertes Tool, den Scope 3 Evaluator, zur Verfügung[15]. Dieser hat allerdings erhebliche Einschränkungen in Bezug auf die Genauigkeit der Berechnung und eignet sich nur für eine erste grobe ausgabenbasierte Abschätzung der Scope 3-Emissionen[16]. Zum Einstieg in die THG-Bilanzierung, wird von der Effizienz-Agentur NRW mit dem ecocockpit ein kostenfreies webbasiertes Tool zur CO₂-Bilanzierung von Unternehmen angeboten[17]. Das Tool hat dabei jedoch noch mehr Einschränkungen als der Scope 3 Evaluator und ist daher nur als Tool zum sehr oberflächlichen Einstieg in die Erfassung zu verstehen.

Über die bereits genannten Tools hinaus, gibt es viele weitere Softwarelösungen für die Klimabilanzierung, beziehungsweise Scope 3-Erfassung. Diese teilen allerdings einen Großteil ihrer Schwächen. Laut einer Umfrage des Umweltbundesamtes haben 83 Prozent der Softwarelösungen keinen Branchenfokus. Lediglich 4 Prozent geben an, nur eine Branche zu fokussieren. Befragte Nutzer vermissten oft ein umfangreiches Monitoring der Lieferkette, was für die Scope 3-Erfassung elementar wichtig ist. Darüber hinaus sind umfangreicheren Softwarelösungen meist

mit hohen Lizenzgebühren verbunden und die Nutzung, sowie die Integrierung in die bestehenden Unternehmenssysteme, stellte sich als sehr komplex dar[18].

Auf Forschungsseite werden, zum Beispiel im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines Konzepts für den Einsatz von digitalen Technologien im Scope 3 Carbon Accounting“ der TU Hamburg, Potenziale untersucht, digitale Technologien in der Scope 3-Erfassung einzusetzen. Stichworte sind hier zum Beispiel Blockchain, künstliche Intelligenz oder Initiativen, wie Catena-X, welche an einem digitalen Ökosystem mit einheitlichen Standards für den Datenaustausch entlang der Wertschöpfungskette arbeiten, um die Digitalisierung von Emissionsdaten voranzutreiben. Dazu müssen Kunden und Lieferanten aber sowohl die Emissionserfassung in den Unternehmen fest integrieren, als auch bereit dafür sein, Emissionsdaten mithilfe von innovativen Lösungen entlang der Wertschöpfungskette zu teilen[19]. Solange keine umfassenden Datenbanken aufgebaut sind, beziehungsweise die Marktdurchdringung dieser Technologien nicht hoch genug ist, bietet dies keine realistische Lösung für Unternehmen die zeitnah ihre Scope 3-Emissionen erfassen wollen.

Zusammengefasst lässt sich aussagen, dass die meisten bestehenden Lösungsansätze entweder mit hohen Kosten oder Lizenzgebühren verbunden sind, sich nicht auf die individuelle Situation des Unternehmens anpassen lassen, nur für eine grobe Abschätzung geeignet sind, oder bei der Genauigkeit und Qualität der Ergebnisse schlecht abschneiden.

4 Entwicklung der Methodik

In diesem Kapitel wird im Detail erläutert, wie die Methodik zur Erfassung von Scope 3-Emissionen entwickelt wird und wie sie anzuwenden ist. Das Ziel der Methodik besteht darin, die Komplexität der Scope 3-Erfassung zu mindern, ohne die Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten stark zu beeinträchtigen. Sie dient als Leitfaden, der es produzierenden Unternehmen ermöglicht, eine geordnete Struktur zur Erfassung ihrer Scope 3-Emissionen zu implementieren. Die Methodik soll praktisch anwendbar sein und den Unternehmen das zur Erfassung notwendige Wissen vermitteln.

Die Methodik soll insbesondere auf die Herausforderungen eingehen, die im Kapitel Literatur und Stand der Forschung beschrieben werden und zielt darauf ab, die identifizierten Lücken der bestehenden Marktlösungen zu schließen. Es ist zwingend erforderlich, dass die Methodik den gesetzlichen Anforderungen für Klima- und THG-Bilanzierung entspricht und orientiert sich deshalb an den bestehenden Standards des GHG Protocols für die Emissionserfassung.

Da die Interpretation der verschiedenen Standards eine Herausforderung darstellt, geht es darum, die bestehenden Standards des Greenhouse Gas Protocols zur Erfassung von Scope 3-Emissionen auf ihre Herangehensweisen, also die verschiedenen Methoden und Ansätze zur Erfassung, zu untersuchen und zu evaluieren, welche Inhalte übernommen werden können. Darüber hinaus soll der Ansatz so angepasst und erweitert werden, dass er für die Situation der produzierenden Unternehmen passend ist und damit vor allem aufgewendete Zeitressourcen und Wissensbarrieren reduziert[3].

Die vorgeschlagene Methodik zur Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen umfasst damit die folgenden Schritte:

- Identifizierung von Schlüsselprozessen
- Wahl des Erfassungsdesigns
- Erfassung der Emissionsdaten
- Berechnung der Scope 3-Emissionen
- Bewertung der Erfassung

Im ersten Schritt findet die Identifizierung von Schlüsselprozessen statt, bei welcher die wesentlichen Emissionsquellen und -pfade innerhalb der Lieferkette identifiziert werden. Auf Basis dieser Analyse, wird ein Erfassungsdesign gewählt und anschließend die relevanten Emissionsdaten auf Basis verschiedener Datenquellen erfasst. Anschließend werden mit den erfassten Emissionsdaten die Scope 3-Emissionen berechnet. Abschließend wird die Erfassung bewertet, um eine Aussage über die Qualität der Ergebnisse treffen zu können und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Die erfassten Scope 3-Emissionen stellen dabei immer die Werte für ein Kalenderjahr dar. Die praktische Anwendung der entwickelten Methodik wird an einem realen Fallbeispiel im nachfolgenden Kapitel Anwendung der Methodik demonstriert.

4.1 Identifizierung von Schlüsselprozessen

Es gibt verschiedene Ansätze, um die Erfassung von Scope 3-Emissionen zu erleichtern. Eine Möglichkeit besteht darin, die Erfassung auf Schlüsselprozesse zu konzentrieren, die einen hohen Anteil an den gesamten Scope 3-Emissionen ausmachen. Ein anderer Ansatz besteht darin, Lieferanten anhand ihrer Bedeutung für die Scope 3-Emissionen des Unternehmens zu priorisieren und die Erfassung auf die wichtigsten Lieferanten zu konzentrieren[8].

Der Corporate Value Chain Standard des GHG Protocol empfiehlt die Erfassung auf Schlüsselprozesse der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette zu konzentrieren, da ohne diese Priorisierung eine signifikante Reduktion der Komplexität, aufgrund der vielen Einflussfaktoren in der Wertschöpfungskette, nicht umsetzbar ist[10]. Die Erfassung auf die wichtigsten Lieferanten zu konzentrieren kann den Erfassungsaufwand ebenfalls drastisch reduzieren, betrachtet dabei allerdings nur Einflussfaktoren die in der vorgelagerten Wertschöpfungskette liegen und schließt dabei eventuell Prozesse aus, die einen großen Einfluss auf die Scope 3-Emissionen haben könnten. Die Priorisierung auf die wesentlichen Einflussfaktoren kann somit Komplexität für Unternehmen in der Scope 3-Erfassung nehmen und dabei trotzdem sicherstellen, dass die größten Emittenten erfasst werden[10][3]. Schlussfolgernd baut die Methodik auf der Identifizierung von Schlüsselprozessen auf.

In diesem Schritt werden nun die Schlüsselprozesse entlang der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette identifiziert, welche einen hohen Anteil an den gesamten Scope 3-Emissionen von produzierenden Unternehmen ausmachen. Damit soll gesichert werden, dass alle emittierten THG-Mengen, die einen wesentlichen Beitrag zu den Scope 3-Emissionen leisten, in die Untersuchung einbezogen werden[6].

Die Identifizierung der relevanten Schlüsselprozesse erfolgt anhand einer Analyse, der im Durchschnitt größten Scope 3-Emittenten in produzierenden Unternehmen. Die Scope 3-Emissionen beziehen sich auf alle indirekten Emissionen, die in der Wertschöpfungskette eines Unternehmens auftreten, außerhalb der eigenen direkten Aktivitäten. Wie bereits erwähnt gibt es 15 verschiedene Einflussfaktoren. Diese können sowohl aus der vor- als auch aus der nachgelagerten Wertschöpfungskette stammen, und umfassen beispielsweise die Rohstoffgewinnung, den Transport, die Nutzung der verkauften Produkte durch den Endkunden und deren Entsorgung oder Recycling.

Aus Literaturquellen lässt sich ableiten, dass die folgenden Einflussfaktoren mit hoher Wahrscheinlichkeit die größten Emissionen in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette von produzierenden Unternehmen verursachen[2][8]:

- Verwendete Materialien zur Herstellung der Produkte
- Transport des Materials und Transport der Produkte
- Nutzung der Produkte in produzierenden Unternehmen

So spielen etwa bei der Herstellung von Metallzeugnissen, elektrischen Ausrüstungen, dem Maschinenbau oder dem sonstigen Fahrzeugbau die Vorprodukte aus der Metallherzeugung und -

bearbeitung, sowie der Transport und die Nutzung der Produkte, eine entscheidende Rolle[20][8].

Wichtig zu betonen ist, dass die gewonnene Erkenntnis, welches die relevanten Schlüsselprozesse in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette sind, nicht auf alle produzierenden Unternehmen zutreffen muss. Hier sollte jedes Unternehmen seine individuelle Situation beurteilen und die wahrscheinlichsten Hauptemitter erörtern. Dazu können beispielsweise Studien oder Fachberichte der spezifischen Branche, oder veröffentlichte Nachhaltigkeitsberichte von ähnlichen beziehungsweise konkurrierenden Unternehmen, als Referenz genommen werden.

Die Herangehensweise, bei der Ermittlung der Scope 3-Emissionen mit der Identifizierung der Schlüsselprozesse zu starten, sollte jedoch grundlegend beibehalten werden.

4.2 Wahl des Erfassungsdesigns

In diesem Schritt wird beschrieben, welches Erfassungsdesign gewählt wird, um dieses in dem darauffolgenden Unterkapitel Erfassung der Emissionsdaten anzuwenden. Bei der Wahl des Erfassungsdesigns geht es darum, klarzustellen wie man den Erfassungsaufwand der Emissionsdaten von den identifizierten Schlüsselprozessen reduzieren kann und welche Datenquellen man für die Erfassung der Emissionsdaten nutzt.

Obwohl die Erfassung von Scope 3-Emissionen häufig auf Unternehmensebene erfolgt, ist es in produzierenden Unternehmen sinnvoll, sie auf Produktebene zu ermitteln. Diese Art der Ermittlung wird als Produktlebenszyklusanalyse bezeichnet und ermittelt den Product Carbon Footprint (PCF). Ein PCF umfasst dabei standardmäßig alle drei Emissions-Scopes. Die Summe der PCFs aller Produkte in einem produzierenden Unternehmen, bildet den überwiegenden Großteil des Corporate Carbon Footprint (CCF) ab, da fast alle Emissionen den produzierten Produkten zugewiesen werden können.

Durch die Fokussierung auf die identifizierten Schlüsselprozesse, beschränkt sich die Erfassung auf die Schritte des Produktlebenszyklus, in welchen die meisten Scope 3-Emissionen entstehen. Als Schlussfolgerung daraus, müsste man um die Scope 3-Emissionen eines produzierenden Unternehmens zu erfassen, für jedes hergestellte Produkt eine Emissionserfassung der identifizierten Schlüsselprozesse durchführen. Da dies zeitlich und technisch vom Umfang her ein extrem komplexes Vorhaben darstellt, macht es Sinn, Produktgruppen zu bilden. Produktgruppen fassen dabei ähnliche Produkte zu einer größeren Kategorie zusammen. Ziel der Produktgruppenbildung ist es, die Emissionen für jeden Schlüsselprozess in der Produktgruppe im Durchschnitt zu erfassen und die Ergebnisse auf die gesamte Produktgruppe zu extrapolieren. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Genauigkeit der Durchschnittswerte davon abhängt, wie präzise die Produktgruppen gebildet wurden. Je größer die Varianz der Produkte einer Produktgruppe, desto ungenauer wird das Ergebnis ausfallen.

Die Produkte einer Produktgruppe sollten so gewählt sein, dass die Einflüsse der identifizierten Schlüsselprozesse relativ ähnlich sind. Das heißt, dass beispielsweise Produkte welche aus ähnlichen Materialien hergestellt werden und in der Nutzungsphase eine ähnliche Anwendung finden zu einer Produktgruppe zusammengefasst werden können. Wichtig ist dabei, dass ein Produkt

nicht in mehreren Produktgruppen vorkommen darf, um eine Doppelzählung der emittierten THG-Menge zu vermeiden[13]. Falls ein Unternehmen mehrere Produktionsstandorte betreibt, macht es eventuell sogar Sinn, je Standort verschiedene Produktgruppen zu bilden, welche nicht über die Standorte hinweg betrachtet werden. Dies ist vor allem für die Erfassung der transportbezogenen Emissionen von Vorteil.

Dieser Prozess ist von Unternehmen zu Unternehmen differenziert zu betrachten. Wenn ein Unternehmen eine Vielzahl an unterschiedlichsten Produkten herstellt, werden Schlussfolgernd auch mehr Produktgruppen gebildet werden müssen. Mit dem Hintergrund der Komplexitätsreduktion sollte hierbei drauf geachtet werden, die Produktgruppen zwar möglichst präzise, aber trotzdem nicht zu kleinteilig, gefasst werden. Die Erstellung der Produktgruppen, sowie die anschließende Erfassung der Daten, sowie die Berechnung, nimmt sonst substantiell mehr Zeitressourcen in Anspruch.

Nachdem die Produktgruppen gebildet wurden, müssen die Emissionsdaten erfasst werden. Hierzu werden vom GHG Protocol vier verschiedene Methoden zur Erfassung der Scope 3-Emissionsdaten vorgeschlagen[10]:

- Zulieferer-/Kundenspezifische-Methode
- Durchschnittsdaten-Methode
- Ausgabenbasierte-Methode
- Hybride-Methode

Die Zuliefererspezifische- beziehungsweise Kundenspezifische-Methode, also die Verwendung von Primärdaten der Lieferanten oder Kunden, hat die potenziell größte Genauigkeit. Sie ist allerdings mit einem hohen Aufwand bei der Datenerhebung verbunden und die Datenqualität der Primärdaten ist meistens nicht gesichert.

Die Durchschnittsdaten-Methode schätzt die Emissionen auf Basis von massenbasierten Emissionsfaktoren aus Industriedurchschnittsdaten ab. Diese Erhebung von Sekundärdaten reduziert zwar den Aufwand der Erfassung, hat allerdings bei der Verwendung von generischen Durchschnittsdaten eine nur eingeschränkte Genauigkeit.

Die Ausgabenbasierte-Methode schätzt Emissionen durch Verwendung des wirtschaftlichen Werts der Güter ab. Die Anwendung dieser Methodik reduziert den Aufwand der Erfassung drastisch, weißt allerdings die größte Ungenauigkeit bei der Erfassung auf.

Die Hybride-Methode kombiniert die Zulieferer-/Kundenspezifische-Methode mit der Durchschnittsdaten - oder Ausgabenbasierten-Methode. Sie ist der pragmatische Mittelweg, Primärdaten dort zu nutzen wo sie vorhanden sind und für die restliche Emissionserfassung die Durchschnittsdaten -Methode oder die Ausgabenbasierte-Methode anzuwenden.

Ein Großteil der Unternehmen wendet keine spezifische Methode an oder greift auf die Ausgabenbasierte - oder Durchschnittsdaten -Methode zurück[2]. Diese Herangehensweise stellt sich

allerdings als relativ ungenau dar, weshalb die entwickelte Methodik die Hybride-Methode anwendet. Dabei zu beachten ist, dass für die Sekundärdaten-Erhebung, also überall dort wo keine Zulieferer- oder Kundenspezifische Daten verwendet werden können, nur die Durchschnittsdaten-Methode angewandt wird, um die Genauigkeit der Erfassung möglichst hoch zu halten.

4.3 Erfassung der Emissionsdaten

In diesem Schritt werden die Emissionsdaten der identifizierten Schlüsselprozesse, nach dem beschriebenen Erfassungsdesign, erfasst. Die Emissionsdaten umfassen dabei die Emissionsfaktoren und die Aktivitätsdaten, da diese für die Berechnung der Scope 3-Emissionen notwendig sind. Emissionsfaktoren sind dabei beispielsweise: kg CO₂e-Emissionen pro zurückgelegtem Kilometer, oder kg PFC-Emissionen pro kg eingesetztem Material. Aktivitätsdaten wiederum wären beispielsweise die zurückgelegte Strecke in Kilometern oder das Gewicht des eingesetzten Materials.

Für die Erfassung der Emissionsdaten werden zuerst die Produktgruppen gebildet. Wenn die Produktgruppen gebildet sind, wird ein Produkt aus jeder Produktgruppe für die weitere Erfassung bestimmt. Anschließend wird identifiziert welche Daten der gewählten Produkte, in den jeweiligen Schlüsselprozessen relevant sind. Für diese Daten werden die Emissionsfaktoren jeder Produktgruppe gebildet. Anschließend werden die Aktivitätsdaten jeder gesamten Produktgruppe zusammengefasst. Für die Produktgruppenbezeichnung wird als Platzhalter der Nummerierung ein X verwendet, um die Formeln Beispielhaft darstellen zu können.

Die Erfassung der Emissionsdaten erfolgt dabei nach der Hybriden-Methode, weshalb Daten von Lieferanten als auch die Nutzung von Emissionsfaktoren aus Datenbanken erfolgen kann. Dies wird je nach Schlüsselprozess detailliert beschrieben.

4.3.1 Erfassung Material

Zuerst muss identifiziert werden, welche Ressourcen je Produktgruppe am relevantesten sind. Hier wird ein Massenbasierter Ansatz gewählt, da dies in den meisten Fällen den Großteil der Material-Emissionen abdeckt[9]. Das heißt es werden je Produktgruppe, die Ressourcen ausgewählt die den größten Einfluss auf das Gewicht der Produkte haben. Für diese Ressourcen werden dann die Emissionsfaktoren erfasst.

Für die Erfassung der Emissionsfaktoren der eingesetzten Ressourcen, sind die präzisesten Daten die Primärdaten von den Zulieferern und sind bevorzugt zu nutzen. Wenn keine Primärdaten verfügbar sind kann auf Emissions-Datenbanken zurückgegriffen werden. Datenbanken sind hier zum Beispiel die Datenbank des Umweltbundesamtes gemis, die ecoinvent Database, die IPCC emission factor database, oder die Ressourcen Liste des Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Diese Datenbanken machen vor allem Sinn, wenn man Industriedurchschnittswerte verwenden möchte. Spezifischere Datenbanken wie die von Gabi machen Sinn, wenn man die Ressourcen tiefer im Detail, wie zum Beispiel die verschiedene Legierungstypen von Metallen, betrachten will. Dies ist allerdings wieder mit hohem Aufwand verbunden und diese Datenbanken kosten meist viel Geld.

Beispielhaft dargestellt kann die Erfassung der Emissionsfaktoren so aussehen:

In Produktgruppe X wurden Material 1 und Material 2 als Hauptfaktor erfasst. Auf Basis des Informationsblatt CO₂-Faktoren des Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle wurden folgende Emissionsfaktoren identifiziert[21]:

Emissionsfaktoren von Material 1 und von Material 2 der Produktgruppe 1:

$$EF_{M1,PGX} = \frac{tCO_2e \text{ Emissionen}}{t \text{ Material1}} \quad (1)$$

$$EF_{M2,PGX} = \frac{tCO_2e \text{ Emissionen}}{t \text{ Material2}} \quad (2)$$

Für weitere Produktgruppen können wiederum andere Material-Ressourcen relevant sein.

Nachdem die Emissionsfaktoren erfasst wurden, werden die Aktivitätsdaten jeder Produktgruppe erfasst. Das heißt, wieviele von den ausgewählten Ressourcen benötigt werden, um die Produkte aus der gesamten Produktgruppe herzustellen. Wenn die ausgewählten Ressourcen nicht das gesamte Produkt umfassen, kann auf Basis des Produktgewichtes der Materialeinsatz extrapoliert werden.

Beispielhaft dargestellt kann die Erfassung der Aktivitätsdaten so aussehen:

Auf Basis von internen Auswertungen der Jahresproduktion und des Einkaufes an Ressourcen konnten folgende Aktivitätsdaten in Summe ermittelt werden:

Summe der für Produktgruppe X jährlich aufgewendeten Masse an Material 1 und an Material 2:

$$A_{M1,PGX,Jahr} = \frac{\sum \text{Material1}}{\text{Jahr}} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (3)$$

$$A_{M2,PGX,Jahr} = \frac{\sum \text{Material2}}{\text{Jahr}} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (4)$$

Für weitere Produktgruppen können wiederum andere Aktivitätsdaten ermittelt werden.

Mit den erfassten Emissionsdaten der verwendeten Ressourcen können anschließend die Scope 3-Emissionen berechnet werden. Dies wird in Kapitel Berechnung der Scope 3-Emissionen dargestellt.

4.3.2 Erfassung Transport

Für die beim Material erfassten relevanten Ressourcen müssen die Emissionen für die Zulieferung erfasst werden. Für die hergestellten Produkte müssen die Emissionen für die Ablieferung zum Kunden erfasst werden. Hierbei ist das Vorgehen gleich wie beim Material. Zuerst werden die Emissionsfaktoren erfasst, bevor die Aktivitätsdaten erfasst werden.

Für die Erfassung der Emissionsfaktoren gibt es verschiedene Tools, diese ermitteln zu können. Beispielhaft zu nennen wären hier der EcoTransIT World-Rechner, der Carbon Care CO₂ Calculator oder das Transportemissionsberechnungstool vom GHG Protocol[22],[23],[24].

Bei der Erfassung der Emissionsfaktoren muss differenziert werden zwischen Schienen-, Straßen-, Luft-, und Wassertransport, sowie des verwendeten Transportmittels. Das Tool vom GHG Protocol bietet dabei die beste Möglichkeit, die Emissionsfaktoren für den eigenen Anwendungsfall zu bestimmen und wird deswegen im weiteren Vorgehen empfohlen. Beispielfhaft dargestellt kann die Erfassung der Emissionsfaktoren so aussehen:

Emissionsfaktor Zulieferung Produktgruppe X:

$$EF_{Zul,PGX} = \frac{gCO_2e \text{ Emissionen}}{\text{Tonne km}(Zul)} \left(\frac{g}{t * km} \right) \quad (5)$$

Emissionsfaktor Ablieferung Produktgruppe 1:

$$EF_{Abl,PGX} = \frac{tCO_2e \text{ Emissionen}}{\text{Tonne km}(Abl)} \left(\frac{g}{t * km} \right) \quad (6)$$

Nachdem die Emissionsfaktoren erfasst wurden, werden die Aktivitätsdaten jeder Produktgruppe erfasst. Zu den Aktivitätsdaten zählt die Masse der zugelieferten Ressourcen und der abgelieferten Produkte, sowie die zurückgelegte Strecke bei der Zulieferung und Ablieferung.

Die Masse der jährlich zugelieferten Ressourcen wurde in der Beispieldarstellung bereits bei der Materialerfassung ermittelt. Da bei der Materialverarbeitung in den meisten Fällen Schrott anfällt, ist das Gewicht der verkauften Produkte geringer als das eingesetzte. Dies muss also separat erfasst werden.

Gewicht der von Produktgruppe X jährlich abgelieferten Produkte:

$$P_{massePGX,Jahr} = \frac{\sum \text{Produkte}(PGX)}{\text{Jahr}} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (7)$$

Die Erfassung der zurückgelegten Strecke wird auf Durchschnittswerte für die jeweils zugelieferten Materialien und abgelieferten Produkte gerechnet. Dies ist deshalb sinnvoll, um bei einer Anzahl vieler Lieferanten und Kunden, die Berechnungen nicht zu komplex werden zu lassen. Die Berechnung für die durchschnittliche Zulieferungsstrecke könnte dabei beispielsweise wie folgt aussehen:

Zulieferungsstrecke 1 für 60 Prozent des für Produktgruppe X angelieferten Material 1:

$$S_{Zul1,M1,PGX} = \text{Strecke1} (km) \quad (8)$$

Zulieferungsstrecke 2 für 30 Prozent des für Produktgruppe X angelieferten Material 1:

$$S_{Zul2,M1,PGX} = \text{Strecke2} (km) \quad (9)$$

Zulieferungsstrecke 3 für 5 Prozent des für Produktgruppe X angelieferten Material 1:

$$S_{Zul3,M1,PGX} = \text{Strecke3} (km) \quad (10)$$

Die Gesamtprozentzahl der betrachteten Zulieferungsstrecke von Material 1 aus Produktgruppe X wäre in diesem Fall:

$$PrS_{Zul,M1,PGX} = 95\% \quad (11)$$

Die restlichen 5 Prozent des Material 1 kommen von verschiedensten Zulieferern, was die Erfassung zeitlich enorm aufwendig macht, weshalb diese ausgelassen werden.

Daraus ergibt sich dann die Durchschnittsstrecke für das für Produktgruppe X angelieferte Material 1:

$$S_{Zul,M1,PGX} = \frac{S_{Zul1,M1,PGX} * 60\% + S_{Zul2,M1,PGX} * 30\% + S_{Zul3,M1,PGX} * 5\%}{PrS_{Zul,M1,PGX}} (km) \quad (12)$$

Die Berechnung für die durchschnittliche Ablieferungsstrecke der hergestellten Produkte jeder Produktgruppe kann genauso durchgeführt werden.

4.3.3 Erfassung Nutzungsphase

Bei der Erfassung der Nutzungsphase muss unterscheiden werden, zwischen Produkten die aktiv Energie, also Brennstoff oder Elektrische Energie, verbrauchen und Produkten die indirekt zum Energieverbrauch beitragen, zum Beispiel durch ihr Gewicht. Das heißt hier ist man sehr abhängig von der Branche und den produzierten Produkten. Produkte die aktiv zum Energieverbrauch beitragen sind beispielsweise Autos, welche Brennstoff verbrauchen, oder Elektrogeräte und Maschinen welche Elektrische Energie verbrauchen. Indirekt zum Energieverbrauch beitragen würde zum Beispiel ein produziertes LKW-Stahlrad, welches durch sein Gewicht indirekt den Brennstoffbedarf des Lastkraftwagens erhöht, oder eine hergestellte Pfanne welche für die Benutzung erhitzt werden muss. Die Erfassung von Emissionen dieser Kategorie erfordert in der Regel Spezifikationen für das Produktdesign und Annahmen darüber, wie die Verbraucher die Produkte verwenden (zum Beispiel Nutzungsprofile, angenommene Produktlebensdauer, etc.)[10]. Bei der Nutzungsphase wird die gesamte Lebensdauer des Produktes betrachtet.

Die Erfassung der Nutzungsphase, in der Methodik für produzierende Unternehmen, zu simplifizieren, ist durch die Individualität der Produkte dadurch als sehr schwer zu bewerten. Hier ist eine eigene Recherche der Unternehmen notwendig, um für ihren speziellen Produktfall eine sinnvolle Erfassung zu gestalten. Wenn möglich sollte hier auf Primärdaten der Kunden zurückgegriffen werden. Wenn diese nicht vorhanden sind, ist die Nutzung von nationalen Durchschnittsstatistiken zur Produktnutzung sinnvoll[14].

Grundlegendes Ziel ist allerdings auch hier wieder, einen Emissionsfaktor und die Aktivitätsdaten zu bestimmen. Emissionsfaktor der Nutzungsphase von Produktgruppe X:

$$EF_{Nut,PGX} = \frac{kgCO_2e \text{ Emissionen}}{\text{Aktivität}} (1) \quad (13)$$

Der Emissionsfaktor könnte hier zum Beispiel, für Produkte welche elektrische Energie verbrauchen, der CO₂-Ausstoß des Strommix je verbrauchter Kilowattstunde sein.

Die Aktivitätsdaten der Nutzungsphase von Produktgruppe X, ist die Summe der Nutzungs-

phase der hergestellten Produkte aus Produktgruppe X:

$$A_{Nut,PGX} = \sum \text{Nutzungsaktivität (Einheit variiert je nach Kontext)} \quad (14)$$

Die Aktivitätsdaten wären dann beispielsweise der geschätzte Energieverbrauch, in Kilowattstunden, aller Produkte der Produktgruppe X über ihre Lebenszeit.

4.4 Berechnung der Scope 3-Emissionen

In diesem Schritt werden die erfassten Emissionsdaten verwendet, um die Scope 3-Emissionen des Unternehmens zu berechnen. Die Berechnung erfolgt in Übereinstimmung mit den internationalen Standards des Greenhouse Gas Protocol (Technical Guidance oder Value Chain oder PCF).

Wenn bei den Emissionsfaktoren, Werte noch nicht in CO₂-Äquivalenten angegeben sind, müssen in diesem Schritt noch die GWP-Umrechnungsfaktoren angewendet werden. Unternehmen sollten die neuesten IPCC-Werte verwenden. Obwohl der IPCC GWP-Metriken für verschiedene Zeiträume (zum Beispiel 20 und 500 Jahre) zur Verfügung stellt, werden 100 Jahre am häufigsten von Programmen und Politiken als mittlere Metrik verwendet und sollen daher für die Berechnung der Inventarergebnisse in dieser Methodik verwendet werden[9].

Die Grundlegende Formel für die Berechnung der Emissionen lautet:

$$Emissionen_{Jahr} = \text{Aktivitätsdaten} * \text{Emissionsfaktor} * GWP \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (15)$$

4.4.1 Berechnung Material-Emissionen

Beim Material sehen die Formeln wie folgt aus:

Scope 3-Emissionen für Produktgruppe X:

$$\begin{aligned} E_{Material,PGX,Jahr} &= (A_{M1,PGX,Jahr} * EF_{M1,PGX} * GWP) \\ &+ (A_{M2,PGX,Jahr} * EF_{M2,PGX} * GWP) \\ &+ \dots + (A_{Mn,PGX,Jahr} * EF_{Mn,PGX} * GWP) \left(\frac{kg}{a} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Die Scope 3-Emissionen für das Material sind dann die Summe Scope 3-Emissionen für das Material der gesamten Produktgruppen:

$$E_{Material,Jahr} = E_{Material,PG1,Jahr} + E_{Material,PG2,Jahr} + \dots + E_{Material,PGn,Jahr} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (17)$$

4.4.2 Berechnung Transport-Emissionen

Zuerst müssen die Aktivitätsdaten für die Zulieferung und Ablieferung berechnet werden:
Aktivitätsdaten Anlieferung für Produktgruppe X:

$$\begin{aligned} A_{Zul,PGX,Jahr} &= (S_{Zul,M1,PGX} * A_{M1,PGX,Jahr}) \\ &+ (S_{Zul,M2,PGX} * A_{M2,PGX,Jahr}) \\ &+ \dots + (S_{Zul,Mn,PGX} * A_{Mn,PGX,Jahr}) \left(\frac{km * kg}{a} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Aktivitätsdaten Ablieferung für Produktgruppe X:

$$A_{Abl,PGX,Jahr} = S_{Abl,PGX} * P_{massePGX,Jahr} \left(\frac{km * kg}{a} \right) \quad (19)$$

Anschließend können die Scope 3-Emissionen für die Zulieferung und Ablieferung berechnet werden:

Scope 3-Emissionen für die Anlieferung:

$$\begin{aligned} E_{Zulieferung,Jahr} &= (A_{Zul,PG1,Jahr} * EF_{Zul,PG1} * GWP) \\ &+ (A_{Zul,PG2,Jahr} * EF_{Zul,PG2} * GWP) \\ &+ \dots + (A_{Zul,PGn,Jahr} * EF_{Zul,PGn} * GWP) \left(\frac{kg}{a} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Scope 3-Emissionen für Ablieferung:

$$\begin{aligned} E_{Ablieferung,Jahr} &= (A_{Abl,PG1,Jahr} * EF_{Abl,PG1} * GWP) \\ &+ (A_{Abl,PG2,Jahr} * EF_{Abl,PG2} * GWP) \\ &+ \dots + (A_{Abl,PGn,Jahr} * EF_{Abl,PGn} * GWP) \left(\frac{kg}{a} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Die Scope 3-Emissionen für den Transport sind dann die Summe der Scope 3-Emissionen für Anlieferung und Ablieferung der gesamten Produktgruppen:

$$E_{Transport,Jahr} = E_{Zulieferung,Jahr} + E_{Ablieferung,Jahr} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (22)$$

4.4.3 Berechnung Nutzungsphasen-Emissionen

Bei der Berechnung der Nutzungsphasen-Emissionen sehen die Formeln wie folgt aus:
Scope 3-Emissionen für die Nutzungsphase der Produktgruppe X:

$$E_{Nut,PGX} = A_{Nut,PGX} * EF_{Nut,PGX} * GWP \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (23)$$

Die Scope 3-Emissionen für die Nutzungsphase sind dann die Summe der Scope 3-Emissionen

für die Nutzungsphase jeder Produktgruppe:

$$E_{Nutzung} = E_{Nut,PG1} + E_{Nut,PG2} + \dots + E_{Nut,PGn} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (24)$$

4.4.4 Berechnung Gesamt-Emissionen

Nachdem die Scope 3-Emissionen für die Schlüsselprozesse: Material, Transport und Nutzungsphase, berechnet wurden, fassen wir diese zu den Gesamten Scope 3-Emissionen zusammen:

Scope 3-Emissionen pro Jahr:

$$E_{Scope3,Jahr} = E_{Material,Jahr} + E_{Transport,Jahr} + E_{Nutzung} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (25)$$

Abschließend können, vorausgesetzt die Scope 1-Emissionen und Scope 2-Emissionen des Unternehmens sind bekannt, die Gesamtemissionen des Unternehmens, also der Corporate Carbon Footprint, berechnet werden:

$$CCF_{Jahr} = E_{Scope1,Jahr} + E_{Scope2,Jahr} + E_{Scope3,Jahr} \left(\frac{kg}{a} \right) \quad (26)$$

Für weitere Analysen macht es darüber hinaus auch Sinn den prozentualen Anteil der Scope 3-Emissionen an den Gesamtemissionen zu erfassen:

$$AnteiligeEmissionen(Scope3) = \frac{E_{Scope3,Jahr} * 100}{CCF_{Jahr}} (\%) \quad (27)$$

4.5 Bewertung der Erfassung

In diesem Schritt werden die Ergebnisse der angewendeten Methodik vom Unternehmen selbst interpretiert und diskutiert. Dabei werden mögliche Unsicherheiten untersucht und anschließend identifiziert welche Prozessschritte verbessert werden können, um in der nächsten Erfassung präziser zu werden. Abschließend können die Ergebnisse der Erfassung diskutiert und interpretiert werden.

Bei der Bewertung von Unsicherheiten gibt der GHG Protocol Product-Life-Cycle Accounting Standard vor, folgende Punkte zu untersuchen[9]:

- Methodisches Vorgehen
- Emissionsfaktoren
- Aktivitätsdaten

Bei der Genauigkeit des Methodischen Vorgehens sollte zuerst überprüft werden, ob die relevanten Schlüsselprozesse richtig identifiziert wurden. Hier macht es vor allem Sinn, sich die Branchen-Durchschnittsdaten der Emissionen die durch die verschiedenen Einflussfaktoren in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette entstehen anzugucken und zu reflektieren,

ob das eigene Unternehmen alle seine relevanten Schlüsselprozesse identifiziert hat, oder weiter Einflussfaktoren der Wertschöpfungskette betrachtet werden müssen[10]. Durch den Fokus der Methodik auf produzierenden Unternehmen und die damit im Vorfeld verbundene durchgeführte Analyse sollten die drei identifizierten Schlüsselprozesse jedoch den Großteil der Scope 3-Emissionen bei den meisten Unternehmen ausmachen.

Danach sollte untersucht werden, wo die Limitation des gewählten Erfassungsdesign, für die Erfassung der Scope 3-Emissionen des Unternehmens, liegen. Je nach Unternehmen macht eine andere Herangehensweise an die Emissionserfassung eventuell mehr Sinn, als die der vorgeschlagenen Methodik. Zum Beispiel wird die Ausgabenbasierte-Methode in dieser Methodik nicht betrachtet, könnte aber eventuell zu einem präziseren Ergebnis führen.

Bei der Untersuchung der Emissionsfaktoren sollte untersucht werden, wie hoch der Anteil der Primärdatennutzung gegenüber der Sekundärdatennutzung ist, da die Lieferanten- und Kundendaten im Schnitt als qualitativ hochwertiger einzuschätzen sind als Datenbankwerte. Darüberhinaus sollten die Lieferanten und Kundendaten auf ihre Plausibilität geprüft und mit Datenbankwerten und Erfahrungswerten verglichen werden. Die verwendeten Datenbankwerte sollten ebenfalls auf ihre Qualität geprüft werden. Ein Großteil der Datenbanken gibt dabei selber an, wie präzise und aktuell die Daten sind und welche Annahmen getroffen wurden.

Bei der Untersuchung der Aktivitätsdaten sollte geprüft werden, dass die eigene Datenerfassung der produzierten Produkte und des Einkaufs, sowie Verkaufs, vollständig und ganzheitlich ist. Alle Annahmen die darüber hinaus getroffen werden, wie beispielsweise die geschätzte Lebensdauer der Produkte oder die Nutzungsprofile sollten ebenfalls auf ihre Plausibilität geprüft und mit Erfahrungswerten verglichen werden.

Schlussfolgernd daraus könnten mögliche Vorgehensweisen, um in der nächsten Erfassung präzisere Ergebnisse zu erzielen, folgende sein:

- Grundlegend anderes Erfassungsdesign wählen
- Mehr Prozesse der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette betrachten
- Produktgruppen kleiner fassen
- Datenqualität erhöhen durch mehr Lieferantendaten
 - dafür kontinuierliches präzises Tracking der Lieferkette notwendig

Abschließend zur Bewertung der Ergebnisse der Erfassung, können diese optional interpretiert und diskutiert werden. Hierbei wird der Anteil, den die jeweiligen Emissionsscores am Corporate Carbon Footprint haben betrachtet, um einen Überblick zu bekommen, welcher Scope den größten Anteil an dem Corporate Carbon Footprint hat. Daraus können dann effektiver mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen identifizieren werden. Besonders die Scope 3-Emissionen können hierbei in den Fokus gerückt werden. Bei wiederholter Bilanzierung kann

es darüber hinaus Sinn machen, die aktuell erfassten Scope 3-Emissionen mit den Scope 3-Emissionen aus den Jahren dafür zu vergleichen, um festzustellen ob die Einsparmaßnahmen gewirkt haben. Dies muss natürlich nicht nur auf die Scope 3-Emissionen beschränkt werden, wird hier aber im Rahmen der Bachelorarbeit besonders hervorgehoben.

5 Anwendung der Methodik

In diesem Kapitel wird die Anwendung der Methodik beispielhaft an dem Unternehmen Accuride Wheels Europe & Asia GmbH dargestellt. Das Unternehmen stellt Stahlräder für den kommerziellen Betrieb her. Die Methodik soll die Scope 3-Emissionen von dem Produktionsstandort Solingen und damit die Emissionen der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette der produzierten Räder, aus dem Jahr 2022, erfassen.

Im ersten Schritt werden dazu wie in Kapitel Entwicklung der Methodik beschrieben die Schlüsselprozesse entlang der Lieferkette identifiziert. Anschließend erfolgt die Wahl des Erfassungsdesigns und nachfolgend die Erfassung der Emissionsdaten. Danach werden die erfassten Emissionsdaten verwendet, um die Scope 3-Emissionen der Produktgruppen und damit des Produktionsstandorts zu berechnen. Abschließend wird die Erfassung bewertet.

Wichtig zu betonen ist, dass die für die Anwendung der Methodik verwendete Datenbasis zu sensiblen Daten des Unternehmens gehört. Daher werden beispielsweise keine genauen Stückzahlen oder produktionspezifische Kennwerte die der Realität entsprechen genannt, sondern es wird mit ungefähren Werten gearbeitet. Ebenso werden keine Lieferanten oder Kundennamen genannt.

Schlüsselprozesse am Standort Solingen

Wie bereits bei der Entwicklung der Methodik beschrieben, sind in produzierenden Unternehmen meist die eingekauften Materialien, der Transport und die Nutzung der Produkte die größten Einflussfaktoren. Um dies zu bestätigen, werden alle 15 Einflussfaktoren in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette untersucht. Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass die größten Scope 3-Emitter vom Standort Solingen ausgehend, das Material für die Produktion der Stahlräder, die Zulieferung der Materialien und Ablieferung der Stahlräder, sowie die Nutzung der Räder nach dem Verkauf sind.

Wahl des Erfassungsdesigns

Bei der Wahl des Erfassungsdesigns wird sich ebenfalls an das empfohlene Design der entwickelten Methodik gehalten. Dies macht Sinn, da die Emissionen der Schlüsselprozesse alle auf der Produktebene anfallen. Bei der Produktgruppenfassung ist zu erwähnen, dass lediglich der Produktionsstandort Solingen, Deutschland, betrachtet wurde. Für diesen Standort werden drei Produktgruppen gebildet. Es macht Sinn die Produktgruppen so zu bilden, dass die Variabilität der einzelnen Schlüsselprozesse möglichst gering ist. Die eingekauften Materialien und deren Zulieferung sowie die Nutzung der Produkte, sind für alle Produkte sehr ähnlich. Da die hergestellten Produkte allerdings zu vielen verschiedenen Kunden geliefert werden, macht es Sinn die Produktgruppen danach zu bilden. Dies verringert den Aufwand der Berechnung von den Ablieferungs-Aktivitätsdaten enorm. Produktgruppe 1 umfasst dabei circa 40 Kunden im Umkreis von bis 600 km, Produktgruppe 2 umfasst circa 45 Kunden im Umkreis von 600 bis 1200 km, Produktgruppe 3 umfasst circa 30 Kunden im Umkreis von 1200 bis 6000 km.

Für die Erfassung der Emissionsdaten wird die Hybride-Methode angewendet, also primär das nutzen Zulieferer- oder Kundenspezifischer-Emissionsdaten und bei Notwendigkeit das nutzen

von Sekundärdaten aus diversen Emissionsdatenbanken.

5.1 Erfassung der Emissionsdaten von Accuride

Bei der Erfassung der Emissionsdaten wird sich an den in Kapitel Entwicklung der Methodik beschriebenen Gleichungen orientiert. Nicht immer wird sich genau an die vorgegebenen Gleichungen gehalten, beispielsweise wenn Potenziale zur Simplifizierung entdeckt werden. Je mehr Verständnis über die Prozesse der Erfassung und Berechnung vorhanden ist, desto optimierter wird man die Scope 3-Emissionen erfassen können.

5.1.1 Erfassung spezifische Material-Emissionen

Bei der Erfassung der spezifischen Emissionsdaten müssen zuerst für die Produktgruppen die zu untersuchenden Materialien spezifiziert werden. Da alle hergestellten Produkte aus maximal zwei verschiedenen Metallen hergestellt werden, sind für alle Produktgruppen folgende Materialien relevant: S235 Stahl und S420 Stahl

Danach werden für die Materialien die Emissionsfaktoren bestimmt. Grundsätzlich passiert dies für jede Produktgruppe separat, da standardmäßig davon ausgegangen wird, dass in den verschiedenen Produktgruppen, nicht nur die gleichen Materialien eingesetzt werden. Für den Emissionsfaktor von dem S420 Stahl kann auf Primärdaten vom Zulieferer zurückgegriffen werden. Bei dem Emissionsfaktor von dem S235 Stahl wird auf den Emissionsfaktor für Konverterstahl, aus den durchschnittlichen Industriedaten des Informationsblatt CO₂-Faktoren vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, zurückgegriffen[21]:

Emissionsfaktor S235 Stahl:

$$EF_{S235Stahl} = 2,18 \frac{kgCO_2e \text{ Emissionen}}{kg S235Stahl} \quad (28)$$

Emissionsfaktor S420 Stahl:

$$EF_{S420Stahl} = 3,27 \frac{kgCO_2e \text{ Emissionen}}{kg S420Stahl} \quad (29)$$

Anschließend werden die Aktivitätsdaten für die Materialien erfasst. Normalerweise muss dies auch je nach Produktgruppe geschehen. Hier kann jedoch die gleiche Logik wie bei der Erfassung der Emissionsfaktoren angewandt werden und direkt die Summe der Material-Aktivitätsdaten für alle Produktgruppen zusammen erfasst werden:

Aktivitätsdaten S235 Stahl:

$$A_{S235Stahl,Jahr} = \frac{\sum S235Stahl}{Jahr} = 13.800 \frac{t}{a} \quad (30)$$

Aktivitätsdaten S420 Stahl:

$$A_{S420Stahl,Jahr} = \frac{\sum S420Stahl}{Jahr} = 90.300 \frac{t}{a} \quad (31)$$

5.1.2 Erfassung Transport-Emissionen Accuride

Für die in der Produktion benötigten Materialien müssen die Emissionen für die Zulieferung erfasst werden. Für die hergestellten Stahlräder müssen die Emissionen für die Ablieferung erfasst werden. Zuerst werden die Emissionsfaktoren erfasst, bevor die Aktivitätsdaten erfasst werden. Für die Bestimmung der Emissionsfaktoren wird das Transportemissionsberechnungstool vom GHG Protocol genutzt[24]. Da die Zulieferung, wie auch die Ablieferung, egal nach welchem Material oder welchem Produkt, unter den gleichen Rahmenbedingungen stattfindet sind die Emissionsfaktoren identisch und müssen nicht je nach Produktgruppe aufgeschlüsselt werden. Rahmenbedingung ist die Zulieferung und Ablieferung per dieselbetriebenen 40 Tonnen-LKW. Folgende Emissionsfaktoren konnten ermittelt werden:

Emissionsfaktor der Zulieferung der Materialien:

$$EF_{Zulieferung} = 204 \frac{gCO_2e \text{ Emissionen}}{\text{Tonne km}(Zul)} \quad (32)$$

Emissionsfaktor der Ablieferung der Materialien:

$$EF_{Ablieferung} = 204 \frac{gCO_2e \text{ Emissionen}}{\text{Tonne km}(Abl)} \quad (33)$$

Nachdem die Emissionsfaktoren erfasst wurden, werden die Aktivitätsdaten jeder Produktgruppe erfasst. Dazu zählt die Masse der jährlich zugelieferten Materialien und der jährlich abgelieferten Produkte, sowie die zurückgelegte Strecke bei der Zu- und Ablieferung.

Für die Zulieferung wurde bereits bei der Materialerfassung die jährlich zugelieferte Menge an Materialien identifiziert. Für die abgelieferten Produkte sehen die Massenbezogenen Daten wie folgt aus:

Produktmasse der Produktgruppe 1 pro Jahr:

$$P_{massePG1,Jahr} = \frac{\sum \text{Produkte}(PG1)}{\text{Jahr}} = 53.800 \frac{t}{a} \quad (34)$$

Produktmasse der Produktgruppe 2 pro Jahr:

$$P_{massePG2,Jahr} = \frac{\sum \text{Produkte}(PG2)}{\text{Jahr}} = 22.000 \frac{t}{a} \quad (35)$$

Produktmasse der Produktgruppe 3 pro Jahr:

$$P_{massePG3,Jahr} = \frac{\sum \text{Produkte}(PG3)}{\text{Jahr}} = 7.700 \frac{t}{a} \quad (36)$$

Die Erfassung der zurückgelegten Strecke wird auf Durchschnittswerte für die jeweilig zugelieferten Materialien und abgelieferten Produkte gerechnet.

Für die Zulieferung ist die interne Datenerfassung nicht ausgeprägt genug, um klar bestimmen

zu können welches verwendete Material zu welchen Anteilen, von welchem Lieferanten kommt. Da die ganzen Materialien jedoch nur von zwei Lieferanten zugeliefert werden, wobei einer der Lieferanten den Großteil der Materialien zuliefert, wird für alle Materialien die gleiche Verteilung angenommen:

Zulieferer 1 liefert 95 Prozent der gesamten Materialien und hat folgende Zulieferungsstrecke:

$$S_{Zulieferer1} = 50km \quad (37)$$

Zulieferer 2 liefert 5 Prozent der gesamten Materialien und hat folgende Zulieferungsstrecke:

$$S_{Zulieferer2} = 47km \quad (38)$$

Daraus ergibt sich eine Durchschnittliche Zulieferungsstrecke von:

$$S_{Zulieferung} = S_{Zulieferer1} * 95\% + S_{Zulieferer2} * 5\% = 49,85km \quad (39)$$

Die Berechnung der durchschnittlichen Ablieferungsstrecke jeder Produktgruppe, stellt sich trotz dem Fokus welcher bei der Produktgruppenbildung gelegt wurde, als sehr umfangreich dar. Es wurde eine massenbasierte Auswertung der internen Daten durchgeführt, um pro Produktgruppe zu berechnen, wieviel Strecke im Durchschnitt zurückgelegt werden muss. Dabei sind folgende Ergebnisse erfasst worden:

Durchschnittliche Ablieferungsstrecke der Produktgruppe 1:

$$S_{Abl,PG1} = 265km \quad (40)$$

Durchschnittliche Ablieferungsstrecke der Produktgruppe 2:

$$S_{Abl,PG2} = 914km \quad (41)$$

Durchschnittliche Ablieferungsstrecke der Produktgruppe 3:

$$S_{Abl,PG3} = 2008km \quad (42)$$

5.1.3 Erfassung Nutzungsphasen-Emissionen Accuride

Bei der Erfassung der Nutzungsphase der hergestellten Produkte werden, genau wie bei Material und dem Transport, zuerst die Emissionsfaktoren und dann die Aktivitätsdaten erfasst. Da alle Produkte das gleiche Nutzungsprofil haben, bezieht sich der Emissionsfaktor und die Aktivitätsdaten der Produkte auf alle Produktgruppen. Der Emissionsfaktor stammt dabei aus Primärdatenquelle von einer durchgeführten Kundenanalyse.

Emissionsfaktor der Nutzungsphase der hergestellten Produkte:

$$EF_{Nutzung} = 41 \frac{gCO_2e \text{ Emissionen}}{1000km * kg(Pmasse)} \quad (43)$$

Die Aktivitätsdaten der Nutzungsphase setzt sich aus der Masse von allen produzierten Produkten, sowie der geschätzten Lebensdauer zusammen. Accuride geht bei den hergestellten Stahlrädern von einer Lebensdauer im Betrieb von 1.200.000 km aus. Daraus ergibt sich:

Aktivitätsdaten der Nutzungsphase der hergestellten Produkte:

$$\begin{aligned} A_{Nutzung} &= (P_{massePG1,Jahr} + P_{massePG2,Jahr} + P_{massePG3,Jahr}) * Lebensdauer \\ &= (53.800 \frac{t}{a} + 22.000 \frac{t}{a} + 7.700 \frac{t}{a}) * 1.200.000 km = 100,2 Mrd.km * t \end{aligned} \quad (44)$$

5.2 Berechnung der Scope 3-Emissionen

In diesem Schritt werden die erfassten Emissionsdaten verwendet, um die Scope 3-Emissionen des Standorts Solingen der Accuride GmbH zu berechnen. Die Berechnung erfolgt dabei wie in Kapitel Berechnung der Scope 3-Emissionen Beispielhaft beschrieben.

5.2.1 Berechnung Material-Emissionen Accuride

Um die Materialbezogenen Emissionen zu berechnen wird wie folgt vorgegangen:

Scope 3-Emissionen für S235 Stahl:

$$E_{S235Stahl,Jahr} = A_{S235Stahl,Jahr} * EF_{S235Stahl} = \frac{30.084tCO_2e}{Jahr} \quad (45)$$

Scope 3-Emissionen für S420 Stahl:

$$E_{S420Stahl,Jahr} = A_{S420Stahl,Jahr} * EF_{S420Stahl} = \frac{295.281tCO_2e}{Jahr} \quad (46)$$

Die Scope 3-Emissionen für das Material sind dann die Summe der Scope 3-Emissionen für das gesamt eingesetzte Material.

Scope 3-Emissionen für das Material pro Jahr:

$$E_{Material,Jahr} = E_{S235Stahl,Jahr} + E_{S420Stahl,Jahr} = \frac{325.365tCO_2e}{a} \quad (47)$$

5.2.2 Berechnung Transport-Emissionen Accuride

Um die Transport-Emissionen zu berechnen müssen zuerst die Aktivitätsdaten für die Zulieferung und Ablieferung berechnet werden.

Aktivitätsdaten Anlieferung der Materialien:

$$A_{Zul,Jahr} = S_{Zulieferung} * (A_{S235Stahl,Jahr} + A_{S420Stahl,Jahr}) = 5.189.385 \frac{km * t}{a} \quad (48)$$

Aktivitätsdaten Ablieferung der Materialien:

$$\begin{aligned}
 A_{Abl,Jahr} &= S_{Abl,PG1} * Pmasse_{PG1,Jahr} \\
 &+ S_{Abl,PG2} * Pmasse_{PG2,Jahr} \\
 &+ S_{Abl,PG3} * Pmasse_{PG3,Jahr} = 49.826.600 \frac{km * t}{a}
 \end{aligned} \tag{49}$$

Aus den Aktivitätsdaten für die Zulieferung und Ablieferung lassen sich nun die Transportemissionen pro Jahr berechnen.

Scope 3-Emissionen für Anlieferung und Ablieferung der gesamten Produktgruppen pro Jahr:

$$E_{Transport,Jahr} = A_{Zul,Jahr} * EF_{Zulieferung} + A_{Abl,Jahr} * EF_{Ablieferung} = \frac{11.223,26tCO_2e}{a} \tag{50}$$

5.2.3 Berechnung Nutzungsphasen-Emissionen Accuride

Die Berechnung der Nutzungsphasen-Emissionen kann direkt stattfinden, da wie bei der Erfassung festgestellt, die Nutzung jedes Produktes gleich ist.

Scope 3-Emissionen für die Nutzungsphase der Produkte:

$$E_{Nutzung} = A_{Nutzung} * EF_{Nutzung} = 4.108.200tCO_2e \tag{51}$$

5.2.4 Berechnung Gesamt-Emissionen Accuride

Nachdem die Scope 3-Emissionen für alle identifizierten Schlüsselprozesse erfasst und berechnet wurden, werden diese zu den Gesamten Scope 3-Emissionen zusammengefasst.

Scope 3-Emissionen pro Jahr:

$$E_{Scope3,Jahr} = E_{Material,Jahr} + E_{Transport,Jahr} + E_{Nutzung} = 4.444.788,26 \frac{tCO_2e}{a} \tag{52}$$

Abschließend kann, da die Scope 1-Emissionen und Scope 2-Emissionen von Accuride erfasst werden und bekannt sind, die Gesamtemissionen des Unternehmens, also der Corporate Carbon Footprint, berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 CCF_{Jahr} &= E_{Scope1,Jahr} + E_{Scope2,Jahr} + E_{Scope3,Jahr} \\
 &= 6.488 \frac{tCO_2e}{a} + 6.595 \frac{tCO_2e}{a} + 4.444.788,26 \frac{tCO_2e}{a} \\
 &= 4.458.235,26 \frac{tCO_2e}{a}
 \end{aligned} \tag{53}$$

Für weitere Analysen macht es darüber hinaus auch Sinn den prozentualen Anteil der Scope 3-Emissionen an den Gesamtemissionen zu erfassen:

$$AnteiligeEmissionen(Scope3) = \frac{E_{Scope3,Jahr} * 100}{CCF_{Jahr}} = 99,7\% \tag{54}$$

5.3 Bewertung der Erfassung

In diesem Schritt werden die Ergebnisse der angewendeten Methodik interpretiert und diskutiert. Dabei werden mögliche Unsicherheiten untersucht und anschließend identifiziert welche Prozessschritte verbessert werden können, um in der nächsten Erfassung präziser zu werden. Abschließend werde die Ergebnisse der Erfassung diskutiert und interpretiert.

Bei der Bewertung von Unsicherheiten gibt der GHG Protocol Product-Life-Cycle Accounting Standard vor, folgende Aspekte zu untersuchen[9]:

- Methodisches Vorgehen
- Emissionsfaktoren
- Aktivitätsdaten

Das Methodische Vorgehen in der Anwendung der Methodik hat sich stark an dem Vorgehen der entwickelten Methodik orientiert. Der Fokus auf die drei identifizierten Schlüsselprozesse ist für Accuride die richtige Herangehensweise, da durch die Tätigkeit als produzierendes Unternehmen, diese als die relevantesten Schlüsselprozesse identifiziert wurden[10]. Ein weiterer Prozess der Wertschöpfungskette, der aufgrund seiner Komplexität in dieser Erfassung nicht mit einbezogen wurde, ist die Behandlung am Lebensende der Produkte. Generierten Abfall oder die Recyclingprozesse zu betrachten kann aus Sicht der Emissionserfassung durchaus sinnvoll sein, ist allerdings von der Erfassung her extrem komplex, da man von jedem Kunden die Daten erfassen müsste wie mit den Produkten am Lebensende umgegangen wird.

Bei dem Wahl des Erfassungsdesigns wurde sich ebenfalls an das vorgeschlagene Erfassungsdesign der entwickelten Methodik gehalten. Das bilden der Produktgruppen wurde dabei für den Standort Solingen, mit dem Fokus auf die Transportprozesse der abgelieferten Produkte gebildet. Bei einem Unternehmen, welches Produkte produziert, welche sich nicht so ähnlich sind wie die von Accuride, würde eine anderer Produktgruppenbildung sehr wahrscheinlich sinnvoller sein. Bei der Erfassung der Daten wurde die Hybride-Methode angewandt.

Die Emissionsfaktoren wurden für den Großteil der Materialien und für die Nutzungsphase aus Primärdaten abgeleitet. Für den restlichen Teil der Materialien und die Transportbezogenen Emissionen wurden Sekundärdaten verwendet. Da der Großteil der Materialien und vor allem die Nutzungsphase den Großteil der Scope 3-Emissionen ausmachen, werden fast alle Emissionen über Primärdaten erfasst. Dies ist positiv zu betrachten, da Primärdaten qualitativ als höherwertig einzuschätzen sind als Sekundärdaten[14]. Die Primärdaten wurden darüber hinaus mit Datenbankwerten verglichen und sind plausibel. Die genutzten Datenbankwerte sind aus seriösen Quellen wie beispielsweise dem GHG Protocol selbst. Daher ist die Qualität der gesamten Emissionsfaktoren als hoch einzuschätzen.

Als Basis für die Aktivitätsdaten wurden interne Auswertungen genutzt. Diese sind vollständig und ganzheitlich. Die Annahme der Lebensdauer wurde durch intensive Testreihen ermittelt

und Erfahrungswerte bestätigen diese im realen Einsatz der Produkte. Daher sollte hier keine Unsicherheit der Datenlage bestehen.

Schlussfolgernd daraus könnten mögliche Vorgehensweisen, um in der nächsten Erfassung präzisere Ergebnisse zu erzielen, folgende sein:

- Lebensende der produzierten Produkte betrachten
- Datenqualität erhöhen durch mehr Lieferantendaten
 - dafür kontinuierliches präzises Tracking und Assurance der Lieferkette notwendig

Abschließend zur Bewertung der Ergebnisse der Erfassung, werden diese nun interpretiert und diskutiert. Prägnantestes Ergebnis sind die Emissionen der Nutzungsphase. Durch das Gewicht, welches die produzierten Stahlräder zu dem Gesamtgewicht von LKWs hinzufügen und über die lange Lebensdauer, entstehen enorm viele Emissionen. Dabei zu beachten ist, dass die gesamten Emissionen über die Lebensdauer, dem produzierenden Unternehmen bilanziell einmalig den jährlichen Scope 3-Emissionen zugerechnet werden. Dies sorgt dafür, dass die Scope 3-Emissionen von Accuride mehr als 99 Prozent der Gesamtemissionen ausmachen. Abgeleitet daraus, könnten sich mögliche Einsparmaßnahmen daher auf die Reduzierung des Produktgewichtes beziehen, da dies einen großen Impact auf die Gesamtemissionen hat. Ein Vergleich mit einer vorherigen Erfassung ist nicht möglich, da dies die erste durchgeführte Erfassung der Scope 3-Emissionen von Accuride ist.

6 Bewertung der Methodik

Bei der Bewertung der Methodik geht es darum, die Stärken und Schwächen der entwickelten Methodik zu reflektieren und einen Vergleich mit bestehenden Ansätzen beziehungsweise Methodiken zur Scope 3-Emissionserfassung zu ziehen. Zuerst werden dafür die Ergebnisse zusammengefasst. Anschließend wird die Methodik nach ihren Stärken und Schwächen und im Vergleich mit bestehenden Ansätzen analysiert und bewertet.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch die Anwendung der Methodik kann ein Großteil der tatsächlichen Scope 3-Emissionen eines produzierenden Unternehmens erfasst werden. Die Methodische Vorgehensweise bei der Erfassung der Scope 3-Emissionen erfüllt dabei die relevanten Richtlinien und Gesetze zur Berichterstattung.

Durch die Priorisierung der entwickelten Methodik auf zu identifizierende Schlüsselprozesse in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette, kann die Komplexität der Scope 3-Emissionserfassung erheblich verringert werden. Gleichzeitig kann durch die Erfassung der wesentlichen Emittent sichergestellt werden, dass der Großteil der tatsächlichen Scope 3-Emissionen erfasst wird. Die Anwendung der hybriden Datenerfassungsmethode erlaubt, dass der Aufwand der Datenerfassung, je nach spezifischer Unternehmenssituation und Datenbasis, flexibel steuerbar ist.

Die Methodik ist somit praktisch anwendbar und vereinfacht die Erfassung der Scope 3-Emissionen drastisch, was den Einstieg in die Erfassung für produzierende Unternehmen unterstützt.

Stärken und Schwächen der Methodik

Die größte Stärke der entwickelten Methodik ist, dass sie praktisch anwendbar in produzierenden Unternehmen ist. Sie bietet nicht nur ein theoretisches Rahmenwerk, sondern funktioniert als Leitfaden und erläutert dabei welche aktiven Schritte durchgeführt werden um die Scope 3-Emissionen zu erfassen. Diese Schritte werden darüber hinaus im Detail erläutert. Gleichzeitig ist die Methodik nicht zu strikt an gewisse Prozesse und Abläufe gebunden, wodurch nach Bedarf individuelle Anpassungen vorgenommen werden können. Die Methodik ist dabei nicht auf eine bestimmte Unternehmensgröße begrenzt, da sie wie im Anwendungsbeispiel gezeigt, beispielsweise auf einzelne Produktionsstandorte heruntergebrochen werden kann. Die Scope 3-Emissionen die durch die Anwendung der Methodik erfasst werden, erfüllen dabei die Anforderungen der Regelwerke und gesetzlichen Richtlinien und dürfen dadurch in die Unternehmensberichterstattung einfließen.

Eine signifikante Schwäche der entwickelten Methodik ist die fehlende Möglichkeit zur quantifizierbaren Qualitätskontrolle der Ergebnisse. Es kann zwar auf Basis von Studien und Erfahrungsberichten identifiziert werden, welches die voraussichtlich größten Emittent der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette sind, jedoch muss dies nicht auf jedes Unternehmen zutreffen. Als Schlussfolgerung daraus müssten die Scope 3-Emissionen aller Einflussfaktoren der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette erfasst und berechnet werden, um eine gesicherte Aus-

sage über die gesamten Scope 3-Emissionen des Unternehmens treffen zu können. Die Methodik bietet hier also nur die Möglichkeit auf Basis von präzisen Schätzungen anzunehmen, dass die Ergebnisse tatsächlich den realen Scope 3-Emissionen entsprechen.

Eine weitere Schwäche der Methodik ist die Bildung der Produktgruppen. Bei einer Vielzahl an verschiedenen Produkten könnte es für Unternehmen sinnvoll sein, die Scope 3-Erfassung nicht aus Sicht der Produktgruppen, sondern direkt aus Sicht der identifizierten Schlüsselprozesse durchzuführen. Dies ist voraussichtlich ungenauer, verringert für diese Unternehmen dann jedoch den Aufwand drastisch. Diese Möglichkeit bietet die entwickelte Methodik in dieser Form nicht, wodurch es möglich ist, dass sie nicht allen produzierenden Unternehmen den Einstieg in die Scope 3-Erfassung erleichtert, sondern eventuell sogar verkompliziert.

Vergleich mit bestehenden Ansätzen

Bei dem Vergleich der entwickelten Methodik mit früheren Forschungen zeigt sich, dass es ein wie in dieser Arbeit entwickelter praktischer Leitfaden für produzierende Unternehmen nicht existiert. Es existieren Softwarelösungen und Kalkulationstools, die sich eignen bei schon erfasster Wertschöpfungskette die Scope 3-Emissionen berechnen zu lassen. Diese beschäftigen sich dabei allerdings nicht mit den eigentlichen Herausforderungen, die sich in Unternehmen gezeigt haben, wie der notwendigen Einarbeitung in die Literatur, der Komplexität der Lieferkette und der Datenverfügbarkeit. Zusätzlich dazu, sind die meisten bestehenden Lösungsansätze mit hohen Kosten oder Lizenzgebühren verbunden und eignen sich trotzdem nur für grobe Abschätzungen der Emissionen. Hier bietet die entwickelte Methodik im Gegensatz dazu einen praktisch umsetzbaren Ansatz.

Die bestehende Forschung zur Simplifizierung oder Automatisierung der Scope 3- Emissionserfassung auf Basis von einheitlichen Datenbanksystem oder Digitalisierung, beschäftigt sich mit theoretischen Ansätzen, wie für die gesamte Industrie der Datenaustausch geregelt werden kann. Sie bewegt sich dabei aktuell nicht auf Unternehmensebene, wie dort praktisch und aktiv die Erfassung vereinfacht werden kann.

Zusammengefasst bietet die entwickelte Methodik den Unternehmen die Möglichkeit, eine eigenständige und präzise Erfassung der Scope 3-Emissionen zu implementieren, welche in dieser Form aktuell nicht verfügbar ist.

7 Diskussion

Die Forschungsfrage:

"Lässt sich eine vereinfachte Herangehensweise an die Erfassung von Scope 3-Emissionen erzielen, welche den Einstieg in die Scope 3-Erfassung für produzierende Unternehmen unterstützt?"

konnte in dieser Arbeit positiv beantwortet werden. Die entwickelte Methodik vereinfacht die Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen. Das in dieser Arbeit vermittelte Wissen ergänzt die Methodik zusätzlich und schafft ein grundlegendes Verständnis für die Grundlagen der Scope 3-Erfassung und den dazugehörigen Richtlinien. Dies ist für Unternehmen in der Umsetzung und individuellen Anpassung der Methodik essentiell. Die entwickelte Methodik zeigte sich dabei als sehr effektiv in der Umsetzung, am Beispiel der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH. Das Forschungsziel, die Komplexität der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen zu reduzieren wurde somit erreicht.

In der vorliegenden Arbeit traten einige Einschränkungen auf. Die größte Einschränkung dieser Arbeit ist der gewählte Rahmen, welcher sich grundsätzlich auf produzierende Unternehmen konzentriert. Dieser gewählte Rahmen ist in der nachträglichen Betrachtung nicht spezifisch genug gefasst. Die allgemeine Betrachtungsweise könnte Lücken hinterlassen haben, wodurch die Arbeit nicht auf alle produzierenden Unternehmen zutreffen muss. Eine sinnvollere Vorgehensweise wäre möglicherweise gewesen, die Arbeit spezifisch auf individuelle Sektoren der produzierenden Unternehmen auszurichten.

Darüber hinaus war keine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit relevanten Studien aus der Literatur möglich, da ein ähnlicher Ansatz wie in dieser Arbeit betrachtet nicht existiert. Zukünftige Arbeiten könnten dies berücksichtigen und versuchen, diese Herausforderungen durch einen spezifischeren Fokus und verbesserte Datenvergleichsmöglichkeiten zu überwinden.

Abschließend wurden im Rahmen der Geheimhaltungsanforderung bestimmte sensible Daten zurückgehalten, was die Vollständigkeit und Transparenz der präsentierten Daten bei der Anwendung der Methodik beeinträchtigt hat.

Positiv zu bewerten ist, dass durch diese Arbeit eine Methodik entwickelt werden konnte, welche die realen Herausforderungen die produzierende Unternehmen bei der Erfassung von Scope 3-Emissionen betreffen fokussiert. Sie basiert dabei auf international anerkannten Standards zur Erfassung von Emissionen und erfüllt alle gesetzlichen Richtlinien um die Daten in der Berichterstattung verwenden zu dürfen.

Insgesamt vermittelt die Arbeit das notwendige Wissen für die Thematik und fasst die für Unternehmen relevanten Inhalte zusammen. Die Quellenqualität ist dabei als sehr gut einzustufen, da lediglich seriöse Quellen, Normen oder Gesetzestexte verarbeitet wurden.

Die Schwächen der Arbeit basieren primär auf den identifizierten Einschränkungen. Die Arbeit ist nicht für alle produzierenden Unternehmen relevant. Es fehlen Methoden, um die Korrektheit der Methodik mit 100 prozentiger Genauigkeit bestätigen zu können. Um eine fundiertere

Bewertung der in dieser Arbeit entwickelten Methodik zu ermöglichen, wäre es von Vorteil gewesen, eine alternative, auf dem Markt verfügbare Lösung im gleichen Unternehmen anzuwenden und die resultierenden Daten anschließend mit den Ergebnissen der entwickelten Methodik zu vergleichen. Dies hat sich jedoch als äußerst komplex dargestellt, da es keine vergleichbaren Methoden gibt, die der in dieser Arbeit entwickelten Methodik entsprechen. Dieser Mangel an vergleichbaren Methoden begrenzt die Basis für eine präzise Vergleichbarkeit.

Zukünftige Forschungsausrichtung sollten sein, weiter die Ansätze zur standardisierten und digitalisierten Erfassung und Berichterstattung der Lieferkettenemissionen zu verfolgen. Hier liegt ein großes Potenzial vor, zukünftig die Emissionen in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette automatisiert zu erfassen und abzurufen.

Eine weitere direkte Forschungsarbeit die sich aus den Limitierungen dieser Arbeit ableiten lässt, wäre genauer die spezifischen Sektoren der produzierenden Unternehmen zu untersuchen und auf Basis der Differenzen die Methodik noch differenzierter auf die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Unternehmen anpassen zu können.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Erfassung von Scope 3-Emissionen eine komplexe Herausforderung für produzierende Unternehmen darstellt und viele Herausforderungen mit sich bringt. Die Analyse der bestehenden Ansätze bestätigt, dass der Bedarf nach einer praktisch anwendbaren Methodik zum vereinfachen der Erfassung von Scope 3-Emissionen besteht. Die entwickelte Methodik zur Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope 3-Emissionen beweist, dass es möglich ist die Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen zu simplifizieren. Dadurch kann die entwickelte Forschungsfrage positiv beantwortet werden.

Die vorgeschlagene Methodik zur Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen umfasst dabei die folgenden Schritte:

- Identifizierung von Schlüsselprozessen
- Wahl des Erfassungsdesigns
- Erfassung der Emissionsdaten
- Berechnung der Scope 3-Emissionen
- Bewertung der Erfassung

Im ersten Schritt findet die Identifizierung von Schlüsselprozessen statt, bei welcher die wesentlichen Emissionsquellen innerhalb der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette identifiziert werden. Auf Basis dieser Analyse, wird ein Erfassungsdesign gewählt und anschließend die relevanten Emissionsdaten auf Basis verschiedener Datenquellen erfasst. Anschließend werden mit den erfassten Emissionsdaten die Scope 3-Emissionen berechnet. Abschließend wird die Erfassung bewertet, um eine Aussage über die Qualität der Ergebnisse treffen zu können und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Bei der Identifizierung der Schlüsselprozesse hat sich gezeigt, dass in produzierenden Unternehmen das verwendete Material zur Herstellung der Produkte, der Transport des Materials und der hergestellten Produkte, sowie die Nutzung der Produkte, die größten Emittenten an Scope 3-Emissionen darstellen. Zur Erfassung der Emissionsdaten wird die Hybride-Methode empfohlen, um Primär- sowie Sekundärdaten nutzen zu können.

Die Methodik konnte an dem Beispiel des Produktionsstandortes Solingen, der Accuride Wheels Europe & Asia GmbH, erfolgreich praktisch angewandt werden. Sie bietet dabei nicht nur ein theoretisches Rahmenwerk sondern funktioniert als aktiver Leitfaden, der ein Unternehmen durch seine Scope 3-Erfassung führt. Die Ergebnisse erfüllen die gesetzlichen Anforderungen zur Berichterstattung und dürfen damit in der Nachhaltigkeitsberichterstattung des Unternehmens aufgeführt werden.

Die größte Einschränkung dieser Arbeit ist der gewählte Rahmen, welcher sich grundsätzlich auf produzierende Unternehmen konzentriert. Dieser gewählte Rahmen ist nicht spezifisch genug gefasst. Die allgemeine Betrachtungsweise könnte Lücken hinterlassen haben, wodurch die Arbeit nicht auf alle produzierenden Unternehmen zutreffen muss. Eine sinnvollere Vorgehensweise

wäre gewesen, die Arbeit spezifisch auf individuelle Sektoren der produzierenden Unternehmen auszurichten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die entwickelte Methodik zur Komplexitätsreduktion der Erfassung von Scope 3-Emissionen in produzierenden Unternehmen den Aufwand der Erfassung verringert und damit Unternehmen in ihrer Scope 3-Erfassung unterstützt.

Zukünftige Forschung könnte sich auf die Anwendung dieser Methodik auf andere Branchen und Unternehmen konzentrieren, um ihre Wirksamkeit und Anwendbarkeit in verschiedenen Kontexten zu testen. Zusätzlich sollten die Ansätze zur standardisierten und digitalisierten Erfassung und Berichterstattung der Lieferkettenemissionen verfolgt werden, da dort ein großes Potenzial vorliegt, zukünftig die Emissionen in der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette automatisiert zu erfassen und abzurufen.

Ein weiterer direkter Forschungsansatz, der sich aus den Limitierungen dieser Arbeit ableiten lässt, wäre präziser die spezifischen Sektoren der produzierenden Unternehmen zu untersuchen und auf Basis der Differenzen die Methodik differenzierter an die Bedürfnisse der jeweiligen Unternehmen anpassen zu können.

Literatur

- [1] Europäisches Parlament, “Treibhausgasemissionen nach Ländern und Sektoren (Infografik),” 2018. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180301STO98928/treibhausgasemissionen-nach-landern-und-sektoren-infografik>
- [2] CDP, “Scoping Out: Tracking Nature Across the Supply Chain: Global Supply Chain Report 2022,” March 2023. [Online]. Available: <https://www.cdp.net/en/reports/downloads/6918>
- [3] Science Based Targets initiative, “Catalyzing Value Chain Decarbonization: Corporate Survey Results,” 2023. [Online]. Available: <https://sciencebasedtargets.org/blog/scope-3-stepping-up-science-based-action>
- [4] L. Klaaßen and C. Stoll, “Harmonizing corporate carbon footprints,” *Nature communications*, vol. 12, no. 1, p. 6149, 2021. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26349-x>
- [5] I. O. for Standardisation, “Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,” Geneva, Switzerland, November 2009.
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., “Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene (ISO14064-1:2018),” Berlin, Juni 2019.
- [7] Europäische Union, “RICHTLINIE (EU) 2022/2464 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES,” Dezember 2022. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>
- [8] World Business Council for Sustainable Development, “The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard Revised Edition,” 2004. [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>
- [9] World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, “Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard: Greenhouse Gas Protocol,” September 2011. [Online]. Available: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf
- [10] —, “Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard: Greenhouse Gas Protocol: Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard,” September 2011. [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard>
- [11] European Commission, “Corporate sustainability reporting,” 2023. [Online]. Available: <https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/>

- company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en
- [12] EFRAG, “Draft ESRS E1 Climate Change: ESRS E1 Climate change,” November 2022. [Online]. Available: <https://www.efrag.org/lab6#subtitle4>
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., “Treibhausgase – carbon footprint von produkten – anforderungen an und leitlinien für quantifizierung,” Berlin, Februar 2019.
- [14] World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, “Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions (version 1.0): Greenhouse Gas Protocol: Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard,” 2013. [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/scope-3-calculation-guidance-2>
- [15] Greenhouse Gas Protocol Quantis, “Scope 3 Evaluator,” 20.05.2023. [Online]. Available: <https://quantis-suite.com/Scope-3-Evaluator/>
- [16] Deutsches Global Compact Netzwerk, “Praxisempfehlungen zur Datenerhebung und Berechnung von Treibhausgasemissionen in der Lieferkette,” November 2019. [Online]. Available: https://www.globalcompact.de/migrated_files/wAssets/docs/Umweltschutz/Publikationen/Diskussionspapier-Scope-3.1-DGCN_screen_k.pdf
- [17] Effizienz-Agentur NRW, “Ressourcen schonen. Wirtschaft stärken. "Mehr Aufwand oder Mehrwert?" Mit einer THG-Bilanz zu mehr Erfolg,” 16.08.2022. [Online]. Available: https://www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/Dokumente_2019/EFA_Handout_2019_web.pdf
- [18] K. Bütow, L. D. König, M. Vötsch, and KATE Umwelt & Entwicklung, “Softwarelösungen für das Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement - Policy Paper: Potenziale, Herausforderungen und Handlungsempfehlungen,” Juli 2022. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/softwareloesungen-fuer-das-umwelt-0>
- [19] H.-D. Harbich, J. Schnelle, and W. Kersten, “Potenziale digitaler Technologien im Scope 3-Carbon Accounting,” *Industrie 4.0 Management*, vol. 2023, no. 02, pp. 29–32, 2023. [Online]. Available: https://www.industrie-management.de/sites/industrie-management.de/files/img-digitalisierung/IM-02-2023_Harbich.pdf
- [20] T. Schaefer, “Wertschöpfungskette Stahl: Auswirkungen des geplanten Grenzausgleichsmechanismus auf die nachgelagerten Branchen,” 27.12.2021. [Online]. Available: <https://www.iwkoeln.de/studien/thilo-schaefer-manuel-fritsch-benita-zink-auswirkungen-des-geplanten-grenzausgleichsmechanismus-auf-die-nachgelagerten-branchen.html>
- [21] Bayer and Ralf, “Informationsblatt co2-faktoren,” 30.11.2022. [Online]. Available: <https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=>

2ahUKEwiapuiSyYD-AhUrlIkEHbRbDCYQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bafa.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2FEnergie%2Feew_infoblatt_co2_faktoren_2022.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D2&usg=AOvVaw1RAUj531eIzi93C5zGVwpN

- [22] EcoTransIT World, “Emissionsrechner für Treibhausgase und Luftschadstoffe,” 2020. [Online]. Available: <https://www.ecotransit.world/de/emissionsrechner/>
- [23] carboncare, “CO2-Emissionsrechner,” 03.07.2023. [Online]. Available: <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner.html>
- [24] Greenhouse Gas Protocol, “GHG Emissions from Transport or Mobile Sources,” March 2017. [Online]. Available: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/Transport_Tool_v2_6.xlsx