Technische Hochschule Ingolstadt

Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

Thema: Entwicklung einer Methode zur Analyse der CO2-Äquivalente für die Produktion von Sonderanlagen

- Empirische Analyse in Zusammenarbeit mit der Hecht Technologie GmbH

Vor- und Zuname: N

ausgegeben am: 01.02.2023
abgegeben am: 03.04.2023

Erstprüfer: Prof. Dr. N
Zweitprüfer: Prof. Dr.N

Danksagung

Zuerst einmal bedanke ich mich bei der Hecht Technologie GmbH für die Zusammenarbeit. Dabei geht ein besonderer Dank an meinen Betreuer Steven Multer für die Unterstützung dieser Abschlussarbeit.

Außerdem danke ich Dipl.-Ing. Simon Eder der Firma Numberger Technologies für die Bereitstellung der Informationen für den praktischen Teil.

Ein weiterer Dank geht an Prof. Dr. Hecht für die fachliche Betreuung seitens der Technischen Hochschule Ingolstadt.

Gender-Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern in dieser Bachelorarbeit die männliche Form verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

Abstract

In den letzten Jahren hat der Nachhaltigkeitsgedanke bei der HECHT Technologie GmbH stark an Bedeutung gewonnen. Die Frage, welchen Beitrag HECHT Technologie zum Schutz der Umwelt leisten kann, wird erfolgreich angegangen. Die positive Resonanz der Kunden sowie die hervorragenden ECOVADIS-Zertifizierungen bestätigen die positive Entwicklung des Unternehmens.

Im Jahr 2021 bekam Hecht eine Anfrage von der Bayer AG, ob es möglich wäre, die Emissionen bei der Produktion der Maschinen und Anlagen zu reduzieren.

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird nun untersucht, wie hoch der Verbrauch an CO2-Äquivalenten bei der Herstellung einer HECHT Anlage ist, um herauszuarbeiten, was die wichtigsten Schlüsselfaktoren für Einsparungen in der Produktion sind.

Zuerst wird empirisch untersucht, bei welchen Prozessschritten der Fertigungsbetriebe im metallverarbeitenden Gewerbe CO2-Äquivalente freigesetzt werden.

Anschließend wird am Beispiel eines ausgewählten Fertigungsbetriebes aufgezeigt, wie hoch der CO2-Fußabdruck in der Praxis sein kann.

Des Weiteren werden Einsparpotentiale für Fertigungsbetriebe im metallverarbeitenden Gewerbe erklärt. Darauf aufbauend wird eine Methode vorgestellt, die auf alle Anlagen und Hersteller angewendet werden kann.

Zudem werden Chancen und Risiken sowie eine Szenario-Analyse bezüglich der entwickelten Methode vorgestellt.

Die entwickelte Methode wird schließlich auf eine HECHT typische Anlage und einen Fertigungsbetrieb angewendet, um die CO2-Äquivalente zu ermitteln.

Ziel ist es, eine Methode zu finden, die einen Wert für die CO2-Äquivalente (kg CO2e / EUR Umsatz) in Abhängigkeit von einer Variablen, dem Umsatz, liefert.

Abschließend werden Schwierigkeiten in der Praxis aufgezeigt und ein Ausblick in die Zukunft gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Zielsetzung und thematische Abgrenzung ... 2

1.2 Methodik und Aufbau der Arbeit ... 2

2 Theoretischer Hintergrund ... 4

2.1 Vorstellung der Firma Hecht Technologie GmbH ... 4

2.1.1 Allgemeine Vorstellung des Unternehmens ... 4

2.1.2 Vorstellung des Projekts 222534 ... 4

2.2 Nachhaltigkeit ... 4

2.3 Klimawandel ... 6

2.3.1 Ursachen des Klimawandels ... 6

2.3.2 Auswirkungen des Klimawandels ... 9

2.3.3 Ziele, um den Klimawandel zu stoppen ... 10

2.4 Der CO2-Fußabdruck ... 11

2.4.1 Methode zur Identifizierung und Kategorisierung der Emissionsarten ... 13

2.4.2 Berechnungsansatz des CO2-Fußabdrucks ... 15

3 Bedeutung von Nachhaltigkeit für mittelständische Unternehmen ... 16

3.1 Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung ... 16

3.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit ... 16

3.1.2 Ökonomische Nachhaltigkeit ... 16

3.1.3 Soziale Nachhaltigkeit ... 17

3.1.4 Kritik an diesem Modell ... 17

3.2 Nachhaltigkeit bei Hecht Technologie GmbH ... 18

4 Analyse der CO2e für die Produktion von Anlagen von Hecht Technologien GmbH ... 19

4.1 Allgemeine Übersicht zur Aufteilung der CO2-Äquivalente für das metallverarbeitende Gewerbe ... 19

4.1.1 Festlegung der Systemgrenzen ... 19

4.1.2 Hilfe zur Erfassung der Daten ... 20

4.1.3 Vorstellung der Excel Tabelle ... 21

4.2 Praxisbeispiel: Numberger GmbH 22
4.2.1 Kurzvorstellung der Numberger GmbH 22
4.2.2 Datenerhebung bei Numberger 23
4.2.3 Auswertung der Daten 23
4.3 Einsparpotentiale für das metallverarbeitende Gewerbe 25
4.3.1 Material 26
4.3.2 Fertigungsverfahren 28
4.3.3 Neuinvestitionen 29
4.3.4 Prozesse 32
4.3.5 Mobilität und Logistik 33
4.4 Methode zur Bewertung der CO2e für die Produktion von Anlagen 34
4.4.1 Vorstellung der entwickelten Methode 34
4.4.2 Chancen und Risiken der Methode 35
4.4.3 Szenario-Analyse 36
4.5 Anwendung auf eine Anlage von Hecht 41
5 Fazit und Ausblick 42
Literaturverzeichnis I
Anhang X

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die 17 globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 5
Abbildung 2: Schematische Darstellung Treibhauseffekt 7
Abbildung 3: Beitrag zum Treibhauseffekt durch CO2 und langlebige Treibhausgase 2020 8
Abbildung 4: Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel) 9
Abbildung 5: Methan-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel)..... 9
Abbildung 6: Anteile der Treibhausgase an den Emissionen[39] 12
Abbildung 7: Modell der verschiedenen Scopes des GHG Protocols 15
Abbildung 8: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit 16
Abbildung 9: Nachhaltigkeitsdreieck 17
Abbildung 10: Gesamtübersicht Emissionen 21
Abbildung 11: Berechnungen 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen 22
Abbildung 12: Gesamtübersicht Numberger GmbH 24
Abbildung 13: Visualisierung der Gesamtübersicht der Numberger GmbH 25
Abbildung 14: Werkstoffausnutzung und Energieaufwand von verschiedenen Fertigungsverfahren.....28
Abbildung 15: Implementierung der Methode in Excel 35
Abbildung 16: Szenarioanalyse.....37
Abbildung 17: Anwendung der Methode auf das Projekt 222534 41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: GWP-Werte der wichtigen THG.....12
Tabelle 2: Emissions-Kategorien (Scopes) nach dem GHG Protocol 14
Tabelle 3: Hilfe zur Erfassung der Daten.....21

Abkürzungsverzeichnis

CCF	Corporate Carbon Footprint
CCS	Carbon Capture and Storage
CH4	Methan
CO2	Kohlenstoffdioxid
CO2e	CO2-Äquivalente
GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
LkSG	Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz
N2O	Distickstoffmonoxid
SCM	Supply Chain Management
SSCM	Sustainable Supply Chain Management
THG	Treibhausgase

1 Einleitung

„Die größte Gefahr für unseren Planeten ist der Glaube, dass jemand anderes ihn rettet.“ - Robert Swan

Der Monat Juli im Jahr 2021 war mit einer durchschnittlichen Temperatur von 16,73 Grad Celsius weltweit der heißeste Monat seit Beginn der Aufzeichnungen. Die Antarktis verliert jährlich Eismassen von 151 Milliarden Tonnen. Millionen Tierarten sind bedroht. Die Anzahl der Hitzetoten der Menschen über 65 stieg in den letzten 20 Jahren um 53,7%.[1]

Auch in Deutschland sind die Folgen des Klimawandels bereits deutlich bemerkbar: 4.500 Hitzetote gab es 2022 in Deutschland.[2] Im Jahr 2021 starben mindestens 184 Menschen an den Folgen der Überschwemmungen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, was seit 1962 als die schlimmste Naturkatastrophe in Deutschland gilt. Außerdem war das Jahr 2020 mit einer Temperatur von durchschnittlich 10,4 Grad Celsius das zweitwärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Deutschland.[3]

Um den Klimawandel zu verlangsamen und in der Zukunft zu stoppen, einigten sich schließlich im Dezember 2015 bei der UN-Klimakonferenz in Paris 197 Staaten auf ein globales Klimaschutzabkommen. Das Abkommen von Paris trat im November 2016 in Kraft und verfolgt folgende drei wesentliche Ziele:

- Die Erderwärmung soll auf maximal 1,5 Grad Celsius gegenüber der Temperatur im vorindustriellen Zeitalter beschränkt werden.
- Die Treibhausgasemissionen sollen gemindert werden, bis 2050 soll Neutralität erreicht werden.
- Es sollen Finanzflussmittel zum Erreichen der Klimaziele angeboten werden.[4]

Auch durch dieses Abkommen spielt der Nachhaltigkeitsgedanke in der deutschen Industrie eine Rolle. Die Unternehmen der verschiedensten Branchen stehen nun in der Verantwortung, einen Beitrag zum Erreichen der Ziele zu leisten. Dabei betrifft es beispielsweise auch die Pharmaindustrie, in der Hecht Technologie GmbH, das Unternehmen, mit welchem in dieser Bachelorarbeit kooperiert wurde, einen Großteil ihrer Kunden hat:

Ein Einkäufer des deutschen Pharmaunternehmens Bayer AG hat Anfang des Jahres 2022 eine Anfrage an Hecht geschickt, ob es möglich wäre die CO2-Äquivalente

[1] Vgl. (Ingram, 2021)
[2] Vgl. (ZDF, 2022)
[3] Vgl. ebd.
[4] Vgl. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

(Abkürzung: CO2e) für die Produktion zu reduzieren. Der erste Schritt zur Reduzierung der Emissionen ist jedoch die Analyse der CO2e für die Produktion einer Anlage.

Da die Firma Hecht die Produkte nicht selbst herstellt, ist sie bei der Analyse auf die Unterstützung der Fertigungsbetriebe angewiesen.

1.1 Zielsetzung und thematische Abgrenzung

In dieser Bachelorarbeit soll nun durch empirische Forschung eine Methode zur Bestimmung der CO2e für die Produktion für Sonderanlagen erarbeitet werden. Diese Methode wird dann auf eine Produktgruppe von Hecht angewendet. Ziel dieser Arbeit ist es, dass diese Methode auf jede Produktgruppe und jeden Fertigungsbetrieb anwendbar ist und einen möglichst genauen Wert für die CO2e für die Fertigung von Sonderanlagen liefert.

Die zentralen Fragestellungen dieser Abschlussarbeit sind folgende:

- Wie können Fertigungsbetriebe den Ausstoß der Emissionen messen und sinnvoll aufbereiten?
- Wie können diese Informationen dazu dienen, die CO2e für eine Anlage zu bestimmen?
- Wie können die Emissionen bei den Fertigungsbetriebe reduziert werden?
- Welche Chancen und Risiken bringt die entwickelte Methode?

Um den Umfang der Arbeit einzuschränken, wird die entwickelte Methode speziell auf die internen Prozesse der Fertiger eingehen, welche CO2e ausstoßen. Halberzeugnisse, welche zum Fertigungsbetrieb geliefert werden, werden nicht beachtet.

1.2 Methodik und Aufbau der Arbeit

Für diese Bachelorarbeit werden zwei Interviews durchgeführt. Einerseits wird eine Mitarbeiterin von Hecht über aktuelle und zukünftige Projekte im Unternehmen bezüglich Nachhaltigkeit befragt (siehe 3.2). Andererseits wird ein Treffen mit dem Inhaber eines Fertigungsbetriebs (Firma Numberger GmbH) durchgeführt. Der Inhaber dieses Fertigungsbetriebs hat im Jahr 2018 eine Analyse bezüglich der CO2e in seinem Betrieb durchgeführt (siehe 4.2).

Im Kapitel 4.1, der allgemeinen Übersicht der Emissionskategorien, wird empirisch durch eine Recherche vorgegangen.

Durch die gesammelten Informationen wird schließlich eine Methode entwickelt, welche auf verschiedene Anlagen und verschiedene Fertiger angewendet werden kann.

Im ersten Schritt werden die theoretischen Grundlagen definiert. Dabei wird einerseits das Unternehmen Hecht Technologie GmbH vorgestellt und die Produktgruppe beschrieben, auf welche die Methode zur Bestimmung der CO2e für die Produktion von Anlagen im Hauptteil angewendet wird. Außerdem werden die Begriffe Klimawandel, Nachhaltigkeit und CO2-Fußabdruck erläutert.

Anschließend wird die Verbindung zwischen dem theoretischen und dem praktischen Teil geschaffen. Dabei wird darauf eingegangen, welche Motivationen Unternehmen zum nachhaltigen Wirtschaften haben. Zum einen wird das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit und zum anderen die Nachhaltigkeitsbemühungen der Firma Hecht vorgestellt.

Im praktischen Teil der Arbeit wird zuerst allgemein gezeigt, in welchen Bereichen bei Fertigungsbetrieben CO2e in welcher Höhe anfallen können. Da diese Werte in der Praxis stark variieren können, wird anschließend ein Beispiel aufgezeigt. Hierfür wird das Unternehmen Numberger GmbH, einer der Fertigungsbetriebe der Firma Hecht, vorgestellt. Außerdem wird beschrieben, was das Unternehmen bereits geleistet hat, um dessen Emissionen möglichst genau zu ermitteln. Im Anschluss daran werden die Daten ausgewertet und es wird auf Besonderheiten dieses Fertigungsbetriebes hingewiesen. Im nächsten Schritt werden Potentiale für Fertigungsbetriebe beschrieben, mit denen CO2e eingespart werden können. Diese Potentiale sind in verschiedene Kategorien aufgegliedert. Anschließend wird eine Methode vorgestellt, welche auf alle Anlagen von Hecht - unabhängig vom Fertigungsbetrieb - die CO2e für die Produktion einer Anlage angeben kann. Die Chancen und Risken dieser Methode werden daraufhin analysiert und es wird eine Szenario-Analyse durchgeführt. Zuletzt wird diese Methode auf eine Anlage von Hecht Technologie angewendet.

Abschließend wird im Fazit auf Schwierigkeiten dieser Methode hingewiesen und ein Ausblick gegeben, wie sich die Bedeutung von Nachhaltigkeit bei Fertigungsbetrieben in den nächsten Jahren noch ändern wird.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Vorstellung der Firma Hecht Technologie GmbH

2.1.1 Allgemeine Vorstellung des Unternehmens

Das international tätige Unternehmen Hecht Technologie GmbH wurde im Jahr 1978 als Ein-Mann-Betrieb in München gegründet. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Pfaffenhofen an der Ilm beschäftigt aktuell 130 Mitarbeiter *(Stand: 04/2023)*. Im Jahr 2020 wurde außerdem das Technische Service Center in Pörnbach als zweiter Standort fertiggestellt.[5] Das Unternehmen für Sonderanlagen zum Befüllen, Entleeren, Dosieren oder Fördern von Schüttgut bietet Kunden der Food-, Pharma- und Chemieindustrie spezifische Lösungen an. Der Anspruch der Hecht Technologie GmbH ist, stets eine hohe Qualität, Effizienz und Sicherheit zu gewährleisten.[6]

2.1.2 Vorstellung des Projekts 222534

Dieses Projekt besteht aus 8 Stationen mit Wägezellen und 5 Stationen ohne. Die Stationen dienen zum Entleeren von Containern mit flüssigen und festen Ausgangsstoffen zur Herstellung von Desinfektionsmitteln. Eine graphische Darstellung dieser Stationen befindet sich im Anhang (siehe Anhang 1). Die Fertigung dieses Projekts hatte für unseren Fertigungsbetrieb einen Auftragswert von 62.000 EUR. Die Stationen ohne Waage haben ein Gewicht von 155kg und die Stationen mit Wagen wiegen 185kg. Somit ergibt sich ein Gesamtgewicht von 2.255 kg.

Dieses Projekt wurde ausgewählt für die Anwendung der später vorgestellten Methode, da es viele Produktgruppen beinhaltet, welche bei Hecht oft eingesetzt werden und somit repräsentativ sind.

2.2 Nachhaltigkeit

Laut dem Duden ist die Definition für Nachhaltigkeit folgende: „Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren, künftig wieder bereitgestellt werden kann.“[7]

Der Begriff hat seinen Ursprung in der Forstwirtschaft. Dabei wurde er von Carl von Carlowitz in seinem Buch „Sylvicultura oeconomica“ von 1713 verwendet. Der

[5] Vgl. (Hecht Technologie GmbH, 2022a)
[6] Vgl. (Hecht Technologie GmbH, 2022b)
[7] (Duden, 2022)

Grundgedanke war es, dass in der Forstwirtschaft ein stabiles Gleichgewicht geschaffen werden soll, indem für einen abgeholzten Baum in absehbarer Zeit ein neuer nachwachsen kann.

Im Jahr 1987 erlangte Nachhaltigkeit oder nachhaltige Entwicklung durch den Bericht der Brundtland-Kommission (benannt nach Gro Harlem Brundtland, der damaligen Vorsitzenden der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung und Ministerpräsidentin von Norwegen) eine große Bekanntheit.[8] In dem Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ wird nachhaltige Entwicklung als „eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ definiert.[9]

Da Nachhaltigkeit weltweit immer mehr an Bedeutung gewinnt, wurde schließlich 2015 auf dem Nachhaltigkeitsgipfel der Vereinten Nationen die Agenda 2030 mit dem Titel „Transformation unserer Welt“ verabschiedet. Die Weltgemeinschaft hat sich auf 17 Nachhaltigkeitsziele geeignet.[10] Die Ziele richten sich dabei sowohl auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte, auf welche in Kapitel 3.1 dieser Bachelorarbeit eingegangen wird. Anfang 2017 wurde schließlich, aufbauend auf die Agenda 2030, durch die Bundesregierung die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele dargelegt.[11]

Abbildung 1: Die 17 globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 [12]

[8] Vgl. (Deutsche Gesellschaft für Qualität, 2022)
[9] (Bundesamt für Raumentwicklung ARE, 2022)
[10] Vgl. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022)
[11] Vgl. (Bundesregierung, 2022a)
[12] Ebd.

2.3 Klimawandel

Das „Klima ist der mittlere Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem bestimmten Gebiet über einen längeren Zeitraum.“[13] Es wird im Gegensatz zum Wetter langfristig betrachtet. Die Weltorganisation für Meteorologie empfiehlt einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren. Jedoch sind auch Zeiträume wie Jahrhunderte oder -tausende möglich. Unter Klimawandel versteht man schließlich die anthropogene induzierte Veränderung des Klimas auf der Erde über einen langen Zeitraum.[14] Dabei werden insbesondere die Faktoren Temperatur, Niederschlag und Meeresströmung analysiert.[15] Klimaänderungen sind in der Langzeitbedeutung schon häufig beobachtet worden. Seit zwei bis drei Millionen Jahren wechseln sich Eiszeiten und Warmzeiten ab. Wir befinden uns seit ungefähr 10.000 Jahren in einer Warmzeit.[16]

Aktuell wird der Begriff besonders für die globale Erwärmung verwendet, da sich das Klima noch nie so schnell verändert hat, wie im Zeitraum seit der industriellen Revolution.[17]

2.3.1 Ursachen des Klimawandels

Grundsätzlich gibt es mehrere Faktoren, welche zu Klimaänderungen führen:

Zum einen spielen die „Änderungen der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung, Änderungen der an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre reflektierten Sonnenstrahlung, Änderungen der in den Weltraum abgegebenen Wärmestrahlung sowie die interne Klimavariabilität“[18] eine wichtige Rolle für die Veränderung des Klimas. Ein Teil der auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlung wird von Wolken, Luftbestandteilen oder der Erdoberfläche reflektiert. Diese Vorgänge können jedoch durch bestimmte Prozesse aus dem Gleichgewicht geraten und so zu einer Veränderung führen. Ein Beispiel dafür sind die zyklischen Schwankungen der Sonneneinstrahlung, die durch eine Änderung der Parameter der Erdbahn um die Sonne verursacht werden. Die Dauer dieser Zyklen kann von Jahrzehnten bis zu einigen Jahrtausenden dauern. Außerdem hat die Beschaffenheit der Erde einen großen Einfluss auf die Reflektion der Sonnenstrahlung. Eis reflektiert beispielsweise wesentlich mehr Sonnenstrahlung als ein Wald oder Wasser. Durch anthropogene Einflüsse wie Flächenversiegelung, Landwirtschaft oder Rodung von Wäldern verändert sich die Reflektion der Sonnenstrahlung und damit verbunden auch das Klima. In der Luft haben besonders Wolken und Aerosole eine Wirkung auf die Reflektion

[13] (Umwelt Bundesamt, 2022a)
[14] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022a)
[15] Vgl. (Care, 2022)
[16] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022a)
[17] Vgl. (Care, 2022)
[18] (Umwelt Bundesamt, 2022a)

der Sonnenstrahlung. Aerosole werden durch Vulkane ausgestoßen und führen kurzfristig zu einer Abkühlung des Klimas.[19] Zusätzlich können auch interne Klimaschwankungen auftreten, die durch die Wechselwirkungen „zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre (Ozeane, Seen, Flüsse), Kryosphäre (Eis und Schnee), Lithosphäre (Boden und Gesteinsschichten) und Biosphäre (Pflanzen und Tiere)“[20] verursacht werden.

Der Haupteinfluss auf den Klimawandel ist der Treibhauseffekt: Dieser ist ein grundsätzlich natürlicher Effekt, jedoch wurde er durch die Industrialisierung drastisch verstärkt. Der Effekt wirkt wie folgt: Die Erdoberfläche wird durch kurzwellige Sonnenstrahlung erwärmt. Diese wird anschließend von der Erdoberfläche als langwellige Wärmestrahlung reflektiert. Die Wärmestrahlung wird schließlich von den Treibhausgasen *(Abkürzung: THG)* teilweise absorbiert und teilweise an die Erde zurückgestrahlt. Daraus folgt eine Erwärmung der Erdoberfläche und der ersten Atmosphärenschicht.[21]

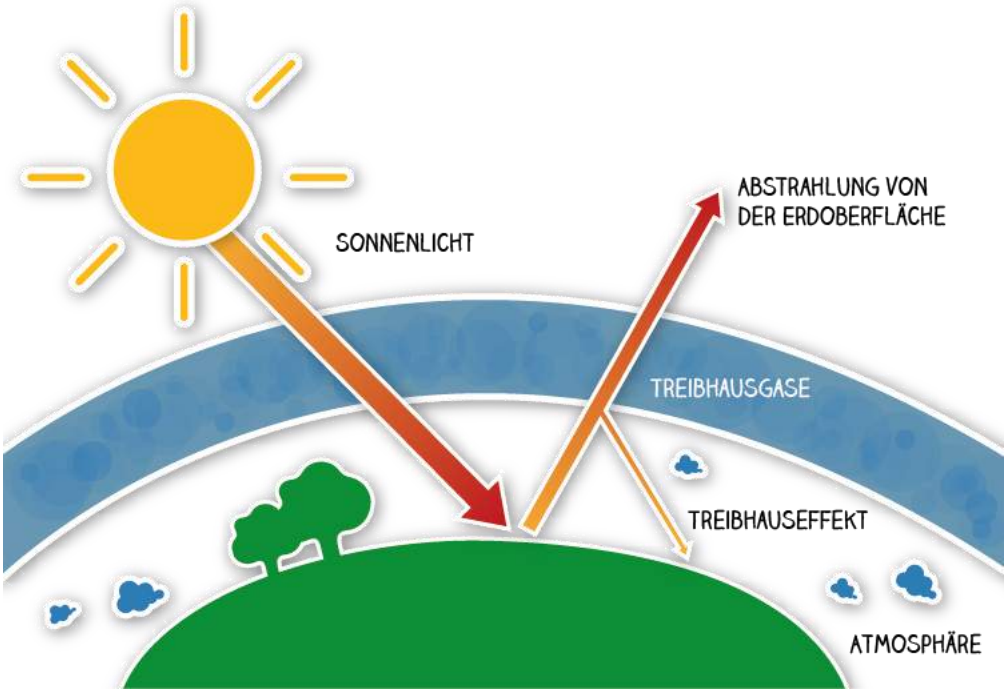


Abbildung 2: Schematische Darstellung Treibhauseffekt[22]

Dabei ist es wichtig, zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt zu unterscheiden:

Der natürliche Treibhauseffekt ist Grundlage für das menschliche Leben auf der Erde. Ohne diesen Effekt würde die Sonnenstrahlung zurück ins Weltall reflektiert werden. Dadurch würde die globale Durchschnittstemperatur -18 Grad Celsius betragen (Im Vergleich: aktuelle globale Durchschnittstemperatur: 15 Grad Celsius).[23] Natürliche THG

[19] Vgl. (Rechid, 2021)
[20] (Umwelt Bundesamt, 2022a)
[21] Vgl. (myclimate, 2022a)
[22] (Klimatopia, 2022)
[23] Vgl. (ARD Alpha, 2021)

sind „Wasserdampf (H2O) und eine Reihe von Spurengasen wie Kohlendioxid (CO2), Methan (CH4), Distickstoffoxid (N2O), Troposphärisches Ozon (O3) u.a., deren Anteil an der Gesamtmasse der Atmosphäre zusammen weniger als 1% ausmacht.“[24] Wasserdampf sorgt als wichtigstes natürliches THG für fast zwei Drittel des natürlichen Treibhauseffekts. Seit Beginn der Industrialisierung wird das Gleichgewicht zwischen Ein- und Ausstrahlung jedoch durch menschliche Aktivitäten beeinflusst. Durch verschiedene Aktivitäten stieg die Emission von Spurengasen (z.B. CO2, CH4, N2O) deutlich an.[25] Außerdem verstärkt die Abnahme des Baumbestandes durch Abholzung oder Verbrennung von Wäldern den Treibhauseffekt. Bäume wandeln CO2 in Sauerstoff um und sind somit wichtig, um das schädliche THG zu kompensieren. Diese Effekte führen schließlich dazu, dass weniger langwellige Wärmestrahlung in den Weltraum gelangt.[26]

Für eine Entschleunigung des anthropogenen Treibhauseffektes ist es nun zuerst bedeutsam, sich eine Übersicht darüber zu machen, wie stark welche THG im Einzelnen zur Erwärmung beitragen.

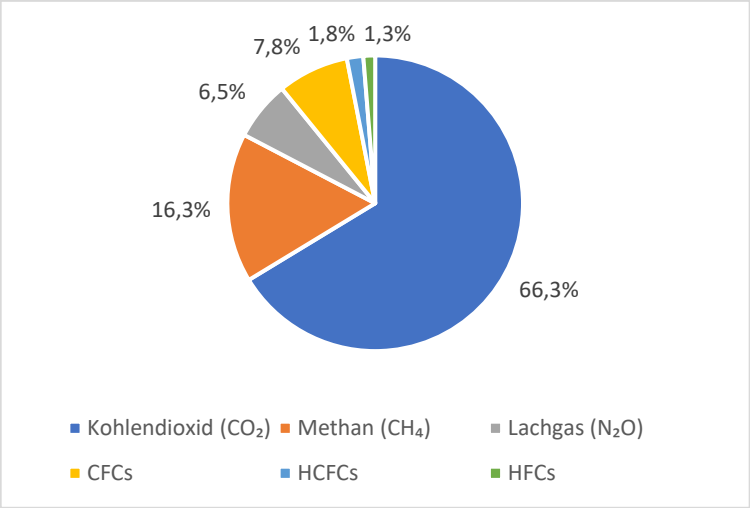


Abbildung 3: Beitrag zum Treibhauseffekt durch CO2 und langlebige THG 2020[27]

Abbildung 3 zeigt, dass CO2 und CH4 mit zusammengerechnet 82,6% des Beitrags zum Treibhauseffekt die einflussreichsten Spurengase sind. Außerdem werden im Folgenden die Veränderungen der Konzentrationen der THG CO2 und CH4 aufgezeigt.

Hierfür werden die jeweiligen Konzentrationen der beiden THG über einen Zeitraum von mindestens 25 Jahren betrachtet. Dabei wurden die Daten weltweit als auch lokal an der Zugspitze erhoben. Da die Zugspitze der höchste Gipfel Deutschlands ist, sind die Messwerte dort besonders repräsentativ.[28]

[24] (Bildungsserver Wiki, 2022)
[25] Vgl. (Bildungsserver Wiki, 2022)
[26] Vgl. (ARD Alpha, 2021)
[27] Eigene Darstellung in Anlehnung an (Umwelt Bundesamt, 2022b)
[28] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022b)

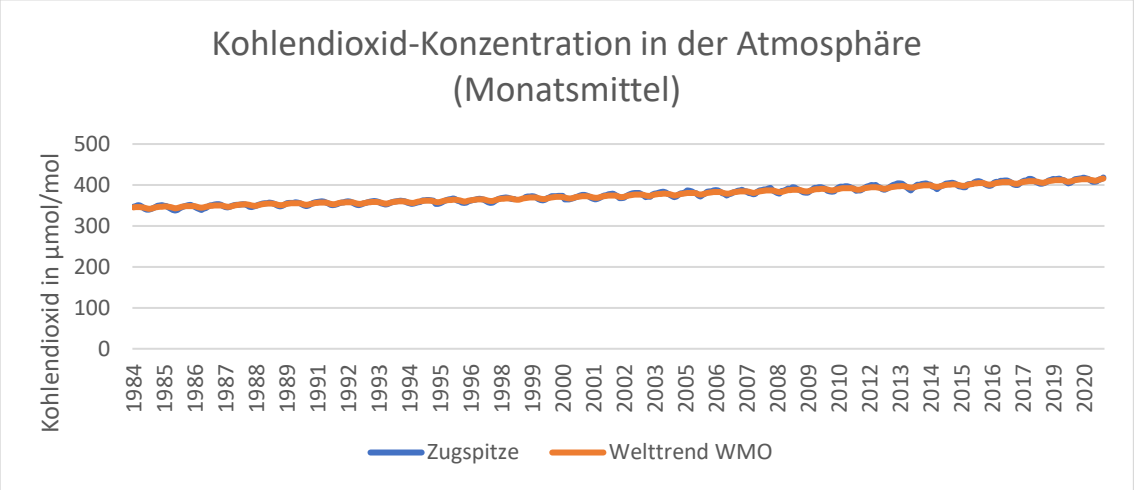


Abbildung 4: Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel)[29]

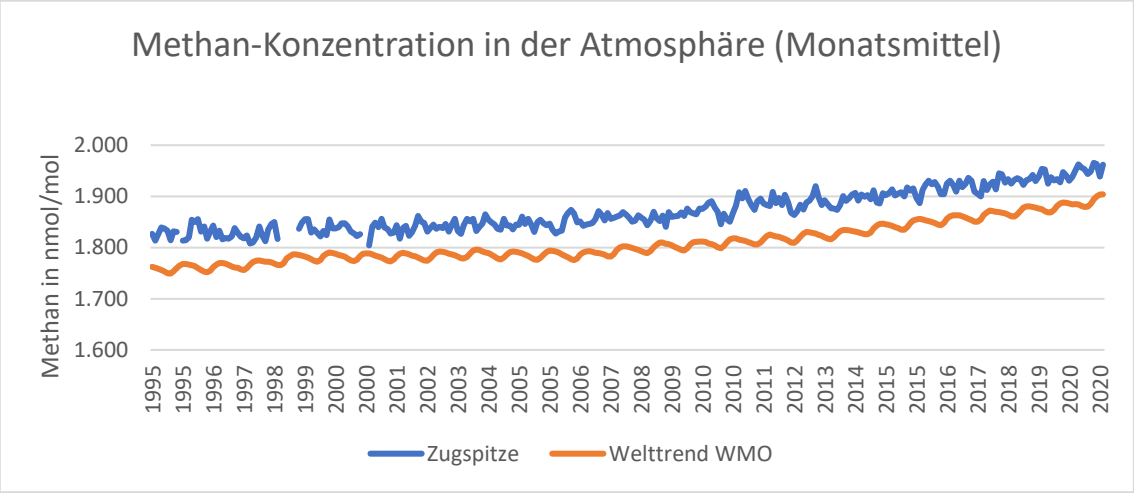


Abbildung 5: Methan-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel)[30]

Bei der CO2-Konzentration ist erkennbar, dass der Trend von Deutschland und der globale Trend identisch verlaufen. Dort ist die Konzentration von 1995 bis 2020 um 14,55% gestiegen. Bei den Methan-Konzentrationen ist erkennbar, dass die Werte der Zugspitze über denen des Welttrends liegen. Die Methan Konzentrationen sind im gleichen Zeitraum um 7,05% gestiegen.

2.3.2 Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen des Klimawandels können in direkte und indirekte Folgen unterteilt werden:

Die *direkten* Folgen des Klimawandels sind Folgen, welche sich direkt auf die Natur auswirken. Dazu gehören „steigende Maximaltemperaturen[,] steigende Minimaltemperaturen[,] steigender Meeresspiegel[,] höhere Meerestemperaturen[,] zunehmende Starkniederschläge (Starkregen und Hagel)[,] Zunahme des Anteils heftiger tropischer Wirbelstürme[,] Zunahme von Trockenheit und Dürre[,] Rückgang des arktischen Meereises

[29] Eigene Darstellung in Anlehnung an (Umwelt Bundesamt, 2022b)
[30] Eigene Darstellung in Anlehnung an (Umwelt Bundesamt, 2022b)

und der Schneebedeckung[,] Gletscherschwund und Gletscherrückgang [und] tauender Permafrost[.]“[31]

Die direkten Folgen des Klimawandels haben folgende *indirekte* Auswirkungen auf die Menschheit. Diese können in die Kategorien Gesellschaft, Wirtschaft und territoriale Bedrohungen unterteilt werden:

Der Klimawandel gefährdet die Gesellschaft durch Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen, Tiere und Pflanzen. Durch die Erhöhung der globalen Temperatur werden hitzebedingte Todesfälle und Naturkatastrophen mit einer erhöhten Unfallgefahr zunehmen. Einkommensschwache Bevölkerungsgruppen leiden besonders unter dem Klimawandel: Sie haben wenig Möglichkeiten gegen den Klimawandel vorzugehen, sind aber oftmals aufgrund ihrer geografischen Lage stark von den Auswirkungen betroffen.

Der Klimawandel hat auch wirtschaftliche Auswirkungen auf verschiedene Sektoren: Zum einen betreffen die Folgen die Infrastruktur und die Bausubstanz. Durch extreme Wetterereignisse können Gebäude und Infrastruktur beschädigt oder sogar komplett zerstört werden. Dies führt zu hohen wirtschaftlichen Schäden in den betroffenen Regionen. Andererseits werden sich Hitze und Trockenheit auch auf die Landwirtschaft Europas auswirken. Besonders stark betroffen sind dabei Gebiete in Südeuropa. Dort können die direkten Folgen des Klimawandels zu geringeren Erträgen und langfristig zu einem Rückgang der Anbauflächen führen.

Die territorialen Bedrohungen des Klimawandels sind besonders in der Arktis bemerkbar: Durch die überdurchschnittlich hohen Temperaturen kommt es in diesem Gebiet zu einem Schwund der Eisdecke und zum Auftauen von Permafrostböden. Dadurch leidet das arktische Ökosystem, welches äußerst empfindlich gegenüber Temperaturanstiegen ist.[32]

2.3.3 Ziele, um den Klimawandel zu stoppen

Die Ziele des Pariser Abkommens, die in der Einleitung kurz erläutert wurden, sind weltweit gesehen die wichtigsten, um den Klimawandel Einhalt zu gebieten. Vor allem das Ziel, die globale Durchschnittstemperatur um nicht mehr als 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter ansteigen zu lassen, ist wichtig, um die katastrophalsten Folgen des Klimawandels zu vermeiden.

Im November 2022 fand die jährliche UN-Klimakonferenz statt, welche in diesem Jahr in Ägypten ausgetragen wurde. Es waren circa 45.000 Teilnehmer vor Ort, wovon die meisten Delegierte aus knapp 200 Ländern kamen. In dieser Klimakonferenz wurde der

[31] (myclimate, 2022b)
[32] Vgl. (Europäische Kommision, 2022)

aktuelle Stand in Bezug auf das Pariser Abkommen analysiert. Zu diesem Zeitpunkt lag die globale Durchschnittstemperatur rund 1,15 Grad Celsius über dem Durchschnitt der vorindustriellen Zeit. Alarmierend ist auch der rasante Anstieg der Konzentrationen der THG CO2, CH4 und N20. Insbesondere bei CH4 war die Zunahme in jüngster Zeit so groß wie nie zuvor (siehe Abbildung 5). Ein Erreichen der im Pariser Abkommen festgelegten Ziele ist zwar theoretisch noch möglich, die Klimapolitik müsste sich jedoch drastisch ändern.[33]

Um das globale Problem des Klimawandels zu lösen, müssen sich die Staaten eigene Ziele setzen. In Deutschland werden im Klimaschutzgesetz der Bundesregierung folgende Ziele festgelegt:

- Die THG-Emissionen sollen bis 2030 um mindestens 65 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 verringert werden. (Vergleich: bis 2021 sind die Emissionen um 38,7% gegenüber dem Referenzjahr 1990 gesunken)[34]
- Die Treibhausgasneutralität soll bis 2045 erreicht werden.[35]

Um die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, werden laut McKinsey insgesamt sechs Billionen Euro benötigt. Davon ist allerdings nur eine Billion eine echte zusätzliche Investition. Die anderen fünf Billionen sollen nur alternativ (in grüne Technologien) investiert werden, sind aber keine neuen Ausgaben. Diese Zuschüsse sollen schließlich besonders in die Bereiche Mobilität, Energie und Industrie fließen.[36]

Einem aktuellen Bericht zufolge ist die Erreichung der Klimaziele für 2030 laut eines Gutachtens des Expertenrats kaum noch möglich. Der Ausstoß von klimaschädlichen CO2-Emissionen müsste sich im Zeitraum von 2022 bis 2030 gegenüber den Jahren 2011 bis 2021 mehr als halbieren, um das Ziel doch noch erreichen zu können.[37]

2.4 Der CO2-Fußabdruck

Der CO2-Fußabdruck oder auch Corporate Carbon Footprint *(Abkürzung: CCF)* ist das Ergebnis einer CO2-Bilanz. Er gibt die Menge an freigesetzten THG für Prozesse an und kann auf bestimmte Prozesse innerhalb eines Unternehmens angewendet werden. Das Ergebnis des CCF wird in CO2e angegeben, da das Ergebnis insgesamt neben CO2

[33] Vgl. (Tagesschau, 2022a)
[34] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022c)
[35] Vgl. (Bundesregierung, 2022b)
[36] Vgl. (Schauenberg, 2021)
[37] Vgl. (Tagesschau, 2022b)

noch weitere THG beachtet. Diese sind Methan, Distickstoffoxid, Schwefelhexafluorid, Fluorkohlenwasserstoffe, Perfluorcarbone und Stickstofftrifluorid.[38]

Die Einheit CO2e ist auf das Treibhauspotential (englisch: Global Warming Potential *(Abkürzung: GWP)*) der THG zurückzuführen: Dieses gibt an, wie stark eine bestimmte Menge eines THG im Bezug zur gleichen Menge CO2 über einen Zeitraum von hundert Jahren beiträgt. Dies führt zu einer Vergleichbarkeit der unterschiedlichen THG.[39] In der folgenden Tabelle werden nun die GWP-Werte wichtiger THG laut des Klimarates aufgezeigt:

THG	Formel	GWP (100 Jahre)
	CO2	1
Methan	CH4	34
	N2O	298
Tetrafluormethan	CF4	7350
	SF6	23500

Tabelle 1: GWP-Werte der wichtigen THG[40]

Obwohl die anderen THG wesentlich höhere GWP-Werte haben, macht CO2 trotzdem einen großen Anteil der THG an den Emissionen in Deutschland in CO2e aus. Seit 1990 werden die Emissionen dieser THG reduziert: Während die CO2-Emissionen nur um 35,9% gesunken sind, wurden die Emissionen für CH4 um 59,7% und die Emissionen für N20 um 52,1% gemindert. Auch die Emissionen für fluorierte THG sinken aufgrund von gesetzlichen Regelungen.[41]

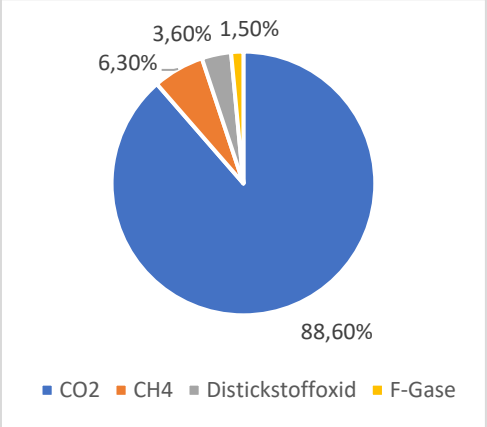


Abbildung 6: Anteile der THG an den Emissionen[39]

Die Erstellung eines CO2-Fußabdrucks für Unternehmen ist aus Sicht des Nachhaltigkeitsmanagements essenziell: Mit dem CO2-Fußabdruck kann zuerst ein Bewusstsein für die THG-Emissionen geschaffen werden, welche anschließend mithilfe einer geeigneten Klimastrategie gesenkt werden können. Außerdem kann überprüft werden, welche Auswirkungen die jeweiligen Maßnahmen nach einer bestimmten Zeit haben. Zusätzlich prägt der CO2-Fußabdruck auch die Außenwirkung eines Unternehmens. Potenzielle Kunden können diesen in ihre Kaufentscheidung miteinbeziehen.[42]

[38] Vgl. (First Climate, 2022)
[39] Vgl. (Baunetz Wissen, 2022)
[40] Vgl. (Blümm, 2020)
[41] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022c)
[42] Vgl. (First Climate, 2022)

2.4.1 Methode zur Identifizierung und Kategorisierung der Emissionsarten

Die Standardmethode für die Identifizierung und Kategorisierung der wesentlichen Emissionsquellen eines Unternehmens ist das Greenhouse Gas *(Abkürzung: GHG)* Protocol. Gemäß dem GHG Protocol werden Emissionen in drei verschiedene Scopes (Emissionsarten) kategorisiert. Der Scope 1 beinhaltet alle direkten Emissionen, welche durch Verbrennung in eigenen Anlagen entstehen. Der Scope 2 umfasst alle Emissionen, die mit eingekaufter Energie verbunden sind. Der Scope 3 enthält die indirekten THG-Emissionen, die beispielsweise durch eingekaufte Waren oder Dienstleistungen und Geschäftsreisen entstehen.[43] Diese Scopes werden in der folgenden Tabelle genauer erläutert. Dort werden sie kategorisiert und eine Beschreibung mit Beispielen gegeben.

Scope 1: Kategorie		**Beschreibung**
1.1	Verbrennungsprozesse stationärer Anlagen	Einsatz Heizöl in Heizanlagen Erdgas für KWK-Anlagen
1.2	Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen	Diesel-Verbrauch von LKWs Flüssiggas-Verbrauch von Staplern Benzin-Verbrauch der Geschäfts-PKWs
1.3	THG-Emissionen aus chemischen Prozessen	Undichte Leitungen, Leckage an Klimaanlagen, Leckagen von Erdgasleitungen
1.4	Direkte Emissionen von THG	Produktionsdaten/Verbrauchsmengen der Produkte oder Zählerstände
Scope 2: Kategorie		**Beschreibung**
2.1	Elektrizität	Emissionen fallen bei der Erzeugung beim Anbieter an
2.2	Dampf	Emissionen bei der Erzeugung von einem Anbieter gekauften Dampf
2.3	Fernwärme/-kälte	Emissionen fallen bei der Erzeugung beim Anbieter an
Scope 3: Kategorie		**Beschreibung**
Vorgelagerte Wertschöpfungskette		
3.1	Eingekaufte Güter und Dienstleistungen	Herstellung, Verarbeitung und Transport von eingekauften Gütern und Dienstleistungen
3.2	Produktionsmittel/Anlagegüter	Herstellung, Verarbeitung und Transport von Anlagen, wie z.B. Maschinen oder Fahrzeuge
3.3	Kraftstoff und energiebezogene Emissionen	Vorgelagerte Prozesse, Verteilung und Verluste der Strom-, Wärme-, oder Primärenergiebereitstellung

[43] Vgl. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022)

3.4	Vorgelagerter Transport und Verteilung	Transport durch Zulieferer oder zwischen eigenen Standorten mit externen Fahrzeugen
3.5	Abfall	Behandlung und Entsorgung von Abfall, die im Unternehmen anfallen
3.6	Geschäftsreisen	Geschäftsreisen in Transportmitteln, die nicht dem Unternehmen gehören
3.7	Pendeln der Mitarbeiter	Pendeln der Beschäftigten zwischen dem Wohnort und der Arbeitsstätte in Fahrzeugen, die nicht durch das Unternehmen betrieben werden
3.8	Angemietete oder geleaste Sachanlagen	Energieverbräuche / Betrieb von gemieteten oder geleasten Sachanlagen
Nachgelagerte Wertschöpfungskette		
3.9	Nachgelagerter Transport und Verteilung	Emissionen aus Transporten von verkauften Produkten durch externe Logistikunternehmen
3.10	Weiterverarbeitung verkaufter Zwischenprodukte	Weiterverarbeitung von verkauften Zwischenprodukten durch andere Unternehmen
3.11	Nutzung der verkauften Produkte	Nutzung der verkauften Produkte des Unternehmens durch Endkonsumierende
3.12	Entsorgung der verkauften Produkte	Entsorgung von verkauften Produkten am Ende ihres Lebenszyklus
3.13	Vermietete oder verleaste Sachanlagen	Betrieb von Gebäuden, Maschinen oder Fahrzeugen, die dem eigenen Unternehmen gehören, aber an Fremdfirmen verleast oder vermietet wurden
3.14	Franchise-Betriebe	Betrieb von Franchise-Geschäftstätigkeiten
3.15	Investitionen	Geschäftstätigkeiten von Investitionen

Tabelle 2: Emissions-Kategorien (Scopes) nach dem GHG Protocol [44,45]

Die folgende Grafik stellt die in der Tabelle vorgestellten Kategorien dar. Es wird verdeutlicht, in welchen Prozessschritten die jeweiligen Emissionsarten im Unternehmen anfallen.

[44] Vgl. (EnergieAgentur NRW, 2022)
[45] Vgl. (WWF, 2022)

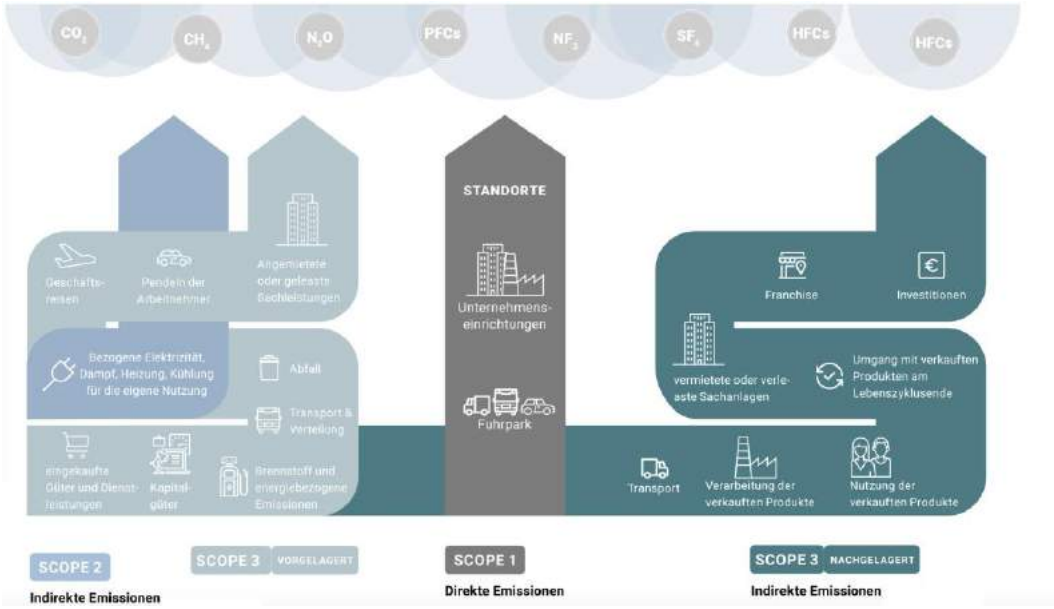


Abbildung 7: Modell der verschiedenen Scopes des GHG Protocols[46]

2.4.2 Berechnungsansatz des CO2-Fußabdrucks

Die Erstellung des CO2-Fußabdrucks erfolgt in der Praxis in folgenden Schritten:

1. Definition der Systemgrenzen
2. Erfassung von Daten
3. Berechnung des CO2-Fußabdrucks
4. Dokumentation der Ergebnisse

Zuerst werden die Systemgrenzen eindeutig festgelegt. Es gibt sowohl organisatorische als auch operative Systemgrenzen: Die organisatorischen Systemgrenzen beziehen sich auf die Organisationseinheit und den betrachteten Zeitraum und die operativen Systemgrenzen beschreiben die Emissionsquellen, welche durch das GHG Protocol festgelegt sind.

Im nächsten Schritt werden im Unternehmen Verbrauchsdaten zu verschiedenen Bereichen erfasst. Diese werden im dritten Schritt dann schließlich mit Emissionsfaktoren multipliziert. Das Ergebnis wird in CO2e ausgegeben:

$$Verbrauch * Emissionsfaktor = Emissionen\ in\ CO2e$$

Abschließend werden die Ergebnisse dokumentiert. Diese können gegebenenfalls mit den Ergebnissen der Vorjahre verglichen werden und als Grundlage einer Zielformulierung für das kommende Jahr dienen.[47]

[46] (Wolf & Müller Energy GmbH, 2022)
[47] Vgl. (Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, 2021 S. 6f)

3 Bedeutung von Nachhaltigkeit für mittelständische Unternehmen

3.1 Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung

Das bekannteste Modell für eine nachhaltige Entwicklung ist das Drei-Säulen-Modell. Dieses Modell wurde in den 1990er Jahren entwickelt und im Jahr 1998 von einer Kommission im deutschen Bundestag aufgegriffen. 2002 wurde es schließlich beim Weltgipfel von Johannesburg als Maßstab für internationale Nachhaltigkeit verwendet.[48] Die drei Säulen dieses Modells sind Ökologie, Ökonomie und Soziales. Die drei Säulen stehen gleichberechtigt nebeneinander und tragen das Dach Nachhaltigkeit.[49] Mit diesem Modell kann der Begriff „Nachhaltigkeit“ für Unternehmen beschrieben werden.

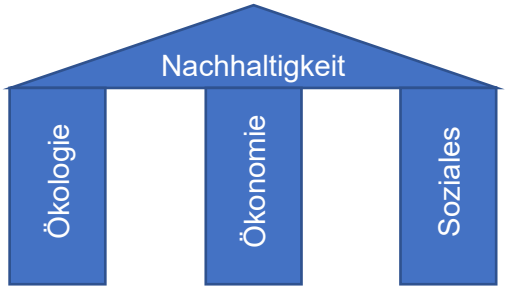


Abbildung 8: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

3.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit

„Die ökologische Nachhaltigkeit fordert dazu auf, die Umwelt einschließlich der natürlichen Ressourcen zu schonen.“[50] Unternehmen sind gefordert, durch maßvolle Nutzung den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen zu sichern.[51] Dies erfordert einen bewussten Umgang mit Rohstoffen, Wasser und Energie. Durch ökologisches Wirtschaften kann die Vielfalt an Arten und Ökosystemen erhalten bleiben. Das vorrangige Ziel der Unternehmen sollte dabei die Reduzierung von Emissionen sein.[52]

3.1.2 Ökonomische Nachhaltigkeit

„Die ökonomische Nachhaltigkeit fordert ein nachhaltiges Wirtschaften.“[53] Dabei sollten Unternehmen Gewinne erzielen, jedoch sollte eine Gewinnmaximierung nicht im Vordergrund stehen. Die Gewinne der Unternehmen sollten sinnvoll in Nachhaltigkeit und

[48] Vgl. (Schulz, 2022)
[49] Vgl. (Pufé, 2014)
[50] (Schulz, 2022)
[51] Vgl. (Kropp, 2019 S. 11)
[52] Vgl. (Schulz, 2022)
[53] (Schulz, 2022)

Bildung investiert werden. Unternehmen sollen auf faire Handelspartner achten und Umweltschutz-Projekte fördern.[54]

3.1.3 Soziale Nachhaltigkeit

Im Mittelpunkt der sozialen Nachhaltigkeit steht das gute Leben der Menschen. Unternehmen sollen sich für Armutsbekämpfung und globalen Frieden einsetzen.[55] Jedem Menschen soll zumindest die freie Entfaltung seiner Persönlichkeit und der Zugang zu den Grundbedürfnissen gewährleistet werden. Diese Säule fordert „Gerechtigkeit, Sicherheit, faire Bezahlung, die Wahrung von Arbeitnehmer[…]interessen sowie die Möglichkeit zur Aus- und Fortbildung und der freien beruflichen Entfaltung.“[56]

3.1.4 Kritik an diesem Modell

Dieses Modell ist zwar weit verbreitet, jedoch trotzdem umstritten: Es ist schwer in der Praxis anwendbar, da es keine konkreten Lösungen aufzeigt. Außerdem wird kritisiert, dass die drei Säulen in der Praxis nicht gleichrangig sind und zum Teil auch konkurrierend sein können.[57] Ein Beitrag zum Umweltschutz kann kurzfristig das Wirtschaftswachstum behindern. Außerdem führen Gewinne in Unternehmen zu einer größeren Schere zwischen armen und reichen Menschen, was eine Erreichung von sozialer Stabilität erschweren kann.[58]

Metaphorisch gesehen reichen somit zwei Säulen aus, um das Dach „Nachhaltigkeit“ zu tragen. Aufgrund dieser Kritikpunkte wurden viele Modelle in Anlehnung an das Drei-Säulen-Modell entwickelt. Dabei hat sich das Nachhaltigkeits-Dreieck durchgesetzt. Bei diesem werden die drei Dimensionen zu einem Ganzen verbunden.[59]

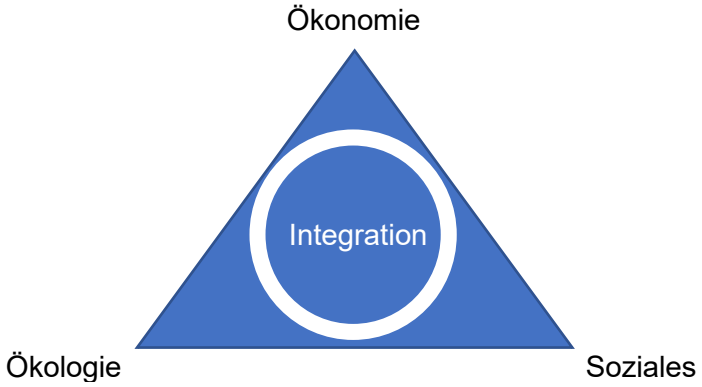


Abbildung 9: Nachhaltigkeitsdreieck

[54] Vgl. (Schulz, 2022)
[55] Vgl. (Kropp, 2019 S. 11)
[56] (Schulz, 2022)
[57] Vgl. (Schulz, 2022)
[58] Vgl. (Leidenschaft Nachhaltigkeit, 2022)
[59] Vgl. (Kropp, 2019 S. 11)

3.2 Nachhaltigkeit bei Hecht Technologie GmbH

Um einen Einblick in das Thema Nachhaltigkeit bei Hecht zu bekommen, wurde ein Interview mit MS (Unternehmenskürzel) organisiert. MS ist seit 2000 bei Hecht angestellt und beschäftigt sich seit einigen Jahren überwiegend mit dem Thema Nachhaltigkeit. In diesem Interview wird es darum gehen, welche Erfolge Hecht in der Vergangenheit schon bezüglich Nachhaltigkeit erzielt hat. Außerdem wird das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit auf Hecht angewendet und es wird ein Zukunftsausblick aufgezeigt:

(Abkürzungen Interview: V = Verfasser der Bachelorarbeit, S = MS)

V: „Welche Projekte von Hecht gibt es in Bezug auf Nachhaltigkeit?“

S: „Die jährliche Ecovadis Bewertung, welche zunehmend strenger wird, ist für uns sehr wichtig. Um bei dieser Bewertung in Zukunft noch bessere Ergebnisse zu erzielen, ist eine zunehmende Datenüberwachung essenziell. Aktuell überwachen wir überwiegend die Emissionen der Scopes 1 und 2, jedoch wollen wir in Zukunft auch den Scope 3 mit einbeziehen. Problematisch ist jedoch, Daten über die Produktion unserer Anlagen zu bekommen, da die Produktion ausgelagert ist. Außerdem fördern wir die grüne Mobilität unserer Mitarbeiter, indem wir sie beim Kauf von E-Autos und E-Bikes finanziell unterstützen.“

V: „Welche Bemühungen gibt es bei Hecht bezüglich der sozialen Nachhaltigkeit?“

S: „Seit 2019 führt Hecht soziale Projekte durch. Dabei besuchen einige unserer Mitarbeiter beispielsweise Altenheime oder unterstützen bei Projekten von sozialen Organisationen, wie der A.p.e. Familienhilfe. Leider müssen wir uns selbst immer darum bemühen, Projekte zu finden, um gemeinnützigen Organisationen zu helfen. Grundsätzlich legen wir viel Wert auf einen engen Bezug zu unseren Projekten.“

V: „Was sind die nächsten Schritte, welche in der Zukunft angegangen werden?“

S: „Die Überlegung ist auf jeden Fall, zukünftig mit einem externen Unternehmen, wie beispielsweise Climate Partner, zusammen zu arbeiten. Durch diese Zusammenarbeit kann der CO2-Fußabdruck für die Firma noch wesentlich genauer bestimmt werden. Außerdem wollen wir unsere Reisetätigkeit reduzieren und Geschäftsreisen nur bei einer dringenden Notwendigkeit durchführen. Zusätzlich möchten wir uns auch an Kompensationsprojekten beteiligen. Es ist denkbar, dass wir zukünftig für Moor-Projekte in Deutschland spenden werden.“

4 Analyse der CO2e für die Produktion von Anlagen von Hecht Technologien GmbH

4.1 Allgemeine Übersicht zur Aufteilung der CO2-Äquivalente für das metallverarbeitende Gewerbe

4.1.1 Festlegung der Systemgrenzen

Für die Bestimmung der CO2e für die Produktion von Sonderanlagen wurden im ersten Schritt folgende Systemgrenzen festgelegt: Bei den organisatorischen Systemgrenzen wurde das gesamte Unternehmen betrachtet. Übertragen auf die Thematik dieser Bachelorarbeit sind dies Fertigungsbetriebe, die Aufträge für Hecht bearbeiten.

Für die operativen Systemgrenzen wurden einige Kategorien des GHG Protocols ausgeschlossen. Im ersten Schritt ist es für die Firma Hecht von großer Bedeutung, dass die Fertigungsbetriebe Daten zur Verfügung stellen, um eine Vergleichsgrundlage zu erhalten. Außerdem soll ein Bewusstsein für Emissionen im Allgemeinen und auch für die immer wichtiger werdende Bedeutung von Emissionen geschaffen werden. Aus diesem Grund wurde sich auf folgende Kategorien des GHG Protocols festgelegt:

Die Scopes 1 und 2 des GHG Protocols sind für den Anwender als Mindestanforderung verpflichtend durchzuführen. Die Emissionen des Scopes 3 sind nicht verpflichtend, jedoch sind einige Kategorien davon essenziell, um eine genauere Analyse festzulegen.[60] Von den vorgelagerten Emissionen wurden die Kategorien 3.1 Eingekaufte Güter und Dienstleistungen, 3.3 Kraftstoff und energiebezogene Emissionen, 3.4 Vorgelagerter Transport und Verteilung, 3.5 Abfall, 3.6 Geschäftsreisen und 3.7 Pendeln der Mitarbeiter in unserer Auswertung berücksichtigt. Die restlichen Kategorien wurden ausgeschlossen, da diese nur schwer messbar sind und sich zwischen den Fertigungsbetrieben nicht stark unterscheiden sollten. Da es schwierig ist, die nachgelagerten Emissionen für ein Unternehmen zu bestimmen, wurden aus den nachgelagerten Scope 3-Emissionen nur der nachgelagerte Transport in die Berechnungen mit aufgenommen, da diese einfach nachzuvollziehen sind und einen Mehrwert bietet.

Durch diese Systemgrenzen sollte einerseits Hecht eine für den Anfang ausreichende Datengrundlage schaffen, um Kunden eine Auskunft über die Emissionen für die Produktion deren Anlagen zu geben. Zudem können in Zukunft die Einsparungen der CO2e aufzeigt werden. Andererseits ist der Aufwand für das Einpflegen der Daten für Fertigungsbetriebe noch zumutbar, weshalb erwartet wird, dass einige der Fertigungsbetriebe sich die Zeit nehmen, um dieses Formular auszufüllen. Außerdem sollte den

[60] Vgl. (act Schweiz, 2023)

Fertigungsbetrieben bewusst gemacht werden, dass der Ausstoß an CO2e bei der Herstellung der Anlagen in Zukunft auch als Kriterium für eine Kaufentscheidung herangezogen werden kann.

4.1.2 Hilfe zur Erfassung der Daten

Um die Fertigungsbetriebe bei der Bearbeitung der Tabelle zu unterstützen, wird eine Hilfestellung zur Erfassung der benötigten Daten angeboten. Dies führt zu einer Zeitersparnis bei den Fertigungsbetrieben. In der folgenden Tabelle wird für die jeweiligen Subkategorien der betrachteten Kategorien eine Erklärung für die Bestimmung der Daten aufgeführt.

		Daten
1.1	Erdgas Heizöl Biogas	Lieferbelege und Rechnungen eingekaufter Primärenergieträger in kWh, Messung des Verbrauchs mithilfe von Zählerständen
1.2	Benzin Diesel Autogas (LPG) Erdgas (CNG)	Menge an Kraftstoffen in Liter → Nachweis durch Rechnungen, Tankquittungen, Tankkarte, Lieferbelege
1.3	THG-Emissionen aus chemischen Prozessen	Ermittlung der Leckage durch Rechnungen mit Angabe der Nachfüllmenge von Kühlmitteln
1.4	Direkte Emissionen von THG	Produktionsdaten oder Verbrauchsmenge der Produkte oder Zählerstände
		Daten
2.1	Strom PV-Anlage	Eingekaufter Strom in kWh → Rechnungen, Zählerstände Analyse des eigenerzeugten Stroms in kWh
2.2	Dampf	Menge an eingekauftem Dampf, Fernwärme/-kälte → Messung durch Rechnungen oder Zählerstände
2.3	Fernwärme/-kälte	
Scope 3: Kategorie		**Daten**
3.1	Edelstahl	Menge an eingekauften Edelstahl in kg → Rechnungen
3.3	PV-Anlage	Analyse des eigenerzeugten Stroms in kWh
3.4 & 3.9	LKW Sattelzug Bahntransport Schifftransport Flugzeugtransport	Bestimmung der Gewichte der eingekauften Waren (t), der zurückgelegten Distanz der Waren (km) und der Art des Transports → Angabe in tkm

3.5	Abfall	Abfallmenge nach Art der Entsorgung
3.6	Geschäftsreisen durch PKW Bahn Flugzeug	Auswertung der gebuchten Reisen durch die Personalabteilung
3.7	Pendeln mit PKW Zug	Auswertung durch Personalabteilung oder Befragung der Mitarbeiter (Arbeitstage im Berichtsjahr, zurückgelegte Kilometer, Transportmittel)

Tabelle 3: Hilfe zur Erfassung der Daten[61]

4.1.3 Vorstellung der Excel Tabelle

Die für die Fertigungsbetriebe erstellte Excel-Tabelle ist in die Blätter Bedienungshinweise, Annahmen, Datenerfassung, Gesamtübersicht, Anwendung auf eine Anlage und Blätter zu komplexeren Kategorien wie beispielsweise Transport unterteilt. Das Blatt „Annahmen“ geht auf die Systemgrenzen ein, welche im Kapitel 4.1.1 der Bachelorarbeit erklärt wurden. Bei der „Datenerfassung“ wird für den Benutzer erklärt, wie die notwendigen Daten erhoben werden können (in Anlehnung an 4.1.2).

Das Blatt „Gesamtübersicht“ wird im Folgenden dargestellt:

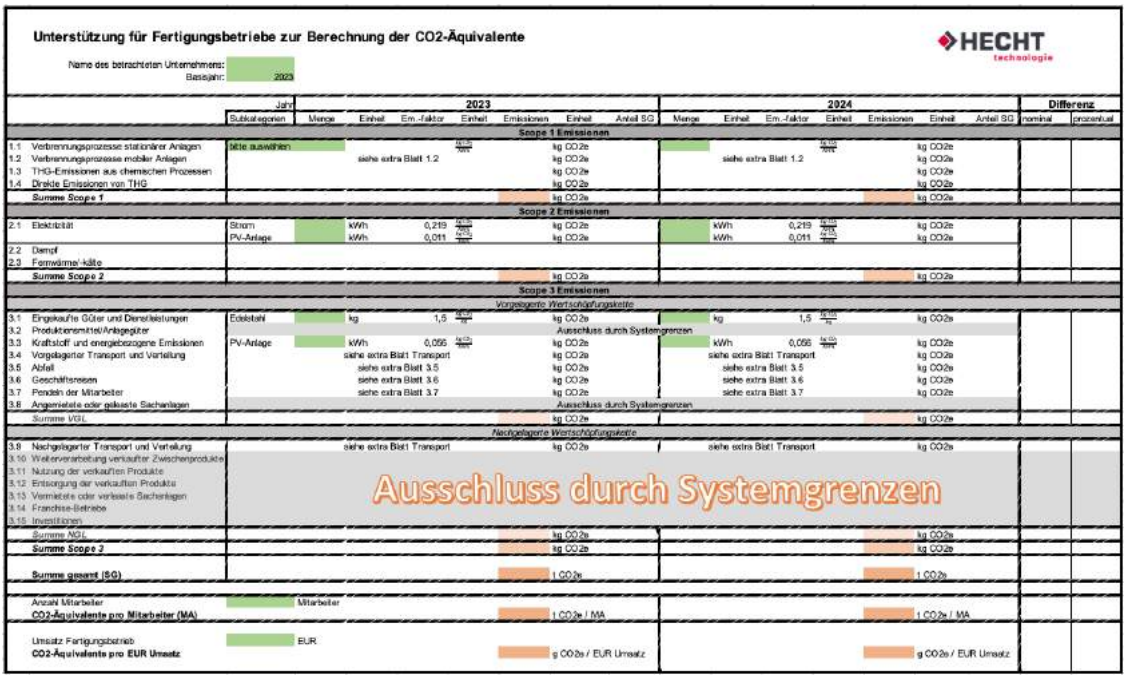


Abbildung 10: Gesamtübersicht Emissionen

Hier werden die Emissionen gemäß dem GHG Protocol kategorisiert. Es werden die ausgeschlossenen Kategorien gesperrt und Nutzer kann ausschließlich die grünen Zellen bearbeiten. Die hell-orangen Zellen liefern Zwischenergebnisse der vor- und nachgelagerten Emissionen aus dem Scope 3. Die orangen Zellen liefern Ergebnisse zu den

[61] Vgl. (EnergieAgentur NRW, 2022 S. 2ff)

Gesamtemissionen, den Emissionen der jeweiligen Scopes, den Emissionen pro Mitarbeiter und den Emissionen pro EUR Umsatz. Die Berechnung der Emissionen pro Kategorie erfolgt gemäß der in Kapitel 2.4.2 vorgestellten Formel. Die Emissionsfaktoren der jeweiligen Kategorien wurden recherchiert und die Quellenangaben können im Anhang 2 nachvollzogen werden. Außerdem werden in dieser Excel-Tabelle einerseits die Berechnungen für das Basisjahr als auch für das Folgejahr aufgezeigt. Dadurch kann die Differenz sowohl nominal als auch prozentual berechnet werden und die Fertigungsbetriebe können nachvollziehen, ob Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen in bestimmten Kategorien wirksam waren. Bei komplexeren Kategorien wird in der Gesamtübersicht nur der Emissionswert für die jeweilige Kategorie angezeigt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Berechnungen auf einem separaten Blatt in dieser Datei durchgeführt. Für die Kategorie 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen sieht dies wie folgt aus:

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 1 Emissionen																	
1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen																	
Benzin			l	2,32	kg/l		kg CO2e			l	2,32	kg/l		kg CO2e			
Diesel			l	2,65	kg/l		kg CO2e			l	2,65	kg/l		kg CO2e			
Autogas (LPG)			l	1,79	kg/l		kg CO2e			l	1,79	kg/l		kg CO2e			
Erdgas (CNG)			l	1,63	kg/l		kg CO2e			l	1,63	kg/l		kg CO2e			
Summe 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen							kg CO2e							kg CO2e			

Abbildung 11: Berechnungen 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen

Das Blatt „Bedienungshinweise“ erklärt den Nutzer dieser Datei, worauf bei der Bearbeitung der Tabelle zu achten ist. Dies ist an die Erklärung in diesem Kapitel der Bachelorarbeit angelehnt. Eine Übersicht aller Excel-Blätter der Datei ist im Anhang eingefügt.

4.2 Praxisbeispiel: Numberger GmbH

4.2.1 Kurzvorstellung der Numberger GmbH

Die Numberger GmbH ist ein Betrieb, der für Hecht fertigt, und beschreibt sich selbst wie folgt: „Numberger Technologies ist Ihr zuverlässiger Partner bei technologisch hochwertigen Metallkomponenten in den Bereichen Anlagen- und Maschinenbau, Kläranlagen, Lebensmittelkomponenten, Sonderkonstruktionen, Einzelteilfertigung und Prototypenbau.“[62]

Eine Besonderheit der Numberger GmbH ist, dass diese sich überdurchschnittlich viel mit Umweltthemen auseinandersetzt. Das Unternehmen achtet darauf, dass das Umweltmanagement kontinuierlich verbessert wird. Dabei werden auch einige Schritte vorgenommen, die innerhalb des Unternehmens als sinnvoll angesehen werden, auch, wenn diese nicht gesetzlich verpflichtend sind. Eine wichtige Maßnahme zur

[62] (Numberger GmbH, 2023a)

Verbesserung des Umweltmanagements ist das Überwachen von Anlagen, Produkten, Emissionen und Entsorgung.[63] Um die Umweltbilanz aufzubessern, wurde für das Unternehmen 2016 ein neues Gebäude gebaut, welches der Verwaltung und Fertigung dient. Dieses Gebäude ist energieeffizient und wurde mit einer Photovoltaik-Anlage ausgestattet.[64]

Schließlich wurde bei der Numberger GmbH im Jahr 2018 eine Analyse der CO2-Emissionen innerhalb des Unternehmens durchgeführt.

4.2.2 Datenerhebung bei Numberger

Bei der Numberger GmbH wurden für die Datenerhebung natürlich zum einen Rechnungen und Messungen von Zählerständen verwendet. Zum anderen werden im Unternehmen aber auch Tools der Anbieter „volkszaehler“ und „Solarautonomie“ benutzt:

„volkszaehler.org ist ein freier intelligenter Stromzähler im Selbstbau, bei dem die anfallenden Stromprofile unter der Kontrolle des Nutzers verbleiben.“[65] Der Volkszaehler besteht aus vier Modulen und kann nicht als fertiges Gerät erworben werden. Diese Module haben die Funktionen Messung, Verarbeitung, Speicherung und Auswertung der Daten. Das Modul zur Messung wird normalerweise von einem Elektriker im Schaltschrank eingebaut. Alle anderen Module können selbst nachgebaut werden. Durch den Volkszaehler können somit Daten über eine Weboberfläche analysiert werden. Dabei können die Verbrauchsdaten für bestimmte Zeiträume beobachtet werden und eine Anzeige der aktuellen Leistung ist ebenfalls möglich.[66] Somit können die Verbräche für verschiedene Kategorien, wie beispielsweise Licht oder für den Laserschneider bei der Numberger GmbH analysiert werden.

Mit den Geräten von Solarautonomie, welche im Gegensatz zu den Modulen von volkszaehler als fertige Geräte erworben werden können, können zusätzlich auch Daten zur Energieerzeugung (mit der Photovoltaik Anlage) erfasst, verarbeitet, gespeichert und analysiert werden.[67] Zusammen mit den Daten für die Verbräuche kann somit ermittelt werden, wann der Bedarf des Gebäudes durch die Eigenerzeugung abgedeckt wird und zu welchen Tageszeiten Strom bezogen werden muss.

4.2.3 Auswertung der Daten

Simon Eder, der Geschäftsführer der Numberger GmbH, hat seine Daten zu den CO2e im Jahr 2018 in seinem Unternehmen zur Verfügung gestellt. Die Emissionen wurden ein wenig anders erhoben als in dem Formular, welches in Kapitel 4.1.3 vorgestellt

[63] Vgl. (Numberger GmbH, 2023b)
[64] Vgl. (Numberger GmbH, 2023c)
[65] (volkszaehler.org, 2023)
[66] Vgl. (volkszaehler.org, 2023)
[67] Vgl. (Solarautonomie GmbH, 2023)

wurde. Deswegen sind einige Kategorien leer geblieben, da keine Daten dazu verfügbar sind. Eine Übersicht der Daten der Numberger GmbH ist im Folgenden zu sehen:

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens: Numberger GmbH
Basisjahr: 2018

HECHT technologie

		Jahr					2018		
		Subkategorien	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG
		Scope 1 Emissionen							
1.1	Verbrennungsprozesse stationärer Anlagen	bitte auswählen						kg CO2e	
1.2	Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen			siehe extra Blatt 1.2			15900	kg CO2e	9,4%
1.3	THG-Emissionen aus chemischen Prozessen							kg CO2e	
1.4	Direkte Emissionen von THG							kg CO2e	
	Summe Scope 1						15900	kg CO2e	9,4%
		Scope 2 Emissionen							
2.1	Elektrizität	Strom	160000	kWh	0,277	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	44320,00	kg CO2e	26,2%
		PV-Anlage	200000	kWh	0,011	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	2204	kg CO2e	1,3%
2.2	Dampf								
2.3	Fernwärme/-kälte								
	Summe Scope 2						46524	kg CO2e	27,5%
		Scope 3 Emissionen							
		Vorgelagerte Wertschöpfungskette							
3.1	Eingekaufte Güter und Dienstleistungen	Edelstahl		kg	1,5	$\frac{kg\ CO_2}{kg}$		kg CO2e	
3.2	Produktionsmittel/Anlagegüter								
3.3	Kraftstoff und energiebezogene Emissionen	PV-Anlage	200000	kWh	0,056	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	11142	kg CO2e	6,6%
3.4	Vorgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			70654,8	kg CO2e	41,8%
3.5	Abfall			siehe extra Blatt 3.5			180	kg CO2e	0,1%
3.6	Geschäftsreisen			siehe extra Blatt 3.6			0	kg CO2e	0,0%
3.7	Pendeln der Mitarbeiter			siehe extra Blatt 3.7			13090	kg CO2e	7,7%
3.8	Angemietete oder geleaste Sachanlagen								
	Summe VGL						95066,8	kg CO2e	56,3%
		Nachgelagerte Wertschöpfungskette							
3.9	Nachgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			11450	kg CO2e	6,8%
3.10	Weiterverarbeitung verkaufter Zwischenprodukte	Ausschluss durch Systemgrenzen							
3.11	Nutzung der verkauften Produkte								
3.12	Entsorgung der verkauften Produkte								
3.13	Vermietete oder verleaste Sachanlagen								
3.14	Franchise-Betriebe								
3.15	Investitionen								
	Summe NGL						11450	kg CO2e	6,8%
	Summe Scope 3						106516,8	kg CO2e	63,0%
	Summe gesamt (SG)						168,94	t CO2e	
	Anzahl Mitarbeiter	21	Mitarbeiter						
	CO2-Äquivalente pro Mitarbeiter (MA)						8,04	t CO2e / MA	
	Umsatz Fertigungsbetrieb	3000000	EUR						
	CO2-Äquivalente pro EUR Umsatz						56,31	g CO2e / EUR Umsatz	

Abbildung 12: Gesamtübersicht Numberger GmbH

Durch das Einpflegen der Daten in das erstellte Excel-Formular können schließlich Werte für die CO2e pro Mitarbeiter und pro EUR Umsatz berechnet werden. Auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten ergibt das *8,04 t CO2e / Mitarbeiter* und *56,31 g CO2e / EUR Umsatz*. Diese Daten wurden anschließend visualisiert, um die Verteilung der Scopes und der Kategorien innerhalb eines Scopes zu verdeutlichen.

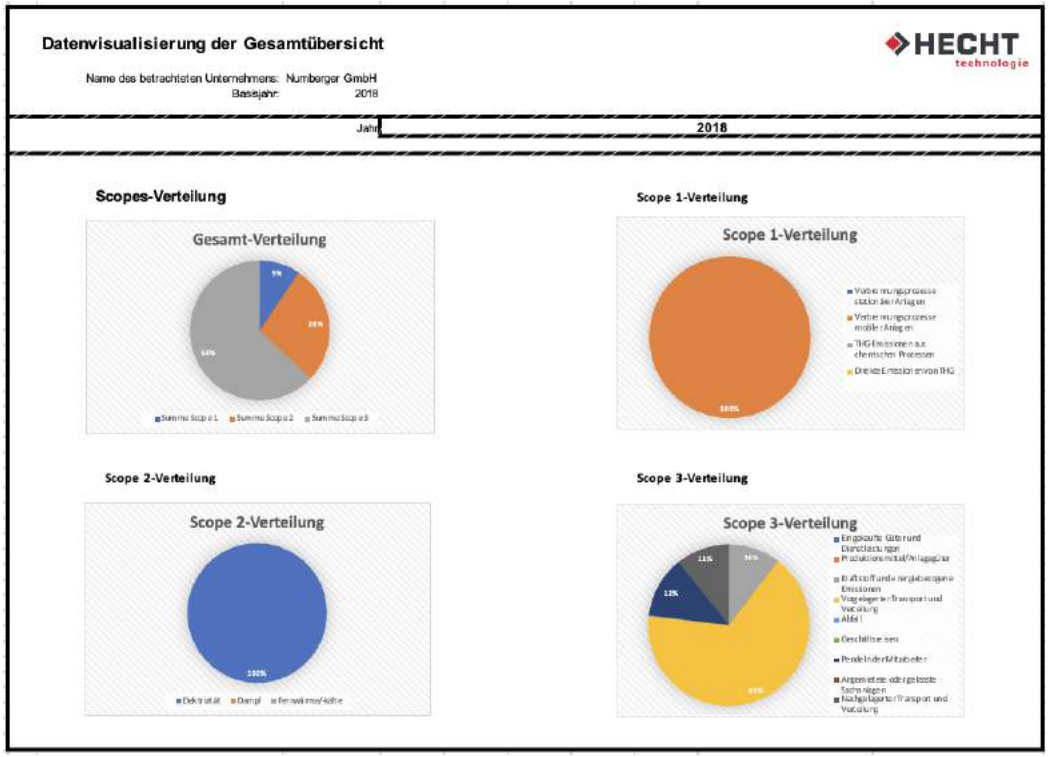


Abbildung 13: Visualisierung der Gesamtübersicht der Numberger GmbH

Da es keine Vergleichsdaten von anderen Fertigungsbetrieben gibt, ist es zum jetzigen Stand noch nicht möglich, eine Bewertung zu den Emissionen der Numberger GmbH durchzuführen. Jedoch hat die Numberger GmbH schon einen Vorteil gegenüber anderen Fertigungsbetrieben, da diese schon Basisdaten über die Emissionen gesammelt und ausgewertet hat. Durch gezielte Maßnahmen kann der Fertigungsbetrieb jetzt an bestimmten Kategorien Verbesserungen durchführen und im Anschluss überprüfen, ob diese Maßnahmen sich als wirksam erwiesen haben. Aufgrund der steigenden Bedeutung von Nachhaltigkeit als Kaufkriterium, hat die Numberger GmbH somit einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Fertigungsbetrieben.

4.3 Einsparpotentiale für das metallverarbeitende Gewerbe

Mit der im Kapitel 4.1 vorgestellten Excel-Tabelle können Fertigungsbetriebe nun die Gesamtemissionen für das Unternehmen berechnen. Dies ist ein wichtiger Schritt, da es laut Gerhard Knienieder, dem Geschäftsführer des Werkzeugherstellers Emuge, in ein paar Jahren notwendig sein wird, den CO2-Fußabdruck der einzelnen Produkte nachzuweisen und schließlich auch zu reduzieren.[68] Ein wichtiger Beitrag zu den CO2-Emissionen liefert dabei die Einsparung von Energie: In der Metallerzeugung wurde zwischen

[68] Vgl. (NC Fertigung, 2020)

1995 und 2006 31,3% der Endenergie eingespart. Bei der Metallverarbeitung hingegen waren es im selben Zeitraum 15,2%.[69]

Da die Bedeutung von Energieeffizienz in diesen Sektoren essenzieller wird, werden im Folgenden einige Einsparpotentiale für Fertigungsbetriebe im metallverarbeitenden Gewerbe aufgezeigt.

4.3.1 Material

Das erste Einsparpotential im Bereich Material ist die Beschaffung. Bei der Herstellung von Stahl gibt es bezüglich der Emissionen wesentliche Unterschiede: Man unterscheidet besonders zwischen den beiden Verfahren Hochofenroute und Elektrolichtofen.

Bei der Hochofenroute wird zuerst aus Eisenerz Roheisen erzeugt, welches dann schließlich über einen Stahlkonverter zu Rohstahl wird.[70] Besonders im Hochofen entsteht eine große Menge an CO2, da in diesem Prozessschritt der Kohlenstoff vom Eisenerz abgespalten wird. Dafür wird meist das in Kokereien hergestellte Koks verwendet. Dies wird im Hochofen erhitzt, wodurch mit dem Sauerstoffgehalt der Luft Kohlenmonoxid entsteht. Das Kohlenmonoxid bindet schließlich den Kohlenstoff des Eisenerzes, wodurch es sich zu CO2 umwandelt. Auch in der Umwandlung von Roheisen zu Stahl im Konverter entstehen weitere Emissionen, da Bestandteile wie CO2 oder Silicium Partikel entfernt werden.[71]

Weniger Emissionen entstehen dagegen im Elektrolichtofen. Statt Roheisen wird hier Stahlschrott eingeschmolzen und wiederverwertet. Bei diesem Verfahren entsteht zwar wenig CO2, aber es wird viel Strom benötigt, der derzeit noch überwiegend aus Kohlekraftwerken stammt. Außerdem gibt es weltweit zu wenig Schrott, um komplett auf dieses Verfahren umzusteigen.[72] Zusätzlich kann mit dieser Methode nicht jede gewünschte Stahlqualität erzielt werden. Dennoch ist der Rückgang des Energieverbrauchs bei der Stahlerzeugung bereits heute zu einem großen Teil auf den steigenden Anteil des Elektrolichtbogenverfahrens zurückzuführen.[73]

Obwohl die Stahlerzeugung im Elektrolichtofen effizienter ist als im Hochofen, wird weiter an einem noch umweltfreundlichen Verfahren geforscht. Derzeit gibt es zwei verschiedene Verfahren, die noch nicht vollständig ausgereift sind, aber ein großes Potential haben:

Einerseits kann als Reduktionsmittel anstatt Kohlenstoffmonoxid auch Wasserstoff verwendet werden. Wasserstoff reagiert mit dem Kohlenstoff des Eisenerzes dann

[69] Vgl. (Sauer, et al., 2017 S. 103)
[70] Vgl. (Fleiter, et al., 2013 S. 312)
[71] Vgl. (Brockmann, 2018)
[72] Vgl. ebd.
[73] Vgl. (Fleiter, et al., 2013 S. 312)

schließlich zu Wasserdampf, welches vollkommen unschädlich ist. Das große Problem dieser Methode ist jedoch, dass reiner Wasserstoff nicht natürlich vorkommt, sondern mittels Elektrolyse hergestellt wird. Dieser Prozess ist sehr energieintensiv und macht nur Sinn, wenn man grüne Energie dafür einsetzt. Einige Unternehmen, wie beispielsweise Voestalpine oder Salzgitter, arbeiten bereits daran „grünen“ Wasserstoff herzustellen. Allerdings wird es schwierig sein, in Zukunft genügend grüne Energie für diesen Prozess zu haben, da dieser in den nächsten Jahren auch für die Energie-, Wärme- und Verkehrswende immer wichtiger wird. Der Energiebedarf für diesen Prozess ist achtmal höher als beim Elektrolichtofen und 25-mal höher als bei der Hochofenroute.[74]

Das deutsche Unternehmen Thyssenkrupp will anfallende Gase weiterverwenden. Dabei werden Gase, wie CO2, Stickstoff, Kohlenmonoxid und Wasserstoff erst aufgefangen und im nächsten Schritt schließlich für die Produktion von Kraftstoffen, Kunststoffen und Düngemitteln verwendet werden. Es ist das Ziel, 20 Millionen Tonnen des jährlichen CO2-Ausstoßes in der deutschen Stahlindustrie zu nutzen. Dies entspricht gut einem Drittel des gesamten Ausstoßes.[75]

Wie in diesem Abschnitt dargestellt, können die Emissionen für die Stahlerzeugung bereits jetzt stark abweichen. Jedoch wird der Unterschied in der Zukunft durch den Einsatz von erneuerbaren Energien nochmal größer. Deshalb ist es eine wichtige Aufgabe der Fertigungsbetriebe, sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen, um die internen Emissionen zu senken.

Ein weiterer Ansatz, um Emissionen zu reduzieren sind Leichtbaulösungen. „Leichtbauweise ist eine Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtseinsparung zum Ziel hat. Durch den optimierten Materialeinsatz sollen gleichzeitig auch Ressourcen und Energie eingespart werden.“[76] Die Minimierung des Materialeinsatzes führt schließlich dazu, dass CO2-Emissionen eingespart werden.[77] Durch Leichtbaulösungen können 19% der direkten und indirekten Energie eingespart werden. Durch die Verringerungen der bewegten Massen werden schließlich geringer dimensionierte Motoren benötigt, welche zusätzlich auch günstiger in der Anschaffung sind. Diese führen schließlich zu geringeren Betriebskosten. Die indirekte Energieeinsparung ist auf den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen zurückzuführen. Bei diesen kann die Wärmedehnung teilweise sogar auf null reduziert werden. Dadurch ist in Hallen ein größeres Temperaturfeld zulässig und somit kann indirekte Energie für die Klimatisierung eingespart werden.[78] Darüber

[74] Vgl. (Brockmann, 2018)
[75] Vgl. ebd.
[76] (Leichtbau BW, 2022)
[77] Vgl. (Leichtbau BW, 2022)
[78] Vgl. (Bauernhansl, 2016 S. 24)

hinaus können Materialeinsparungen von circa 30% erzielt werden, was einerseits ökologisch vorteilhaft ist und andererseits die Herstellkosten um circa 7% senken kann.[79]

Außerdem führt eine gesteigerte Materialeffizienz zu einer Verringerung der Emissionen. Dabei können Werkstoffe mit energieintensiven Bearbeitungsprozessen durch Materialien, die einen geringeren Energiebedarf haben, ersetzt werden. Auch dünnere Verpackungen leisten einen positiven Beitrag zur Materialeffizienz. Ein weiteres Potential gibt es im Bereich Recycling: Die Erzeugung von wiederaufbereiteten Materialien ist deutlich weniger energieintensiv. Häufig können Recycling-Materialien sogar ohne weitere Aufbereitung eingesetzt werden. Nicht nur die Wiederverwendung von Stahl leistet einen wichtigen Beitrag zur Energieeinsparung. Auch das Recycling anderer Materialien wie Kunststoffe oder Baustoffe trägt positiv zur Energiebilanz bei. Durch die Ausschöpfung des Recyclingpotenzials kann der industrielle Energiebedarf um mindestens 10 % gesenkt werden.[80]

4.3.2 Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren sind allgemein in die Hauptgruppen Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften unterteilt.[81] Die Verfahren unterscheiden sich einerseits in der erreichbaren Genauigkeit, welche in ISO-Toleranzgrad-Qualität und in Rautiefe unterteilt ist. Andererseits unterscheiden sie sich auch in der Werkstoffausnutzung und dem Energieaufwand.[82] In der folgenden Tabelle kann die Werkstoffausnutzung und der Energieaufwand der Fertigungsverfahren Gießen *(Urformen)*, Sintern *(Urformen)*, Kalt- oder Halbwarmfließpressen *(Umformen)*, Warmgesenkschmieden *(Umformen)* und spanende Fertigungsverfahren *(Trennen)* entnommen werden:

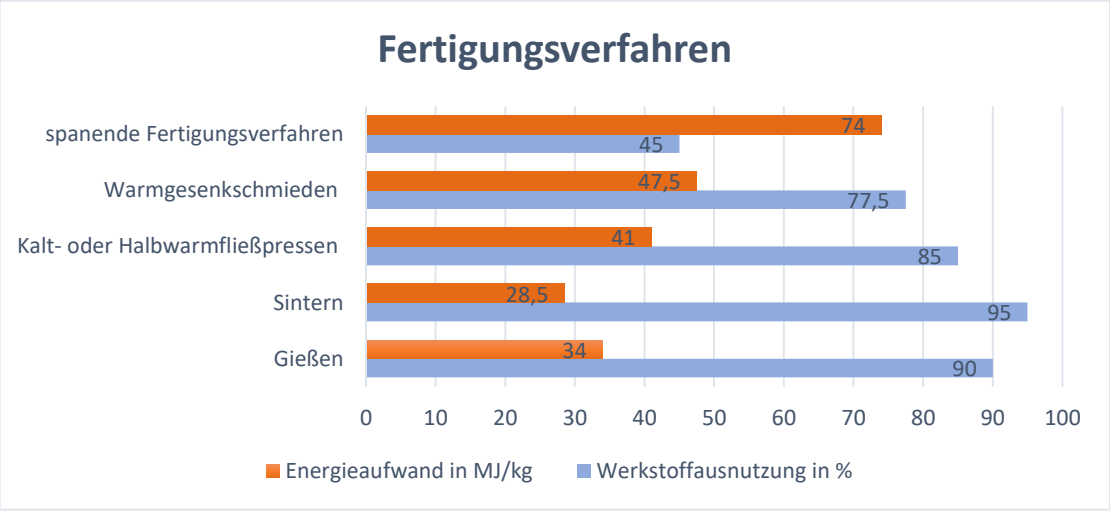


Abbildung 14: Werkstoffausnutzung und Energieaufwand von verschiedenen Fertigungsverfahren[83]

[79] Vgl. (Hertrich, 2016)
[80] Vgl. (Sauer, et al., 2017 S. 147)
[81] Vgl. (Fritz, et al., 2015 S. 3)
[82] Vgl. (Fritz, et al., 2015 S. 4-5)
[83] Vgl. ebd.

Wie in dieser Abbildung zu sehen ist, unterscheiden sich die Fertigungsverfahren bezüglich dem Energieaufwand und der Werkstoffausnutzung. Der Fertigungsbetrieb sollte darauf achten, dass das umweltfreundlichste Fertigungsverfahren (geringster Energieaufwand und höchste Werkstoffausnutzung) gewählt wird, welches trotzdem die geforderte Qualität gewährleistet. Durch neue Technologien und die Diffusion neuer Werkstoffe entstehen neue Potentiale bei Umformprozessen. Das Ziel ist die sogenannte Net-Shape-Technologie, bei der die Endkontur des Werkstücks schon in einem möglichst frühen Bearbeitungsschritt erreicht wird. Dadurch werden sekundäre Arbeitsschritte, wie das Zerspanen, eingespart. Dies kann eine Ressourceneffizienzsteigerung von bis zu 25% erreichen.[84]

4.3.3 Neuinvestitionen

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Emissionen ist die Durchführung von Neuinvestitionen. Im Folgenden wird besonders auf die Kategorien Gebäude, Software und Fertigungsmaschinen eingegangen:

Im Punkt *Gebäudesanierung* liegt der Fokus auf den Themenfeldern Heizung, erneuerbare Energien und Isolierung:

Im Vergleich zum Wohnungsbau stellen sich bei Hallenheizungen einige Herausforderungen: Die Raumhöhen sind hoch, die Grundflächen sind groß und es gibt unterschiedliche Bereiche, in denen eine bestimmte Temperatur benötigt wird. Für Hallen, die über eine eigene Photovoltaik Anlage verfügen, sind zentrale Heizsysteme besser geeignet als dezentrale.[85] „Bei zentralen Heizungssystemen wird die Wärme in einem separaten Heizungsraum erzeugt und dann von dort über Rohrsysteme und Lüftungsanlagen in den Raum befördert.“[86] Dadurch wird zusätzlich elektrische Energie benötigt und es entstehen Wärmeverluste beim Transport. Außerdem folgt daraus ein erhöhtes Ausfallrisiko, da die Wärme an nur einem Brenner entsteht. Im Gegensatz dazu wird bei dezentralen Heizungssystem die Wärme direkt dort erzeugt, wo sie benötigt wird. Für Hallen eignen sich besonders Strahlungsheizungen.[87] „Als Strahlungsheizung bezeichnet man eine Heizung, die ihre Wärme vorwiegend per Wärmestrahlung an die im direkten Strahlungsbereich erfassten Gegenstände und Körper abgibt.“[88] Sie haben den Vorteil, dass die Wärme direkt auf Menschen und Objekte einwirkt, was für ein angenehmeres Raumklima sorgt. Außerdem erzeugt Strahlungswärme keine Zugluft und der Betrieb ist geräuschfrei und günstig im Vergleich zu anderen Heizungssystemen.[89] Strahlungsheizungen können dabei einerseits an die Zentralheizung angeschlossen werden. Für diesen

[84] Vgl. (Sauer, et al., 2017 S. 147)
[85] Vgl. (ETAPart, 2023a)
[86] Ebd.
[87] Vgl. ebd.
[88] (energie-experten, 2022)
[89] Vgl. (ETAPart, 2023a)

Anwendungsfall gibt es Industriefußbodenheizungen, die die Wärme über den Fußboden an den darüberliegenden Raum abgeben. Alternativ können Deckenstrahlplatten eingesetzt werden. Dabei wird die Wärme von oben nach unten abgestrahlt. Diese beiden Heizungssysteme können im Sommer auch zum Kühlen benutzt werden. Andererseits gibt es auch dezentrale Strahlungsheizungen in Form von Hell- und Dunkelstrahler. Beide Systeme verbrennen in der Regel Erd- oder Flüssiggas und strahlen die Wärme von der Decke in die Halle. Der wesentliche Unterschied dieser zwei Systeme ist, dass die Abgase beim Hellstrahler in der Regel im Raum bleiben, während sie beim Dunkelstrahler über das Dach nach draußen geführt werden.[90] Durch die Funktionsweise der Dunkelstrahler können somit circa 15% an Energie eingespart werden, da sich durch die Infrarotstrahlen kein Wärmestau unter dem Dach bildet.[91]

Bezüglich dem Themenfeld erneuerbare Energien sollten sich Fertigungsbetriebe mit der Anschaffung einer Photovoltaik Anlage auseinandersetzen. Die Anzahl der Sonnenstunden steigt in Deutschland an, während die Menge an den fossilen Brennstoffen Kohle, Erdöl und Erdgas immer weniger wird. Somit wird eine Photovoltaik Anlage in Zukunft noch mehr umweltfreundlichen Strom erzeugen als zum jetzigen Zeitpunkt. Für eine Kilowattstunde Strom werden circa 50 Gramm CO2e ausgestoßen.[92] Im Vergleich dazu fallen für eine Kilowattstunde Strom für den Strommix in Deutschland THG-Emissionen in Höhe von 485 g CO2e an.[93] Wie viele Emissionen schließlich durch einen Fertigungsbetrieb eingespart werden können, wird am Beispiel der Numberger GmbH verdeutlicht: Insgesamt hatte das Unternehmen im Jahr 2018 einen Energiebedarf von 360.000 Kilowattstunden, wovon 200.000 Kilowattstunden auf die Eigenerzeugnis durch die Photovoltaik Anlage zurückzuführen sind. Als Emissionsfaktoren wurden für den Strommix 277 g CO2e / Kilowattstunde und für die Eigenerzeugnis 47 g CO2e / Kilowattstunde angenommen. Somit konnte der Fertigungsbetrieb circa 46 Tonnen CO2e durch die Photovoltaik Anlage einsparen, was eine prozentuale Einsparung von -53,87% ergibt. Hochgerechnet auf die Gesamtemissionen im Unternehmen macht dies eine prozentuale Einsparung von mehr als 20% aus.

Für einige Fertigungsbetriebe kann eine nachträgliche Dämmung der Fertigungshalle sinnvoll sein. Ältere Hallen hatten zur Bauzeit deutlich lockerere Auflagen an die Energieeffizienz als zur jetzigen Zeit, weshalb diese besonders von hohen Wärmeverlusten betroffen sind. In einigen Fällen empfiehlt es sich in eine Dämmung der Halle zu investieren. Es kann beispielsweise ein spezieller Spritzschaum am Dach und an den Wänden angebracht werden, welcher vergleichsweise günstig ist und zusätzlich einfach montiert

[90] Vgl. (Rosenkranz, 2020)
[91] Vgl. (Vacurant, 2023)
[92] Vgl. (Zolar, 2020)
[93] Vgl. (Umwelt Bundesamt, 2022d)

werden kann. Besonders im Zusammenspiel mit einer Strahlungsheizung können somit die Wärmeverluste deutlich reduziert werden.[94]

Eine weitere Kategorie zur Reduzierung der Emissionen ist die Investition in die *Digitalisierung*: Um die Daten zu den Verbräuchen und zur Stromerzeugung durch die Photovoltaik Anlage messen, verarbeiten, speichern und analysieren zu können, können die im Kapitel 4.2.2 vorgestellten Tools (oder ähnliche) verwendet werden. Diese Daten bilden eine wichtige Grundlage für eine intelligente und verbrauchsoptimierte Produktionsplanung.

Außerdem kann eine Umstellung auf ein modernes, auf Nachhaltigkeit angelehntes CAM-System sinnvoll sein. CAM kommt aus dem Englischen und steht für „computer-aided manufacturing“ und bedeutet rechnergestützte Fertigung. Dadurch können Fertigungsprozesse simuliert und somit auf Fehler und Kollisionen überprüft werden.[95] Es ist besonders wichtig, dass CAM-Systeme einfach zu bedienen sind und schnell zum fertigen Produkt führen. Außerdem ist eine hohe Reproduzierbarkeit essenziell, um die Quote für Gut-Teile zu erhöhen. Somit können wichtige Ressourcen eingespart werden.[96]

Bitkom, der Digitalverband Deutschlands, hat im Jahr 2021 eine Studie mit dem Thema „Klimaeffekte der Digitalisierung“ vorgestellt. In dieser Studie werden sieben Anwendungsbereiche digitaler Technologien untersucht, bei denen viele Emissionen eingespart werden können. Einer dieser sieben Anwendungsbereiche ist die industrielle Fertigung. Als Ergebnisse liefert die Studie Prognosen, wie hoch die CO2-Einsparungen in Deutschland in den verschiedenen Anwendungsbereichen sind. Es wird zwischen einer moderaten Entwicklung, wie sie aktuell in Deutschland stattfindet, und einer beschleunigten Digitalisierung unterschieden. In der industriellen Fertigung können bis zum Jahr 2030 bei einer beschleunigten Entwicklung 64 Megatonnen CO2 eingespart werden. Bei einer moderaten Entwicklung sind es 37 Megatonnen CO2. Die Technologien Automatisierung in der Produktion und der sogenannte Digitale Zwilling stehen im Vordergrund. Ein digitaler Zwilling ist die virtuelle Abbildung von Produktions- und Betriebszyklen. Dadurch können Verfahren zuerst digital anstatt am realen Objekt getestet werden. Dies führt zu einer Einsparung von Material, Energie und Ressourcen.[97]

Fertigungsbetriebe können sich zudem Gedanken über eine Investition in moderne und zuverlässige Fertigungsmaschinen machen. Diese haben einen optimierten Verbrauch, und gewährleisten auch eine langlebige Nutzung. Einige Maschinen arbeiten nach 25

[94] Vgl. (ETAPart, 2023b)
[95] Vgl. (idee-werk, 2023)
[96] Vgl. (NC Fertigung, 2020)
[97] Vgl. (Bitkom, 2021)

Jahren immer noch mit der gleichen Genauigkeit, weshalb weniger schlechte Teile produziert werden und schließlich Ressourcen eingespart werden können.[98]

4.3.4 Prozesse

Ein weiteres großes Feld mit Potentialen zur Einsparung von Emissionen sind Prozesse:

In einigen Fällen kann überschüssige Wärmeleistung in anderen Prozessen sinnvoll verwendet werden. Dadurch sinkt der Endenergieverbrauch und die Unabhängigkeit von externen Lieferanten steigt. Schätzungen zufolge ist das Abwärme-Potenzial in Deutschland bei 160 PJ/Jahr, was circa 6% des deutschen Endenergiebedarfs entspricht. Vor der Abwärmenutzung ist zuerst die Optimierung der Prozesse sinnvoll. Prozesse sollten im Wirkungsgradoptimum arbeiten und die Prozesstemperaturen sollten nur so hoch wie notwendig sein. Zudem sollte überprüft werden, ob eine bessere Isolation die Abwärme reduzieren kann und ob es einen alternativen Prozess gibt, der energetisch Vorteile bietet. Anschließend kann die Anwendbarkeit der Weiterverwendung der Prozesswärme geprüft werden. Es muss erprobt werden, ob eine prozessinterne Wärmerückgewinnung, eine Raumheizung, eine Kälteerzeugung oder eine Stromerzeugung aus diesem Prozess möglich ist. Außerdem sind noch weitere Charakterisierungen über die Wärmequelle vorzunehmen. Dabei ist es wichtig, wie hoch die Abwärme-Menge ist und zu welchen Zeiten die Wärmequelle liefert. Außerdem ist zu prüfen, welcher Bedarf durch das vorliegende Temperaturniveau gesättigt werden kann und wie groß der Abstand zwischen der Quelle und dem Endverbraucher ist. Somit können systematische Verkettungen von Prozessen erzeugt werden. Es wird ein Primärenergieträger in geeigneten hintereinander geschalteten Prozessen genutzt und die Restenergie kann zur Raumheizung genutzt werden.[99]

Ein weiterer Schritt zur Erreichung der Klimaneutralität ist die Technologie Carbon Capture and Storage *(Abkürzung: CCS)* (*deutsch:* Abscheiden und Speichern von CO2). Dabei wird entstehendes CO2 aufgefangen und schließlich am Eintritt in die Atmosphäre gehindert. Dies kann kurzfristig die Netto-Emissionen senken. Die Emissionen fallen zwar trotzdem an, jedoch haben sie keinen Einfluss auf das Klima. Dadurch sollen die THG besonders bei stark emittierenden industriellen Prozessen abgeschieden werden. CCS leistet auch einen wichtigen Beitrag für die Produktion von Wasserstoff, da bei diesem Prozess viele CO2-Emissionen anfallen. Da Wasserstoff auch in der Metallindustrie eine wichtige Bedeutung haben wird, leistet diese Technologie einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Umwelt. Im Prozess der Abscheidung ist jedoch noch eine Entschwefelung der Abgase notwendig, die wiederum einen hohen Energieaufwand hat. Es wird aktuell noch an Abscheidungsverfahren geforscht, welche weniger Energie benötigen.

[98] Vgl. (NC Fertigung, 2020)
[99] Vgl. (Sauer, et al., 2017 S. 137f)

Es ist noch unklar, was genau mit dem abgetrennten CO2 geschehen soll. Es gibt die Ansätze, dass das CO2 zur Entsorgung endgelagert wird oder jedoch später wieder Verwendung findet. In der Regel werden jedoch für beide Ansätze unterirdische Lager genutzt. Bestenfalls wird das CO2 in späteren Industrieprozessen wieder verwendet. Technisch ist das schon möglich, jedoch ist es trotzdem notwendig, die Emissionen einzulagern und weiter zu senken, da nur ein Bruchteil des weltweit ausgestoßenen CO2 wirtschaftlich genutzt werden kann.[100]

4.3.5 Mobilität und Logistik

Durch den Klimawandel ist Nachhaltigkeit im Supply Chain Management *(Abkürzung: SCM)* so wichtig wie noch nie zuvor. Man spricht dabei vom sogenannten Sustainable Supply Chain Management *(Abkürzung: SSCM)*. „SCM ist die integrierte prozessorientierte Planung und Steuerung der Waren-, Informations- und Geldflüsse über die gesamte Wertschöpfungs- und Lieferkette vom Kunden bis zum Rohstofflieferanten.“[101] Das SSCM hingegen berücksichtigt die Aspekte des Drei-Säulen Modells der Nachhaltigkeit - Ökologie, Ökonomie und Soziales. Es werden sowohl Herkunft als auch Verwendung und Entsorgung der Produkte beachtet. Die Haupttreiber für SSCM sind Management von Geschäftsrisiken, Realisierung von Leistungspotentialen und Erzeugung nachhaltiger Produkte.[102]

Die Umsetzung des SSCM erfolgt in der Regel in vier Schritten: Zuerst wird die Wesentlichkeitsanalyse durchgeführt. Es wird die Ist-Situation analysiert, sowie erste Schritte eingeleitet. Anschließend wird eine Nachhaltigkeitsstrategie erarbeitet. In diesem Schritt werden Chancen und Risiken bewertet und daraus eine Strategie abgeleitet. Der nächste Schritt ist die Umsetzung und das Monitoring. Hierbei werden bestimmte Maßnahmen umgesetzt und Kennzahlen für die Überprüfung des Fortschritts festgelegt. Zuletzt folgt die Berichterstattung, bei der die Ergebnisse beispielsweise in Berichten veröffentlicht werden und durch externe Auditoren überprüft werden.[103]

Eine frühzeitige Einführung des SSCM ist wichtig, da aufgrund der steigenden Bedeutung dieses Thema das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz *(Abkürzung: LkSG)* zunehmend strenger wird. Das LkSG verpflichtet bereits ab Anfang 2023 Unternehmen mit i.d.R. mehr als 3.000 Arbeitnehmer zur Überprüfung der Wertschöpfungskette. Dieser Schwellenwert sinkt ab 2024 auf 1000 Arbeitnehmer.[104] Wenn Unternehmen erst spät darauf reagieren, ist der Arbeitsaufwand nur mit den internen Ressourcen nicht mehr zu bewältigen. Dies macht auch für Fertigungsbetriebe Sinn, da nachhaltige Lieferketten

[100] Vgl. (Kretschmer, 2022)
[101] (Winterstein, et al., 2019)
[102] Vgl. (Ganse, et al., 2012 S. 261f)
[103] Vgl. ebd.
[104] Vgl. (PWC, 2022)

geschafften werden, welche sowohl weniger Emissionen verursachen als auch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Fertigungsbetrieben bieten.[105]

4.4 Methode zur Bewertung der CO2e für die Produktion von Anlagen

4.4.1 Vorstellung der entwickelten Methode

Die Methode zur Ermittlung der CO2e für die Fertigung einer Anlage basiert auf dem Excel-Formular, welches durch die Fertigungsbetriebe ausgefüllt werden kann. Durch die bereitgestellten Daten kann schließlich der Wert CO2e / EUR Umsatz im Fertigungsbetrieb ermittelt werden. Dieser Wert wird mit dem Auftragswert für die Fertigung im Fertigungsbetrieb multipliziert. Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$\frac{Emissionen\ (Gesamt\ im\ Fertigungsbetrieb)\ in\ CO2e}{Umsatz\ des\ Fertigungsbetriebs\ in\ EUR} \times Auftragswert\ (Anlage, Fertigungsbetrieb)\ in\ EUR = Emissionen\ für\ die\ Produktion\ der\ Anlage\ in\ kg\ CO2e$$

Diese Formel unterliegt der Annahme, dass der finanzielle Wert für die Fertigung auch proportional zu den freigesetzten Emissionen ist.

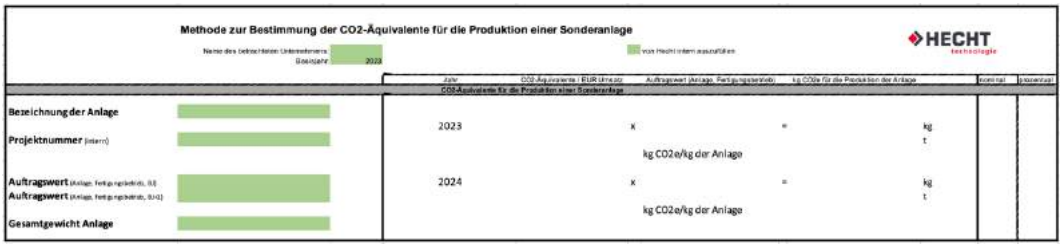
Im Anschluss daran wird der Wert „*Emissionen für die Produktion der Anlage in kg CO2e*“ durch das Gewicht der Anlage dividiert.

$$\frac{Emissionen\ für\ die\ Produktion\ der\ Anlage\ in\ kg\ CO2e}{Gesamtgewicht\ der\ Anlage\ in\ kg} = kg\ CO2e/kg\ der\ Anlage$$

Durch das Ergebnis dieser Formel kann nach dem Schaffen einer ausreichenden Datenbasis ermittelt werden, wie aufwendig und somit auch wie emittierend die Fertigungsverfahren sind.

Eine Implementierung dieser Methode in Excel wird im Folgenden gezeigt:

[105] Vgl. (Ganse, et al., 2012 S. 264)



Methode zur Bestimmung der CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

von Hecht intern auszufüllen

HECHT technologie

	Jahr	CO2-Äquivalente / EUR Umsatz	Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb)	kg CO2e für die Produktion der Anlage	kontrol	plausibel
	CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage					
Bezeichnung der Anlage	2023	x	=	kg t		
Projektnummer (intern)		kg CO2e/kg der Anlage				
Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb, 0,8) Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb, 0,41)	2024	x	=	kg t		
Gesamtgewicht Anlage		kg CO2e/kg der Anlage				

Abbildung 15: Implementierung der Methode in Excel

Grundsätzlich kommt es bei Hecht eher selten vor, dass zwei Projekte exakt identisch in verschiedenen Jahren gefertigt werden, jedoch bietet die Implementierung in Excel auch die Möglichkeit, die Emissionen für die Produktion bei der gleichen Anlage in zwei verschiedenen Jahren zu vergleichen. Damit kann überprüft werden, ob die Maßnahmen der Fertigungsbetriebe zur Reduktion der Emissionen wirksam waren.

4.4.2 Chancen und Risiken der Methode

Die erste Chance dieser Methode ist, dass Hecht einen Ist-Wert für die Emissionen einer Anlage erhält. Hecht kann bei einer erneuten Anfrage nach der Höhe der Emissionen für die Produktion einer Anlage einen Wert liefern. Dies bietet Hecht schließlich einen wichtigen Wettbewerbsvorteil, da laut Prognosen das Thema Nachhaltigkeit in Zukunft als Kaufkriterium wichtiger werden wird.[106] Auch für die Fertigungsbetriebe ist dieser Wert wichtig: Sie können mit dieser Methode ihre Maßnahmen zur Emissionsreduktion überprüfen. Durch eine jährliche Bearbeitung des vorgestellten Excel-Formulars kann schließlich die Wirksamkeit der eingeleiteten Maßnahmen überprüft werden und Fertigungsbetriebe können dadurch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Fertigungsbetrieben schaffen. Hecht kann wiederum damit werben, dass ihre Fertigungsbetriebe ihre Emissionen für die Produktion verringert haben. Da die Reduzierung der Emissionen auch mit Bonuszahlungen seitens der Kunden belohnt wird, können durch diese Methode sowohl Hecht als auch die Fertigungsbetriebe mehr Umsatz generieren und gleichzeitig Emissionen einsparen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass Hecht durch diese Methode in der Zukunft eine Einstufung der Nachhaltigkeit der Fertigungsbetriebe erreichen kann. Zum jetzigen Stand ist es intransparent, welche Fertigungsbetriebe wirklich nachhaltig wirtschaften, da Hecht nur vom Fertigungsbetrieb Numberger GmbH Daten hat. Wenn jedoch die Mehrzahl der Fertigungsbetriebe, welche Aufträge für Hecht annehmen, das Formular ausfüllen, kann Hecht in Zukunft einen Vergleich der Fertigungsbetriebe bezüglich der Nachhaltigkeit durchführen. Somit hat Hecht die Möglichkeit, dass bei einem Kunden, welcher viel Wert auf Nachhaltigkeit legt, der nachhaltigste Fertigungsbetrieb die Produktion abwickeln kann.

[106] Vgl. (Kerrad, 2021)

Ein Problem dieser Methode ist, dass die Fertigungsbetriebe das Formular selbst ausfüllen müssen. Daraus folgt einerseits, dass es kein standardisiertes Verfahren ist und somit immer Interpretationsspielraum erhalten bleibt. Hecht ist somit auf das Vertrauen an die Fertigungsbetriebe angewiesen. Sobald diese Thematik wichtiger wird, sollte diese Bewertung standardisiert von einem externen Unternehmen durchgeführt werden, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Dies ist jedoch wiederum mit Kosten verbunden. Dieser Aufwand macht betriebswirtschaftlich erst Sinn, sobald Unternehmen auch wirklich einen finanziellen Anreiz bekommen.

Das größte Risiko dieser Methode ist, dass es ein idealisiertes Verfahren ist. Die Annahme dieser Methode ist, dass die Menge der CO2e direkt proportional zu den Kosten steht. Dies ist beispielsweise auch auf die Fertigungsverfahren angewendet. Es wird davon ausgegangen, dass teurere Fertigungsverfahren immer stärker emittierend sind als günstigere. Außerdem ist ein weiteres Problem, dass keine genaue Messung oder Prüfung der Emissionen möglich ist. Es werden recherchierte Emissionsfaktoren angenommen, jedoch können sich diese auch je nach Beschaffung unterscheiden. Um ein genaueres Ergebnis zu bekommen, müsste bei jedem Einkauf nach den Emissionen gefragt werden, was einerseits mit einem hohen Aufwand verbunden ist, jedoch auch nicht immer zu einem Ergebnis führen wird, da viele Lieferanten keine genaue Zahl liefern werden können. Außerdem setzt die Formel eine Vollauslastung der Produktion voraus. Ist der Produktionsbetrieb nicht voll ausgelastet, erhöht sich bei dieser Methode die Emissionsmenge, obwohl grundsätzlich die gleiche Menge an Emissionen bei der Herstellung der Anlage anfällt wie bei Vollauslastung.

4.4.3 Szenario-Analyse

Um eine finale Abschätzung abzugeben, was durch diese entwickelte Methode bei Hecht in Zukunft erwartet werden kann, folgt nun eine Szenario-Analyse:

Die Anwendung einer Szenario-Analyse bereitet Unternehmen auf zukünftige Entwicklungen vor und dient deshalb dazu, frühzeitige Handlungsleitfäden zu entwickeln. Sie findet bei Unternehmen Anwendung in den Bereichen Strategische Planung, Risikomanagement, Projektmanagement, Personal- und Standortplanung. Es werden mögliche Ereignisse für die Zukunft herausgearbeitet und deren Auswirkungen für das Unternehmen betrachtet. Die Entwicklung der möglichen Szenarien erfolgt in Form eines Trichters. Der Startpunkt befindet sich in der Mitte des Trichters. In der Zukunft wird der Trichter immer breiter, da die veränderten Umweltszenarien über eine längere Zeit zu immer extremeren Positiv- und Negativszenarien führen.[107] Eine Szenarioanalyse wird wie folgt dargestellt:

[107] Vgl. (BWL-Lexikon, 2023)

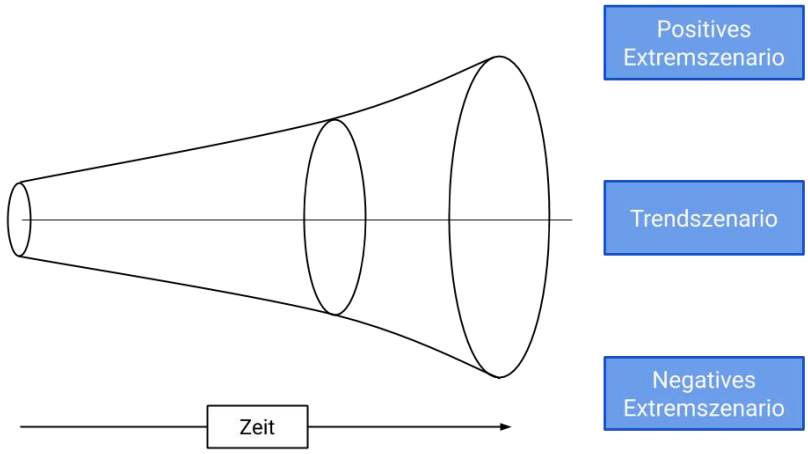


Abbildung 16: Szenarioanalyse[108]

Der Ablauf der Szenario-Analyse ist in *vier Phasen* einteilbar:

Zuerst findet die *Analyse* statt: Dabei wird die interne Ausgangssituation untersucht und ein konkreter Bereich der Analyse festgelegt. Zusätzlich werden externe Einflussbereiche betrachtet und ermittelt.

Im Anschluss daran folgen die *Trendprojektionen*: In dieser Phase werden Messgrößen formuliert und Trends ermittelt. Außerdem wird der jetzige und zukünftige Zustand der Einflussfaktoren beschrieben und mögliche Störgrößen gesammelt.

Folglich findet die *Auswertung* statt: Die Szenarien Entwicklung wird bewertet und Konsequenzen werden erarbeitet. Daraus werden schließlich Chancen und Risiken herausgearbeitet.

Zuletzt folgt die *Umsetzungsphase*: Es wird eine Strategie für alle Szenarien erarbeitet. Vorherige Erkenntnisse werden berücksichtigt.[109]

Durch die in der Einleitung beschriebenen Ausgangssituation befindet sich die Hecht Technologie GmbH in einer Vermittlerrolle. Ein Kunde von Hecht bietet Bonuszahlungen bei einer Reduzierung der CO2e an. Ohne die Unterstützung der Fertigungsbetriebe, welche dadurch auch einen Teil der Bonuszahlungen erhalten, kann Hecht jedoch keinen Nachweis erbringen. Aus diesem Grund wird die Szenario-Analyse einerseits auf Kunden und andererseits auf Fertigungsbetriebe angewendet. Es werden pro Analyse jeweils ein positives und negatives Extremszenario, als auch ein Trendszenario erläutert.

Zuerst wird die Szenario-Analyse auf die *Kunden* angewendet. Die interne Ausgangssituation ist, dass Bayer als Kunde von Hecht eine Anfrage verschickt hat, ob es gegen Bonuszahlungen möglich ist, die Emissionen für die Produktion der Anlagen zu reduzieren. Um die Auswirkungen dieses Szenarios zu analysieren, wird die Annahme getroffen,

[108] Ebd.
[109] Vgl. (Controlling-Portal, 2023)

dass die Fertigungsbetriebe das Formular jährlich so ausfüllen, wie es vorgesehen ist, um eine Entwicklung über die Jahre feststellen zu können. Als externer Einflussbereich steht besonders die Politik. Durch die steigende Bedeutung von Nachhaltigkeit wird der CO2-Fußabdruck von Lieferanten immer bedeutender für Unternehmen.[110]

Um Trends für dieses Szenario zu ermitteln, werden im ersten Schritt Messgrößen festgelegt: Die Messgrößen sind einerseits die Anzahl der Kunden mit Interesse an den erhobenen Daten und andererseits die Akzeptanz der erhobenen Daten. Die bedeutendste Störgröße ist dabei, dass die Konkurrenz von Hecht möglicherweise schon fortgeschritten in diesem Thema ist. Nun werden die Trends erst ermittelt, um im Anschluss daran eine Bewertung durchzuführen und Strategien dazu zu erarbeiten:

Anfangs wird auf das *positive Extremszenario* eingegangen: In diesem Szenario würden Jahr für Jahr immer mehr Bestandskunden ähnliche Anfragen wie Bayer stellen. Außerdem ist der Umfang dieser Methode trotz einiger Schwächen absolut zufriedenstellend. Falls dieses Szenario eintritt, würde Hecht von mehreren Bonuszahlungen profitieren. Der Aufwand für die Entwicklung dieser Methode wäre somit schnell wieder amortisiert und durch die Akzeptanz der Methode wäre vorerst keine Weiterentwicklung notwendig. Dadurch macht Hecht zukünftig Gewinn durch die Entwicklung der Methode. Auch die Fertigungsbetriebe wären zufrieden, da sie durch die jährliche Bearbeitung des Formulars auch einen Teil der Bonuszahlungen bekommen. Das gestiegene Interesse von Bestandskunden von Hecht lässt außerdem darauf schließen, dass dieses Thema in der ganzen Branche zunehmend an Relevanz gewinnt. Durch eine Vorreiterrolle von Hecht und einer zunehmenden politischen Signifikanz dieses Themas kann Hecht somit neue Kunden durch entsprechende Werbemaßnahmen gewinnen.

Nun wird das *Trendszenario* erläutert: Es wird prognostiziert, dass sich ein paar weitere Kunden über das gleiche Thema wie Bayer erkundigen. Es ist schwierig eine genaue Anzahl festzulegen, da auf fast allen Webseiten der Kunden von Hecht Nachhaltigkeit thematisiert wird, jedoch bis jetzt nur eine Anfrage genau zu diesem Thema eingetroffen ist. Im Trendszenario werden die Bemühungen von Hecht schon geschätzt, jedoch wird eine Weiterentwicklung dieser Methode gefordert, bei denen die Schwachpunkte eliminiert werden. Auch dieses Szenario wäre für Hecht positiv: Durch die in der Bachelorarbeit entwickelten Methode wurde schon einmal eine Basis geschaffen, an der in Zukunft weitergearbeitet werden kann. Die Kunden können speziell darauf eingehen, was für sie noch wichtig wäre und ergänzt werden sollte. Dadurch kann Hecht die Methode in den nächsten Jahren durch entsprechendes Feedback kontinuierlich verbessern, um schließlich eine Akzeptanz der Methode für einen Großteil der interessierten Kunden zu erreichen.

[110] Vgl. (NC Fertigung, 2020)

Bei einem Eintritt des *negativen Endszenarios* wird die Anfrage von Bayer die einzige bleiben und andere Kunden werden sich nicht anschließen. Außerdem wird Bayer die Methode aufgrund der Schwächen nicht genehmigen. In diesem Szenario würde Hecht somit keine Bonuszahlungen erhalten. Der Aufwand von Hecht für die Entwicklung der Methode würde somit nicht belohnt werden. Im nächsten Schritt muss Hecht schließlich abwägen, ob es sich lohnt die Methode weiterzuentwickeln, da nur ein Kunde eine Anfrage gestellt hat. Es kann passieren, dass Hecht schließlich dieses Projekt einstellt, da die Entwicklung weitere Kosten und Zeit in Anspruch nehmen wird und nur ein geringer Nutzen dabei entsteht. Im schlimmsten Fall will Bayer die zukünftigen Aufträge an andere Unternehmen vergeben, welche in diesem Bereich schon weiterentwickelt sind.

Nun folgt eine Anwendung der Szenario-Analyse auf die *Fertigungsbetriebe*: Dabei ist die Ausgangssituation, dass die Numberger GmbH im Jahr 2018 ihren CO2-Fußabdruck berechnet hat. Die Numberger GmbH ist jedoch aber der einzige Fertigungsbetrieb, welcher regelmäßig Aufträge von Hecht umsetzt und sich diese Bemühungen bisher gemacht hat. Zur Analyse dieses Szenarios wurde schließlich festgelegt, dass die Kunden von Hecht Interesse an den Daten der Fertigungsbetriebe haben. Der größte externe Einflussbereich ist analog zur ersten Szenario-Analyse die Politik.

Im Folgenden werden nun die *Trends ermittelt und ausgewertet*. In diesem Fall gibt es folgende Messgrößen:

- Anzahl der Fertigungsbetriebe, welche das Formular jährlich ausfüllen
- Notwendiger Aufwand von Hecht, bis die Fertigungsbetriebe das Formular ausfüllen
- Qualität der Angaben der Fertigungsbetriebe
- Bemühungen der Fertigungsbetriebe zur Reduktion der Emissionen

Im *positiven Extremszenario* werden alle Fertigungsbetriebe, die regelmäßig Aufträge für Hecht abwickeln, dieses Formular jährlich ohne einen hohen Aufwand von Hecht ausfüllen. Dabei ist es ausreichend, wenn Hecht die Signifikanz des Themas gegenüber den Fertigungsbetrieben erklärt und den Fertigungsbetrieb aufgrund der langjährigen Zusammenarbeit zur Bearbeitung des Formulars bittet. Die Fertigungsbetriebe füllen anschließend das Formular mit einer hohen Qualität aus und geben alle geforderten Parameter an. Dies wird anschließend jährlich durchgeführt und es wird sich bemüht, die Emissionen Jahr für Jahr zu reduzieren. Dadurch könnte Hecht den Kunden eine Auskunft über die Reduzierung der Emissionen liefern und zusätzlich die gleichen Fertigungsbetriebe in Zukunft behalten, da alle ihren Beitrag zum Thema Nachhaltigkeit leisten. Deswegen kann Hecht nach wie vor bestimmte Produktgruppen bei den Fertigungsbetrieben abwickeln, welche dies schon seit vielen Jahren gemacht haben und somit viel

Knowhow entwickelt haben. Außerdem hat Hecht somit durch die hohe Transparenz einen Vorteil gegenüber anderen Unternehmen.

Bei einem *Eintritt des Trendszenarios* ist damit zu rechnen, dass circa zwei weitere Fertigungsbetriebe, welche schon länger Aufträge für Hecht abwickeln, das Formular in Zukunft ausfüllen werden. Es wird es jedoch wichtig sein, dass die Fertigungsbetriebe unterstützt und finanziell entsprechend belohnt werden. Bei einer Bearbeitung des Formulars ist damit zu rechnen, dass die Daten gewissenhaft angegeben werden. Um jedoch eine Entwicklung des CO2-Fußabdrucks der Fertigungsbetriebe zu analysieren, wird es jedes Jahr notwendig sein, dass Hecht die Bearbeitung des Formulars anfordert. Dadurch, dass die Werte dann jährlich analysiert werden, schaffen die Mitarbeiter der Fertigungsbetriebe ein Bewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit und bemühen sich die Emissionen zukünftig zu reduzieren. Beim Eintritt dieses Szenarios hat Hecht den Vorteil, dass diese Fertigungsbetriebe, welche jährlich das Formular bearbeiten, Aufträge von Kunden mit einem hohen Interesse für Nachhaltigkeit abwickeln können. Hecht wird dabei jährlich einen Teil der Bonuszahlungen an die Fertigungsbetriebe weitergeben, wenn diese das Formular ausfüllen. Somit würde sowohl Hecht als auch die Fertigungsbetriebe von den Bonuszahlungen profitieren.

Zuletzt wird das *negative Trendszenario* betrachtet: In diesem Fall wird das Hauptproblem sein, dass die Fertigungsbetriebe dieses Formular aufgrund mangelnder Kapazitäten nicht ausfüllen werden. Die Fertigungsbetriebe fordern schließlich einen zu hohen Preis für die Bearbeitung des Formulars, weshalb es für Hecht nicht mehr rentabel ist. Es besteht außerdem die Gefahr, dass die Daten bei einer möglichen Bearbeitung nicht gewissenhaft ausgefüllt werden und somit trotz einem hohen Preis keinen Mehrwert für die Kunden bieten. In diesem Szenario wären die Bemühungen von Hecht für die Entwicklung der vorgestellten Methode erfolglos geblieben. Ohne die Unterstützung der Fertigungsbetriebe bietet die Methode keinen Mehrwert. Folglich kann Hecht auch in Zukunft keine Datenauskunft zur Reduzierung der Emissionen liefern und erhält deswegen keine Bonuszahlungen von Kunden. Die Entwicklung dieser Methode wäre damit ein Verlustgeschäft.

Durch die festgelegten Annahmen sind beide Szenario-Analysen überwiegend positiv: In der Realität wird vermutlich ein Trendszenario eintreten, in dem ein paar Kunden an diesem Thema interessiert sein werden. Es wird mit Aufwand von Hecht möglich sein, diesen Kunden durch die Unterstützung von einem oder mehreren Fertigungsbetrieben einen Nachweis der Reduzierung der Emissionen zu liefern. Jedoch kann es passieren, dass das Thema Nachhaltigkeit durch immer strengere politische Auflagen weiter gefördert wird. Somit wäre es denkbar, dass immer mehr Kunden von Hecht über die Emissionen für die Produktion der Anlagen Informationen benötigen. Außerdem kann es sein, dass Fertigungsbetriebe in Zukunft auch ihren CO2-Fußabdruck jährlich bestimmen

müssen. Diese externen Einflussfaktoren würden somit einen positiven Beitrag auf die Szenarioanalyse haben.

4.5 Anwendung auf eine Anlage von Hecht

Für die Anwendung der Methode wurde das Projekt 222534 (interne Bezeichnung) und der Fertigungsbetrieb Numberger GmbH ausgewählt. Da von der Numberger GmbH nur Werte für das Jahr 2018 zur Verfügung stehen, kann kein Vergleich zu einem anderen Jahr durchgeführt werden.

Methode zur Bestimmung der CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage

Name des betrachteten Unternehmens: Numberger GmbH
Basisjahr: 2018

von Hecht intern auszufüllen

HECHT technologie

			Jahr	CO2-Äquivalente / EUR Umsatz		Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb)		CO2e für die Produktion der Anlage		nominal	prozentual
CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage											
Bezeichnung der Anlage	Einwaage NICO		**2018**	0,06	x	62000	=	**3491**	kg		
Projektnummer (intern)	222534							**3,5**	t		
Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb, BU)	62000	EUR		**1,55**	kg CO2e/kg der Anlage						
Gesamtgewicht Anlage	2.255	kg									

Abbildung 17: Anwendung der Methode auf das Projekt 222534

Die Berechnungen ergeben, dass *3.491 kg CO2e* für die Produktion des gesamten Projekts freigesetzt wurden. Dividiert durch das Gewicht der Anlage ergibt das schließlich einen Wert von *1,55 kg CO2e / kg der Anlage*. Im Vergleich: Bei der Produktion eines Mittelklasse PKW entstehen bis zu 8.000 kg CO2.[111] Daraus resultiert ein Wert von 4,44 CO2 / kg des PKWs.

[111] Vgl. (Carbon connect, 2023)

5 Fazit und Ausblick

Um das anspruchsvolle Ziel, den Klimawandel zu stoppen, noch erreichen zu können sind Veränderungen notwendig. Die Hauptziele in Deutschland sind einerseits das Erreichen der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 und andererseits die Einsparung von 65% aller THG-Emissionen bis zum Jahr 2030. Dadurch, dass einige Zwischenziele nicht erreicht wurden, wird dies eine große Herausforderung. Es ist notwendig, zielführende Maßnahmen einzuleiten und das Bewusstsein der Gesellschaft bezüglich Nachhaltigkeit zu steigern.

Ein möglicher Ansatz dafür ist die in der Arbeit vorgestellte Methode: Diese erfüllt einerseits den Zweck, dass Fertigungsbetriebe damit die THG-Emissionen jährlich überprüfen und sich andererseits durch die regelmäßige Bearbeitung des Formulars mit dem Thema Nachhaltigkeit auseinandersetzen werden. Es wird sicherlich eine Herausforderung, dass die Fertigungsbetriebe, welche in engen Kontakt mit Hecht stehen, sich jährlich mit dem Ausfüllen des vorgestellten Formulars auseinandersetzen. Jedoch kann dies mit finanzieller Unterstützung gefördert werden. Da Unternehmen betriebswirtschaftlich denken, müssen entsprechende Anreize geschaffen werden. Letztendlich wird es entscheidend sein, wie viele Unternehmen der Lebensmittel- und Pharmaindustrie ähnliche Bonuszahlungen anbieten werden. Wenn diese Anzahl steigt, wird Hecht vermutlich einen Weg finden, dass die Fertigungsbetriebe ihre Daten bereitstellen werden. Der Aufwand und die Kosten für die Bearbeitung des Formulars durch die Fertigungsbetriebe kann durch den Erhalt der Bonuszahlungen entlohnt werden. Die Politik kann den Prozess zusätzlich beschleunigen.

Anfangs ist es wichtig, dass ein Vertrauen zu den Fertigungsbetrieben existiert. Diese Methode basiert auf Vertrauen, da die Werte, welche die Fertigungsbetriebe angeben, nicht überprüft werden können. Es besteht die Gefahr des Greenwashings. Greenwashing „bezeichnet den Versuch von Organisationen, durch Kommunikation, Marketing und Einzelmaßnahmen ein „grünes Image“ zu erlangen[.]“[112] Fertigungsbetriebe können falsche Angaben verwenden, um einen nachhaltigeren Eindruck zu erlangen. Um das Verfahren zu standardisieren, wird es in Zukunft möglich sein, dass externe Audits durchgeführt werden, welche auf Industrienormen basieren. Dies ist zwar mit einem Kostenaufwand verbunden, jedoch würden die vorgestellten Schwächen der entwickelten Methoden somit reduziert werden.

Wenn der erste Schritt – das erste Ausfüllen des Formulars – durch die Fertigungsbetriebe vollbracht wurde, sollen die Emissionen im nächsten Schritt für die kommenden Geschäftsjahre reduziert werden. Als Unterstützung dafür wurden Einsparpotentiale für

[112] (Lin-Hi, 2023)

das metallverarbeitende Gewerbe in dieser Bachelorarbeit behandelt. Es gibt einige Einsparpotentiale, welche mit einem geringen Kostenaufwand verbunden sind: Dazu gehören einerseits Einsparungen im Bereich Material, wie Leichtbaulösungen und eine gesteigerte Materialeffizienz, und andererseits auch die Wahl eines geeigneten Fertigungsverfahren. Mit diesen Maßnahmen können sowohl Emissionen vermieden als auch Kosten reduziert werden. Einsparpotentiale im Bereich Neuinvestitionen sind jedoch anfangs mit einem Kostenaufwand verbunden. In der Regel dauert es ein paar Jahre, bis sich diese Investitionen amortisieren. Um einen Anreiz für Neuinvestitionen zu schaffen, sind staatliche Förderungen beispielsweise im Bereich Gebäudesanierung essenziell. Da die Metallproduktion und -verarbeitung der Industriesektor mit der höchsten CO2-Intensität und der zweithöchsten Kostenintensität der CO2-Reduktion ist, wird deutlich, dass große Anstrengungen notwendig sein werden, damit dieser Sektor in Zukunft nachhaltiger wird.[113]

Es wird sicherlich spannend, die Entwicklungen dieses Themas zu verfolgen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch unklar, inwiefern die entwickelte Methode in Zukunft verwendet werden wird. Einige mögliche Szenarien wurden im Hauptteil der Bachelorarbeit vorgestellt. Das Thema Nachhaltigkeit wird in der Industrie in den kommenden Jahren immer wichtiger und somit ist es sinnvoll, dass sich Unternehmen schon jetzt damit auseinandersetzen. Die entwickelte Methode ist erstmals ein Prototyp, der wie im Hauptteil der Bachelorarbeit dargestellt, noch einige Schwächen aufweist. Falls mehrere Kunden von Hecht Interesse an der entwickelten Methode zeigen, kann diese noch weiterentwickelt werden. Außerdem kann diese Methode vom Excel-Formular zu einem web-basierten Tool umgewandelt werden, bei dem alle Daten zentral gespeichert werden können.

Schlussendlich müssen viele Parteien ihren Beitrag leisten, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Den größten Einfluss darauf hat die Politik, welche wiederum einen großen Einfluss auf die deutschen Konzerne hat. Falls sich mehrere Konzerne Bayer anschließen, werden sich die Fertigungsbetriebe auch bemühen, die Emissionen jährlich zu dokumentieren und reduzieren. Es bedarf also die Unterstützung der Politik, der Konzerne und der Fertigungsbetriebe, um diesen Sektor nachhaltiger zu gestalten.

[113] Vgl. (Langefeld, 2019)

Literaturverzeichnis

act Schweiz. 2023. Treibhausgasbilanz nach Greenhouse Gas Protocol . ***act Schweiz.*** **[Online] 2023. [Zitat vom: 08. Januar 2023.].**

ARD Alpha. 2021. So heizen Treibhausgase unser Klima auf. ***ARD Alpha.*** **[Online] 22. Juli**
2021. [Zitat vom: 7. November 2022.]

Bauernhansl, Thomas. 2016. Leichtbau im Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau. ***Leichtbau BW.*** **[Online] Dezember 2016. [Zitat vom: 2. Februar 2023.]**

Baunetz Wissen. 2022. Treibhauspotenzial. ***Baunetz Wissen.*** **[Online] 2022. [Zitat vom:**
14. November 2022.]

Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2022. Klimamanagement. ***Umwelt + Klimapakt Bayern.*** **[Online] 2022. [Zitat vom: 15. November 2022.].**

Bildungsserver Wiki. 2022. Treibhauseffekt. ***Bildungsserver Wiki.*** **[Online] 2022. [Zitat vom: 7. November 2022.]**

Bitkom. 2021. Digitalisierung kann jede fünfte Tonne CO2 einsparen. ***Bitkom.*** **[Online] 18. März 2021. [Zitat vom: 2023. Februar 2023.]**

Blümm, Florian. 2020. CO2 Äquivalente: Treibhauspotential von Methan & Lachgas. ***Tech for Future.*** **[Online] 16. Dezember 2020. [Zitat vom: 14. November 2022.]**

Brockmann, Bärbel. 2018. Saubere Stahlerzeugung. ***Frankfurter Allgemeine.*** **[Online]** 2018. [Zitat vom: 1. Februar 2023.].

Bundesamt für Raumentwicklung ARE. 2022. 1987: Brundtland-Bericht. ***Bundesamt für Raumentwicklung ARE.*** **[Online] 2022. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.].**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. 2022. Was ist Nachhaltige Entwicklung? ***Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.*** **[Online] 2022. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.].**

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. 2022. Abkommen von Paris. ***Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.*** **[Online] 2022. [Zitat vom: 19. Oktober 2022.].**

Bundesregierung. 2022a. Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. ***Bundesregierung.*** **[Online] 2022a. [Zitat vom: 24. Oktober 2022a.].**

Bundesregierung. 2022b. Generationenvertrag für das Klima. ***Bundesregierung.*** **[Online] 2022b. [Zitat vom: 9. November 2022b.]**

BWL-Lexikon. 2023. Szenarioanalyse. ***BWL-Lexikon.*** **[Online] 2023. [Zitat vom: 9. Februar 2023.].**

Carbon connect. 2023. Der CO2 Fussabdruck eines neuen Autos Elektro versus Verbrennungsmotor: die nicht ganz einfache Klimabilanz. ***Carbon connect.*** **[Online] 2023. [Zitat vom: 14. Januar 2023.]**

Care. 2022. Klimawandel. *Care.* [Online] 2022. [Zitat vom: 26. Oktober 2022.]

Controlling-Portal. 2023. Szenario-Analyse. *Controlling-Portal.* [Online] 2023. [Zitat vom:
9. Februar 2023.]

Deutsche Gesellschaft für Qualität. 2022. Was bedeutet Nachhaltigkeit? *Deutsche Gesellschaft für Qualität.* [Online] 2022. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.]

Dr. Lauf, Thomas, Memmler, Michael und Schneider, Sven. 2021. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2020. [Online] November 2021. [Zitat vom: 05. Januar 2023.].

Duden. 2022. Nachhaltigkeit. *Duden.* [Online] 2022. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.].

EnergieAgentur NRW. 2022. Emissions-Kategorien (Scopes) nach dem Greenhouse Gas Protocol. *Docplayer.* [Online] 2022. [Zitat vom: 15. November 2022.].

energie-experten. 2022. Strahlungsheizung: Technik & Heizkosten im Vergleich. *energieexperten.* [Online] 22. Juli 2022. [Zitat vom: 7. Februar 2023.].

ETAPart. 2023a. Heizungen für Hallen. *ETAPart.* [Online] 2023a. [Zitat vom: 6. Februar 2023.]

ETAPart. 2023b. Wärmedämmung zur Optimierung der Effizienz beim Heizen von Hallen. *ETAPart.* [Online] 2023b. [Zitat vom: 7. Februar 2023.]

Europäische Kommision. 2022. Folgen des Klimawandels. *Europäische Kommision.* [Online] 2022. [Zitat vom: 8. November 2022.]

First Climate. 2022. Was versteht man unter dem Begriff „CO2-Fußabdruck”? *First Climate.* [Online] 2022. [Zitat vom: 14. November 2022.]

Fleiter, Tobias, Schlomann, Barbara und Eichhammer, Wolfgang. 2013. *Energieverbrauch und CO2-Emissionen. Karlsruhe : Fraunhofer Verlag, 2013.*

Fritz, Alfred Herbert und Schmütz, Jörg. 2015. *Fertigungstechnik.* Berlin : Springer Vieweg, 2015.

Ganse, Joachim, Werhahn, Florian und Gschmack, Sigrid. 2012. Nachhaltigkeit im Supply ChainManagement. *Controlling & management.* Wiesbaden : Gabler Verlag, 2012.

Hecht Technologie GmbH. 2022a. Geschichte. *Hecht Technologie.* [Online] 2022a. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.].

Hecht Technologie GmbH. 2022b. Was macht HECHT aus. *Hecht Technologie.* [Online] 2022b. [Zitat vom: 24. Oktober 2022.].

Hertrich, Mirko. 2016. Leichtbau bei Maschinen stärkt Wettbewerbsfähigkeit und Umwelt. *MaschinenMarkt.* [Online] 2. Oktober 2016. [Zitat vom: 2. Februar 2023.].

idee-werk. 2023. CAD/CAM Programmierung. *idee-werk.* [Online] 2023. [Zitat vom: 8. Februar 2023.].

Ingram, Simon. 2021. 26 harte Fakten zum Klimawandel. *National Geographic.* [Online] National Geographic, 2. November 2021.

Izzi, Ricardo. 2020. CO2-Ausstoß von Erdgas. *net4energy.* [Online] 26. Mai 2020. [Zitat vom: 21. Dezember 2022.]

Klimatopia. 2022. Was ist der Treibhauseffekt und warum ist er so schlimm? *Klimatopia.* [Online] 2022. [Zitat vom: 7. November 2022.] .

Kretschmer, Ansgar. 2022. CCS: Was bedeutet Carbon Capture and Storage? . *Chemie Technik.* [Online] 27. Dezember 2022. [Zitat vom: 9. Februar 2023.].

Kröll, Sabrina. 2020. Definition von Emissionsfaktor, Formeln zur Berechnung und Datenbanken. *net4energy.* [Online] 21. Oktober 2020. [Zitat vom: 21. Dezember 2022.].

Kropp, Ariane. 2019. *Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung.* Wiesbaden : Springer Gabler Wiesbaden, 2019. S. 11f.

Langefeld, Bernhard. 2019. Reduzierung von CO2: Klimaschutz durch emissionsarme oder -neutrale Produktion in Deutschland. *Roland Berger.* [Online] 30. Oktober 2019. [Zitat vom: 17. Februar 2023.]

Leichtbau BW. 2022. Leichtbau leicht erklärt. *Leichtbau BW.* [Online] 2022. [Zitat vom: 2. Februar 2023.]

Leidenschaft Nachhaltigkeit. 2022. Nachhaltige Entwicklung in der Praxis: Das Drei-Säulen-Modell. *Leidenschaft Nachhaltigkeit.* [Online] 2022. [Zitat vom: 2. Dezember 2022.].

Lin-Hi, Nick. 2023. Greenwashing. *Gabler Wirtschaftslexikon.* [Online] 2023. [Zitat vom:

17. Februar 2023.].

myclimate. 2022a. Was ist der Treibhauseffekt? *myclimate.* [Online] 1. März 2022a. [Zitat vom: 7. November 2022a.]

myclimate. 2022b. Was sind die Folgen des Klimawandels und der globalen Erwärmung? *myclimate.* [Online] 1. März 2022b. [Zitat vom: 8. November 2022b.]

NC Fertigung. 2020. Wie sieht Ihr CO2-Fußabdruck in der Produktion aus? *NC Fertigung.* [Online] 10. Februar 2020. [Zitat vom: 1. Februar 2023.]

Numberger GmbH. 2023a. Numberger Technologies. *Numberger GmbH.* [Online] 2023a. [Zitat vom: 10. Januar 2023.].

Numberger GmbH. 2023b. Umweltgrundsätze. *Numberger GmbH.* [Online] 2023b. [Zitat vom: 10. Januar 2023.] .

Numberger GmbH. 2023c. Firmenchronik. *Numberger GmbH.* [Online] 2023c. [Zitat vom:

11. Januar 2023.].

Pufé, Iris. 2014. Was ist Nachhaltigkeit? Dimensionen und Chancen. *Bundeszentrale für politische Bildung.* [Online] 21. Juli 2014. [Zitat vom: 30. November 2022.] .

PWC. 2022. Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz. *PWC.* [Online] 2022. [Zitat vom: 3. Februar 2023.].

Rechid, Diana. 2021. Ursachen und Folgen des Klimawandels. *Bundeszentrale für politische Bildung.* [Online] 8. Juli 2021. [Zitat vom: 3. November 2022.].

Rosenkranz, Alexander. 2020. Hallenheizung: Systeme im Vergleich. *Heizung.de.* [Online] 18. November 2020. [Zitat vom: 7. Februar 2023.].

Sauer, Alexander und Bauernhansl, Thomas. 2017. *Energieeffizienz in Deutschland -eine Metastudie.* Stuttgart : Springer Berlin Heidelberg, 2017.

Schauenberg, Tim. 2021. Klimaneutralität: Was wird das kosten? . *Deutsche Welle.* [Online] 21. September 2021. [Zitat vom: 9. November 2022.].

Schmied, Martin und Knörr, Wolfram. 2011. Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 162658. [Online] April 2011. [Zitat vom: 05. Januar 2023.]

Schulz, Sven Christian. 2022. Die drei Säulen der Nachhaltigkeit: Ökologie, Wirtschaft und Soziales. *Utopia.* [Online] 1. Juli 2022. [Zitat vom: 30. November 2022.].

Solarautonomie GmbH. 2023. Unternehmensziel . *Solarautonomie GmbH.* [Online] 2023. [Zitat vom: 11. Januar 2023.].

Tagesschau. 2022a. 1,5-Grad-Ziel als Gradmesser. *Tagesschau.* [Online] 7. November 2022a. [Zitat vom: 9. November 2022a.].

Tagesschau. 2022b. Klimaziele für 2030 kaum erreichbar. *Tagesschau.* [Online] 4. November 2022b. [Zitat vom: 9. November 2022b.].

Umwelt Bundesamt. 2020. Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr. *Umwelt Bundesamt.* [Online] 2020. [Zitat vom: 21. Dezember 2022.] .

Umwelt Bundesamt. 2022a. Häufige Fragen zum Klimawandel. *Umwelt Bundesamt.* [Online] 2022a. [Zitat vom: 26. Oktober 2022a.] .

Umwelt Bundesamt. 2022b. Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen. *Umwelt Bundesamt.* [Online] 2022b. [Zitat vom: 7. November 2022b.] .

Umwelt Bundesamt. 2022c. Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. *Umwelt Bundesamt.* [Online] 15. März 2022c. [Zitat vom: 9. November 2022c.] .

Umwelt Bundesamt. 2022d. CO2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom steigen 2021 wieder an. [Online] 2022d. [Zitat vom: 05. Januar 2023.]

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. 2021. Erfolgreich im Klimaschutz. *Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf.* [Online] Juni 2021. [Zitat vom: 15. November 2022.]

Vacurant. 2023. Heizung Produktionshalle. *Vacurant.* [Online] 2023. [Zitat vom: 7. Februar 2023.]

Verband der Chemischen Industrie. 2021. THG-Emissionen in Transport und Logistik. [Online] 15. Dezember 2021. [Zitat vom: 05. Januar 2023.]

volkszaehler.org. 2023. Was ist der Volkszaehler? [Online] 2023. [Zitat vom: 10. Januar 2023.]

Winterstein, Florian, Michalek, Raphael und Hofmann, Sebastian. 2019. Was ist Supply Chain Management? Definition, Beispiel & Ziele! *MM Logistik.* [Online] 16. Januar
2019. [Zitat vom: 3. Februar 2023.]

Wolf & Müller Energy GmbH. 2022. Emissions-Kategorien (Scopes). *WM Energy.* [Online]
2022.

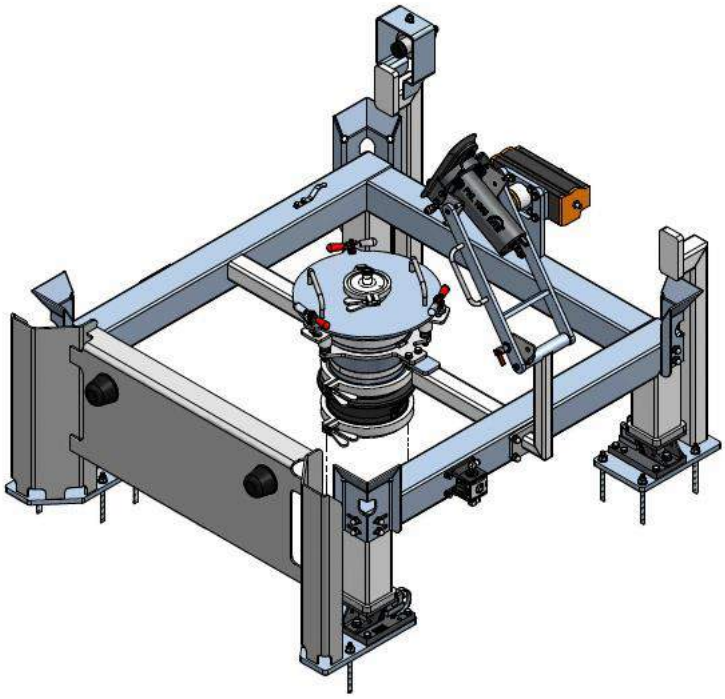
WWF. 2022. Die 15 Scope 3 Kategorien nach dem GHG Protocol. *Klimareporting.* [Online]
2022.

ZDF. 2022. 2022 mindestens 15.000 Hitzetote in Europa. *ZDF.* [Online] 7. November 2022. [Zitat vom: 2023. März 10.]

Zolar. 2020. Solar-Strom: So nachhaltig sind Photovoltaik-Anlagen wirklich. *e fahrer.* [Online] 3. Juni 2020. [Zitat vom: 6. Februar 2023.]

Anhang

Darstellung einer Andockstation des Projekts 222534



Anhang 1: Darstellung der Andockstation

Tabelle für die Quellenangabe der Emissionsfaktoren

Scope	Emissionsfaktor für	Quelle
1.1	Erdgas, Heizöl, Biogas	(Kröll, 2020)
1.2	Benzin, Diesel, Autogas, Erdgas	(Izzi, 2020)
2.1	Strom PV-Anlage	(Umwelt Bundesamt, 2022d) (Dr. Lauf, et al., 2021)
3.1	Edelstahl	(Dr. Lauf, et al., 2021)
3.3	PV-Anlage	(Dr. Lauf, et al., 2021)
3.4 & 3.9	LKWs und Sattelzug Bahntransport, Binnen-, Seeschiff & Flugzeug	(Schmied, et al., 2011) (Verband der Chemischen Industrie, 2021)
3.6	PKW, Bahn und Flugzeug	(Umwelt Bundesamt, 2020)
3.7	PKW und Zug (Pendeln)	(Umwelt Bundesamt, 2020)

Anhang 2: Quellenangabe der Emissionsfaktoren

Excel-Formular: allgemein

Bedienungshinweis für diese Excel-Tabelle

HECHT technologie

Bedienungshinweise

Diese Felder müssen vom Fertigungsbetrieb ausgefüllt werden. Eine Erklärung zur Datenerfassung befindet sich in einem Extrablatt.

Diese Felder liefern Zwischenergebnisse der jeweiligen Scopes.

Diese Felder liefern die Endergebnisse Gesamtemissionen, Emissionen / Mitarbeiter und Emissionen / EUR Umsatz

Die restlichen Felder sind für die Bearbeitung blockiert. Diese Felder enthalten die Formeln für die Berechnungen der Emissionen.

Anhang 3: Bedienungshinweis

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

HECHT technologie

Annahmen

Das Excel-Blatt "Gesamtübersicht" wurde in Anlehnung an das Greenhouse Gas Protocol erstellt.

Um diese Excel-Tabelle möglichst benutzerfreundlich zu gestalten, wurden einige Kategorien ausgeschlossen. Für Hinweise der Datenerfassung der betrachteten Kategorien dient das Blatt "Datenerfassung".

Ausgeschlossene Kategorien: 1.3, 1.4, 2.2, 2.3, 3.2, 3.8 und alle nachgelagerten Emissionen aus Scope 3 außer Transport

Diese Excel-Tabelle soll für Fertigungsbetriebe ein Bewusstsein für den CO2-Fußabdruck schaffen.

Außerdem sollen Fertigungsbetriebe wissen, dass der CO2-Fußabdruck in der Zukunft als Kaufkriterium betrachtet werden kann.

Anhang 4: Annahmen

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

HECHT technologie

Hilfe zur Datenerfassung zur Bestimmung der Emissionen für die Kategorien		
Scope 1 Emissionen		
1.1 Verbrennungsprozesse stationärer Anlagen		Lieferbelege und Rechnungen eingekaufter Primärenergieträger in kWh. Messung des Verbrauchs mithilfe von Zählerständen
1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen		Menge an Kraftstoffen in Liter; Nachweis durch Rechnungen, Tankquittungen, Tankkarte, Lieferbelege
1.3 THG-Emissionen aus chemischen Prozessen		Ermittlung der Leckage durch Rechnungen mit Angabe der Nachfüllmenge von Kühlmitteln
1.4 Direkte Emissionen von THG		Produktionsdaten oder Verbrauchsmenge der Produkte oder Zählerstände
Scope 2 Emissionen		
2.1 Elektrizität	Strom PV-Anlage	Eingekaufter Strom in kWh; Rechnungen, Zählerstände Analyse des eigenerzeugten Stroms in kWh
2.2 Dampf 2.3 Fernwärme/-kälte		Menge an eingekauftem Dampf, Fernwärme/-kälte Messung durch Rechnungen oder Zählerstände
Scope 3 Emissionen		
3.1 Eingekaufte Güter und Dienstleistungen 3.3 Kraftstoff und energiebezogene Emissionen	Edelstahl PV-Anlage	Menge an eingekauften Edelstahl in kg; Rechnungen Analyse des eigenerzeugten Stroms in kWh
3.4 Vorgelagerter Transport und Verteilung 3.9 Nachgelagerter Transport und Verteilung		Bestimmung der Gewichte der eingekauften Waren (t), der zurückgelegten Distanz der Waren (km) und der Art des Transports; Angabe in tkm
3.5 Abfall 3.6 Geschäftsreisen 3.7 Pendeln der Mitarbeiter		Abfallmenge nach Art der Entsorgung Auswertung der gebuchten Reisen durch die Per-sonalabteilung Auswertung durch Personalabteilung oder Befra-gung der Mitarbeiter (Arbeitstage im Berichtsjahr, zurückgelegte Kilometer, Transportmittel)

Anhang 5: Hilfe zur Datenerfassung

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
	Subkategorien	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 1 Emissionen																	
1.1 Verbrennungsprozesse stationärer Anlagen	bitte auswählen				kg/h / mm	kg CO2e						kg/h / mm	kg CO2e				
1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen			siehe extra Blatt 1.2			kg CO2e				siehe extra Blatt 1.2			kg CO2e				
1.3 THG-Emissionen aus chemischen Prozessen						kg CO2e							kg CO2e				
1.4 Direkte Emissionen von THG						kg CO2e							kg CO2e				
Summe Scope 1						kg CO2e							kg CO2e				
Scope 2 Emissionen																	
2.1 Elektrizität	Strom		kWh	0,219	kg CO2 / kWh	kg CO2e				kWh	0,219	kg CO2 / kWh	kg CO2e				
	PV-Anlage		kWh	0,011	kg CO2 / kWh	kg CO2e				kWh	0,011	kg CO2 / kWh	kg CO2e				
2.2 Dampf																	
2.3 Fernwärme/-kälte																	
Summe Scope 2						kg CO2e							kg CO2e				
Scope 3 Emissionen																	
Vorgelagerte Wertschöpfungskette																	
3.1 Eingekaufte Güter und Dienstleistungen	Edelstahl		kg	1,5	kg CO2e / kg	kg CO2e				kg	1,5	kg CO2e / kg	kg CO2e				
3.2 Produktionsmittel/Anlagegüter						Ausschluss durch Systemgrenzen											
3.3 Kraftstoff und energiebezogene Emissionen	PV-Anlage		kWh	0,056	kg CO2 / kWh	kg CO2e				kWh	0,056	kg CO2 / kWh	kg CO2e				
3.4 Vorgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			kg CO2e				siehe extra Blatt Transport			kg CO2e				
3.5 Abfall			siehe extra Blatt 3.5			kg CO2e				siehe extra Blatt 3.5			kg CO2e				
3.6 Geschäftsreisen			siehe extra Blatt 3.6			kg CO2e				siehe extra Blatt 3.6			kg CO2e				
3.7 Pendeln der Mitarbeiter			siehe extra Blatt 3.7			kg CO2e				siehe extra Blatt 3.7			kg CO2e				
3.8 Angemietete oder geleaste Sachanlagen						Ausschluss durch Systemgrenzen											
Summe VGL						kg CO2e							kg CO2e				
Nachgelagerte Wertschöpfungskette																	
3.9 Nachgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			kg CO2e				siehe extra Blatt Transport			kg CO2e				
3.10 Weiterverarbeitung verkaufter Zwischenprodukte																	
3.11 Nutzung der verkauften Produkte																	
3.12 Entsorgung der verkauften Produkte																	
3.13 Vermietete oder verleaste Sachanlagen																	
3.14 Franchise-Betriebe																	
3.15 Investitionen																	
Summe NGL						kg CO2e							kg CO2e				
Summe Scope 3						kg CO2e							kg CO2e				
Summe gesamt (SG)						t CO2e							t CO2e				
Anzahl Mitarbeiter		Mitarbeiter															
CO2-Äquivalente pro Mitarbeiter (MA)						t CO2e / MA							t CO2e / MA				
Umsatz Fertigungsbetrieb		EUR															
CO2-Äquivalente pro EUR Umsatz						g CO2e / EUR Umsatz							g CO2e / EUR Umsatz				

Ausschluss durch Systemgrenzen

Anhang 6: Gesamtübersicht

Methode zur Bestimmung der CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

von Hecht intern auszufüllen

		Jahr	CO2-Äquivalente / EUR Umsatz	Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb)	CO2e für die Produktion der Anlage	
		CO2-Äquivalente für die Produktion einer Sonderanlage				
Bezeichnung der Anlage		2023	x		=	kg t
Projektnummer (intern)				kg CO2e/kg der Anlage		
Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb, t0)		2024	x		=	kg t
Auftragswert (Anlage, Fertigungsbetrieb, t0+1)				kg CO2e/kg der Anlage		
Gesamtgewicht Anlage		**Differenz**	*nominal*		kg	
			prozentual		%	

Anhang 7: Anwendung auf eine Anlage

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 1 Emissionen																	
1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen																	
Benzin			l	2,32	kg CO2 / l	kg CO2e				l	2,32	kg CO2 / l	kg CO2e				
Diesel			l	2,65	kg CO2 / l	kg CO2e				l	2,65	kg CO2 / l	kg CO2e				
Autogas (LPG)			l	1,79	kg CO2 / l	kg CO2e				l	1,79	kg CO2 / l	kg CO2e				
Erdgas (CNG)			l	1,63	kg CO2 / l	kg CO2e				l	1,63	kg CO2 / l	kg CO2e				
Summe 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen						kg CO2e							kg CO2e				

Anhang 8: Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 3 Emissionen																	
3.4 Vorgelagerter Transport und Verteilung																	
LKW < 7,5t			tkm	0,229	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,229	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
7,5t < LKW < 12t			tkm	0,179	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,179	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
12t < LKW < 24t			tkm	0,106	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,106	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Sattelzug 20 - 40 t			tkm	0,068	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,068	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Bahntransport			tkm	0,019	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,019	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Binnenschiff			tkm	0,022	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,022	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Seeschiff			tkm	0,004	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,004	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Flugzeug			tkm	1,06	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	1,06	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Summe 3.4 Vorgelagerter Transport						kg CO2e							kg CO2e				
3.9 Nachgelagerter Transport und Verteilung																	
LKW < 7,5t			tkm	0,229	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,229	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
7,5t < LKW < 12t			tkm	0,179	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,179	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
12t < LKW < 24t			tkm	0,106	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,106	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Sattelzug 20 - 40 t			tkm	0,068	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,068	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Bahntransport			tkm	0,019	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,019	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Binnenschiff			tkm	0,022	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,022	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Seeschiff			tkm	0,004	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	0,004	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Flugzeug			tkm	1,06	kg CO2e / tkm	kg CO2e				tkm	1,06	kg CO2e / tkm	kg CO2e				
Summe 3.9 Nachgelagerter Transport						kg CO2e							kg CO2e				

Anhang 9: Transport

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 3 Emissionen																	
3.5 Abfall																	
Papiermüll			l	2,32	kg CO2e / l	kg CO2e				l	2,32	kg CO2e / l	kg CO2e				
Biomüll			l	2,65	kg CO2e / l	kg CO2e				l	2,65	kg CO2e / l	kg CO2e				
Restmüll			l	1,79	kg CO2e / l	kg CO2e				l	1,79	kg CO2e / l	kg CO2e				
Summe 3.5 Abfall						kg CO2e							kg CO2e				

Anhang 10: Abfall

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

	Jahr	2023							2024							Differenz	
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG	nominal	prozentual
Scope 3 Emissionen																	
3.6 Geschäftsreisen																	
PKW			km	0,152	kg CO2e / km	kg CO2e				km	0,152	kg CO2e / km	kg CO2e				
Bahn			km	0,05	kg CO2e / km	kg CO2e				km	0,05	kg CO2e / km	kg CO2e				
Flugzeug			km	0,284	kg CO2e / km	kg CO2e				km	0,284	kg CO2e / km	kg CO2e				
Summe 3.6 Geschäftsreisen						kg CO2e							kg CO2e				

Anhang 11: Geschäftsreisen

Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

HECHT technologie

Name des betrachteten Unternehmens:
Basisjahr: 2023

Jahr	2023				2024				Differenz	
Name Mitarbeiter	km einfach	Arbeitstage/Woche	Arbeitstage/Jahr	Kilometer / Jahr	km einfach	Arbeitstage/Woche	Arbeitstage/Jahr	Kilometer / Jahr	nominal	prozentual
3.7 Pendeln der Mitarbeiter										
Anreise mit dem PKW										
Name Mitarbeiter 1	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 2	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 3	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 4	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 5	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 6	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 7	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 8	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 9	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 10	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 11	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 12	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 13	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 14	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 15	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 16	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 17	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 18	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 19	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 20	bitte auswählen				bitte auswählen					
SUMME Kilometer / Jahr (PKW)				km				km		
SUMME PKW	Summe KM Einheit km		Em.-faktor Einheit 0,152 $\frac{kg\,CO_2}{km}$	Emissionen Einheit kg CO2e	Summe KM Einheit km		Em.-faktor Einheit 0,152 $\frac{kg\,CO_2}{km}$	Emissionen Einheit kg CO2e		
Anreise mit dem Zug										
Name Mitarbeiter 1	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 2	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 3	bitte auswählen				bitte auswählen					
Name Mitarbeiter 4	bitte auswählen				bitte auswählen					
SUMME Kilometer / Jahr (Zug)				km				km		
SUMME Zug	Summe KM Einheit km		Em.-faktor Einheit 0,085 $\frac{kg\,CO_2}{km}$	Emissionen Einheit kg CO2e	Summe KM Einheit km		Em.-faktor Einheit 0,085 $\frac{kg\,CO_2}{km}$	Emissionen Einheit kg CO2e		
SUMME 3.7 Pendeln gesamt				kg CO2e	km			kg CO2e		

Anhang 12: Pendeln der Mitarbeiter

Excel-Formular: Numberger GmbH

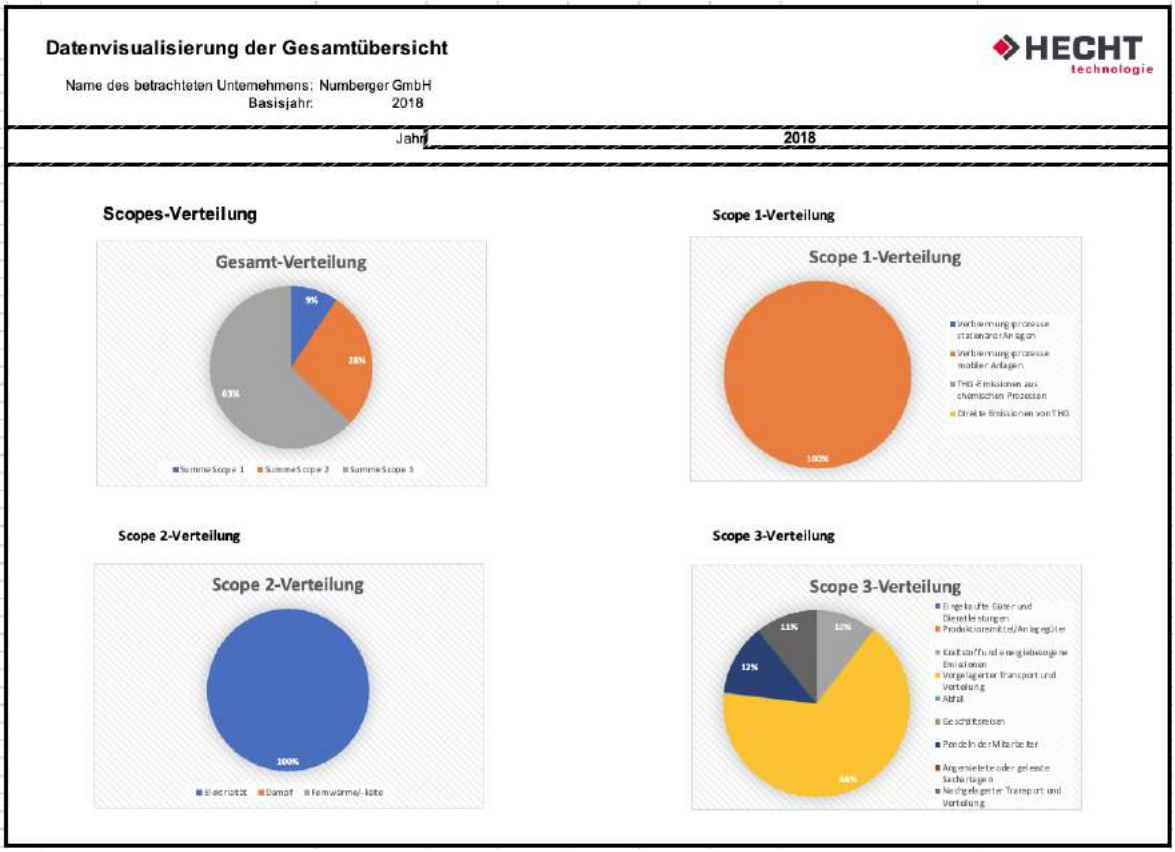
Unterstützung für Fertigungsbetriebe zur Berechnung der CO2-Äquivalente

Name des betrachteten Unternehmens: Numberger GmbH
Basisjahr: 2018

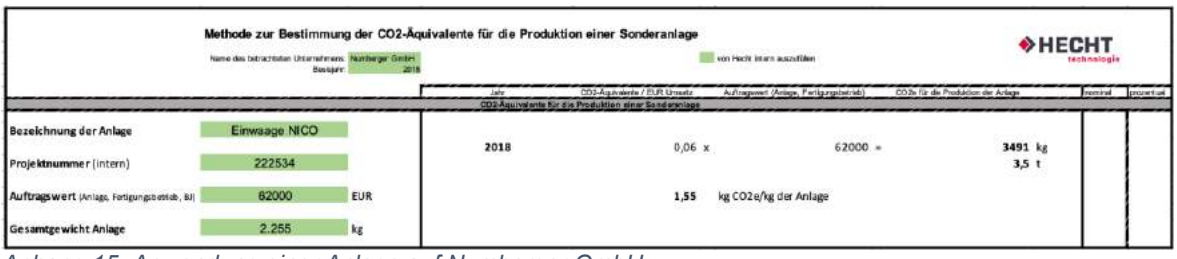
HECHT technologie

		Jahr	2018						
		Subkategorien	Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG
	Scope 1 Emissionen								
1.1	Verbrennungsprozesse stationärer Anlagen	bitte auswählen				$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$		kg CO2e	
1.2	Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen			siehe extra Blatt 1.2			15900	kg CO2e	9,4%
1.3	THG-Emissionen aus chemischen Prozessen							kg CO2e	
1.4	Direkte Emissionen von THG							kg CO2e	
	Summe Scope 1						15900	kg CO2e	9,4%
	Scope 2 Emissionen								
2.1	Elektrizität	Strom	160000	kWh	0,277	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	44320,00	kg CO2e	26,2%
		PV-Anlage	200000	kWh	0,011	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	2204	kg CO2e	1,3%
2.2	Dampf								
2.3	Fernwärme/-kälte								
	Summe Scope 2						46524	kg CO2e	27,5%
	Scope 3 Emissionen								
	Vorgelagerte Wertschöpfungskette								
3.1	Eingekaufte Güter und Dienstleistungen	Edelstahl		kg	1,5	$\frac{kg\ CO_2}{kg}$		kg CO2e	
3.2	Produktionsmittel/Anlagegüter								
3.3	Kraftstoff und energiebezogene Emissionen	PV-Anlage	200000	kWh	0,056	$\frac{kg\ CO_2}{kWh}$	11142	kg CO2e	6,6%
3.4	Vorgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			70654,8	kg CO2e	41,8%
3.5	Abfall			siehe extra Blatt 3.5			180	kg CO2e	0,1%
3.6	Geschäftsreisen			siehe extra Blatt 3.6			0	kg CO2e	0,0%
3.7	Pendeln der Mitarbeiter			siehe extra Blatt 3.7			13090	kg CO2e	7,7%
3.8	Angemietete oder geleaste Sachanlagen								
	Summe VGL						95066,8	kg CO2e	56,3%
	Nachgelagerte Wertschöpfungskette								
3.9	Nachgelagerter Transport und Verteilung			siehe extra Blatt Transport			11450	kg CO2e	6,8%
3.10	Weiterverarbeitung verkaufter Zwischenprodukte	Ausschluss durch Systemgrenzen							
3.11	Nutzung der verkauften Produkte								
3.12	Entsorgung der verkauften Produkte								
3.13	Vermietete oder verleaste Sachanlagen								
3.14	Franchise-Betriebe								
3.15	Investitionen								
	Summe NGL						11450	kg CO2e	6,8%
	Summe Scope 3						106516,8	kg CO2e	63,0%
	Summe gesamt (SG)						168,94	t CO2e	
	Anzahl Mitarbeiter	21	Mitarbeiter						
	CO2-Äquivalente pro Mitarbeiter (MA)						8,04	t CO2e / MA	
	Umsatz Fertigungsbetrieb	3000000	EUR						
	CO2-Äquivalente pro EUR Umsatz						56,31	g CO2e / EUR Umsatz	

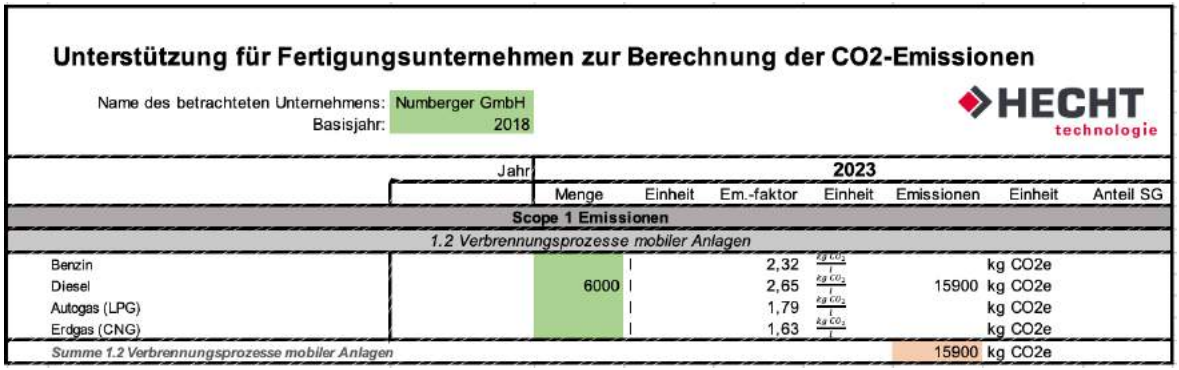
Anhang 13: Gesamtübersicht Numberger



Anhang 14: Datenvisualisierung - Numberger



Anhang 15: Anwendung einer Anlage auf Numberger GmbH



Unterstützung für Fertigungsunternehmen zur Berechnung der CO2-Emissionen

Name des betrachteten Unternehmens: Numberger GmbH
Basisjahr: 2018

HECHT technologie

	Jahr	2023						
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG
Scope 1 Emissionen								
1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen								
Benzin			l	2,32	$\frac{kg\ CO_2}{l}$		kg CO2e	
Diesel		6000	l	2,65	$\frac{kg\ CO_2}{l}$	15900	kg CO2e	
Autogas (LPG)			l	1,79	$\frac{kg\ CO_2}{l}$		kg CO2e	
Erdgas (CNG)			l	1,63	$\frac{kg\ CO_2}{l}$		kg CO2e	
Summe 1.2 Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen						15900	kg CO2e	

Anhang 16: Verbrennungsprozesse mobiler Anlagen - Numberger GmbH

Unterstützung für Fertigungsunternehmen zur Berechnung der CO2-Emissionen

Name des betrachteten Unternehmens: Numberger GmbH
Basisjahr: 2018

	Jahr	2023						
		Menge	Einheit	Em.-faktor	Einheit	Emissionen	Einheit	Anteil SG
Scope 3 Emissionen								
3.4 Vorgelagerter Transport und Verteilung								
LKW < 7,5t		124800	tkm	0,229	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	28579,2	kg CO2e	
7,5t < LKW < 12t		50000	tkm	0,179	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	8950	kg CO2e	
12t < LKW < 24t		50000	tkm	0,106	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	5300	kg CO2e	
Sattelzug 20 - 40 t		409200	tkm	0,068	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	27825,6	kg CO2e	
Bahntransport			tkm	0,019	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Binnenschiff			tkm	0,022	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Seeschiff			tkm	0,004	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Flugzeug			tkm	1,06	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Summe 3.4 Vorgelagerter Transport						70654,8	kg CO2e	
3.9 Nachgelagerter Transport und Verteilung								
LKW < 7,5t		50000	tkm	0,229	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	11450	kg CO2e	
7,5t < LKW < 12t		50001	tkm	0,179	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	8950,179	kg CO2e	
12t < LKW < 24t		50002	tkm	0,106	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	5300,212	kg CO2e	
Sattelzug 20 - 40 t		25000	tkm	0,068	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$	1700	kg CO2e	
Bahntransport			tkm	0,019	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Binnenschiff			tkm	0,022	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Seeschiff			tkm	0,004	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Flugzeug			tkm	1,06	$\frac{kg\ CO_2}{tkm}$		kg CO2e	
Summe 3.9 Nachgelagerter Transport						11450	kg CO2e	

Anhang 17: Transport Numberger