

---

# Diplomarbeit

---

Herr Ingenieur  
**Najdoski Daniel**

## **Bestimmung des CO<sub>2</sub> – Fußabdruckes von Interieurverkleidungen in der Automobilindustrie**

Mittweida, 2023

Fakultät | Ingenieurwissenschaften

---

# Diplomarbeit

---

## Bestimmung des CO<sub>2</sub> – Fußabdruckes von Interieurverkleidungen in der Automobilindustrie

Autor:

**Herr Ingenieur**

**Daniel Najdoski**

Studiengang:

**Diplomstudiengang**

Seminargruppe:

**Maschinenbau - Mechatronik**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Jörg Hübler**

Zweitprüfer:

**Dipl. Ing. Alexander Male**

Einreichung:

**31.12.2023**

Verteidigung/Bewertung:

Faculty | Engineering Sciences

---

# Thesis

---

## **Determination of the CO<sub>2</sub> – Footprint of interior trims in the automotive industry**

author:  
**Mr. Engineer**

**Daniel Najdoski**

course of studies:  
**Diploma Course**

seminar group:  
**mechanical engineering - mechatronics**

first examiner:  
**Prof. Dr.-Eng. Jörg Hübler**

second examiner:  
**Dipl. Ing. Alexander Male**

submission:  
**31.12.2023**

defence/ evaluation:

## **Bibliografische Beschreibung**

Daniel Najdoski:

Bestimmung des CO<sub>2</sub> - Fußabdruckes von Säulenverkleidungen in der  
Automobilindustrie

Determination of the CO<sub>2</sub> - footprint of pillar coverings in automotive industry

Seiten 95, Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,  
Diplomarbeit, 2023

## **Referat:**

In dieser Diplomarbeit geht es um die Herleitung und Berechnung des CO<sub>2</sub> - Fußabdruckes von Säulenverkleidungen eines Produktionswerkes, welches im Tier 1 Segment tätig ist.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	15
2	Treibhausgasbilanzen .....	16
2.1	LCA als Instrument .....	16
2.2	Begriffsdefinitionen .....	17
2.3	Grundsatz -Festlegung von Berichtsgrenzen .....	18
2.4	Kategorien der Treibhausgasbilanzen: .....	18
2.4.1	Direkte Treibhausgase und Entzug direkter THG .....	18
2.4.2	Indirekte THG-Emissionen: .....	19
2.5	Quantifizierung von Treibhausgasquellen .....	19
2.5.1	Berechnung als Quantifizierungsansatz von Treibhausgasemissionen und ..... des Entzugs von Treibhausgasen .....	20
2.5.2	Definition Treibhausgaspotential [CO <sub>2</sub> Äquivalente] .....	20
2.5.3	Wirkungsintensitäten .....	20
3	Gegebenheiten .....	21
4	Definition der Baugruppe .....	21
5	Prozesskette .....	22
5.1	Aufbereitung des Kunststoffgranulates .....	23
5.1.1	Zentralvakuum .....	23
5.1.2	Granulat Förderung .....	24
5.1.3	Granulat Trocknung .....	24
5.2	Stanzen .....	26
5.2.1	Materialverbrauch .....	27
5.3	Spritzgießen .....	28
5.3.1	Form schließen .....	28
5.3.2	Düse anpressen .....	28
5.3.3	Einspritzen und Nachdruck .....	29
5.3.4	Aushärte (Kühlzeit) .....	29
5.3.5	Dosieren .....	29
5.3.6	Düse Abheben .....	30
5.3.7	Entformen .....	30
5.3.8	Formhälften – Werkzeug .....	30
5.3.9	Temperierung .....	32
5.3.10	Zykluszeit .....	34
5.4	Indexplatte .....	34

5.5	Robotergreifersystem.....	35
5.5.1	Roboteranwendung .....	36
5.5.2	Greifer.....	36
5.5.3	Arbeitsweg .....	37
5.6	Interieurfinisher .....	38
5.6.1	Dampfeinheit .....	38
5.6.2	Finisheinheit.....	38
5.7	Laserbeschnitt.....	39
5.7.1	Roboter.....	40
5.7.2	Laserschale und Drehtisch.....	40
5.7.3	Laserschneidetechnik .....	41
5.7.4	Prozessablauf.....	42
5.7.5	Absaugung und Filtertechnik .....	42
5.7.6	Systemkühlung.....	44
5.8	Händische Montage .....	45
5.9	Heißumbug .....	46
5.9.1	Oberwerkzeug .....	47
5.9.2	Unterwerkzeug .....	47
5.10	Kontrolle & Verpacken .....	48
5.11	Transport.....	48
5.12	Geplanter Ausschuss.....	49
6	Materialien .....	49
6.1	Trägermaterial .....	50
6.2	Oberware .....	50
6.2.1	Kaschierung.....	51
6.2.2	Dinamica .....	52
6.3	Anbauteile .....	54
6.3.1	Akkustikvlies .....	54
6.3.2	Splitterschutz .....	55
6.3.3	Formteile .....	56
6.3.4	Lautsprecherblende.....	59
6.3.5	Metallklammern.....	60
7	Transport.....	61
7.1	Logistikkonzept .....	62
8	Verpackung.....	63
9	Strombereitstellung.....	65

9.1	Strom aus Eigenproduktion.....	66
10	Bereitstellung von Druckluft .....	66
10.1	Anwendung auf das Produkt.....	67
11	Wasser für den Fertigungsablauf .....	68
11.1	Kühlwasser .....	68
11.2	Wasseraufbereitung .....	69
11.3	Wasserverbrauch.....	70
11.4	Dampfherstellung.....	70
12	Abfall.....	71
12.1	Recycling.....	71
12.1.1	Schreddern .....	72
12.1.2	Extrusion .....	73
12.1.3	Granulierung.....	74
13	Erfassung der Verbrauchsdaten.....	74
13.1	Messinstrument.....	75
13.2	Interpretation der erfassten Messdaten .....	75
13.2.1	Druckluftkompressor .....	75
13.2.2	Trockner .....	76
13.2.3	Vakuumanlage .....	76
13.2.4	Umbuganlage .....	77
13.2.5	Lasieranlage .....	78
13.2.6	ABB-Roboter .....	78
14	CO <sub>2</sub> -Bilanz des Produktionsstandortes .....	79
14.1	Verbrauch elektrischer Energie .....	79
14.2	Verbrauch von Gas.....	80
14.3	Emissionen .....	81
14.4	Abfall.....	81
14.5	Wasserverbrauch.....	83
15	Zukunftsvisionen .....	84
15.1	Re Oil.....	84
15.2	Oberware aus Recyclingmaterial .....	85
15.2.1	Pure Pure Dinamica .....	85
15.2.2	CO <sub>2</sub> - Fußabdruck als Anfragekriterium .....	86
16	Berechnung .....	86
16.1	Berechnungsannahmen.....	88
16.2	Ergebnisse.....	89

16.3	Interpretation der Ergebnisse.....	89
17	Conclusio .....	90

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: LCA – ANALYSE: CRADLE TO "GATE" UND CRADLE TO "GRAVE" [4].....	16
ABBILDUNG 2: OVERHEADBEREICH IM AUTOMOBILBAU [28].....	21
ABBILDUNG 3 FERTIGUNGSPROZESSLAYOUT.....	22
ABBILDUNG 4: PROZESSLAYOUT.....	23
ABBILDUNG 5: GRANULATROCKNERANLAGE INKL. TRICHTER UND SAUGFÖRDERGERÄT [31].....	25
ABBILDUNG 6: STANZANLAGE [33].....	27
ABBILDUNG 7: STANZVORGANG ZUR PLATINENHERSTELLUNG.....	27
ABBILDUNG 8: ENGEL SPRITZGIEßANLAGE [29].....	30
ABBILDUNG 9: FLUSS DER KUNSTSTOFFMASSE INS FORMWERKZEUG [15].....	31
ABBILDUNG 10: PROZESSSCHRITT "ENTFORMUNG" [15].....	31
ABBILDUNG 11: ALLGEMEINER AUFBAU EINES SPRITZGUSSWERKZEUGES [15].....	32
ABBILDUNG 12: TEMPERIERGERÄT ZUR WERKZEUGTEMPERIERUNG DES HERSTELLERS "HB-THERM" [13]...	33
ABBILDUNG 13: PLATTENWÄRMETAUSCHER ZUR KÜHLUNG DES ANTRIEBSMEDIUMS [7].....	33
ABBILDUNG 14: EINGESETZTE INDEXPLATTE ZUR PLATINENPOSITIONIERUNG.....	35
ABBILDUNG 15: ABB ROBOTERSYSTEM IRB6700 [2].....	36
ABBILDUNG 16: GREIFERSYSTEM FÜR ROBOTHERHANDLING [12].....	37
ABBILDUNG 17: BEISPIELFOTO SÄULENAUFNAHME MITTELS GREIFERSYSTEM [27].....	37
ABBILDUNG 18: BEWEGUNGSBAHN UND ANORDNUNGSMÖGLICHKEITEN DES ABB – ROBOTERS [2].....	38
ABBILDUNG 19: INTERIEURFINISHER [25].....	39
ABBILDUNG 20: LASERSCHNEIDEVORRICHTUNG.....	40
ABBILDUNG 21: CO <sub>2</sub> – LASERROBOTER [24].....	41
ABBILDUNG 22: HERDING FILTERTECHNIKANLAGEN [14].....	43
ABBILDUNG 23: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG WIRKUNGSFLUSS CHILLER UND DIE ZU KÜHLENDE ANLAGE [23]	44
.....	
ABBILDUNG 24: AUFBAU DER RÜCKKÜHLANLAGE [23].....	45
ABBILDUNG 25: UMBUGANLAGE UND UMBUGWERKZEUG [3].....	46
ABBILDUNG 26: OBER- UND UNTERWERKZEUG DER C-SÄULENVERKLEIDUNG.....	48
ABBILDUNG 27: HOSTACOM 330 EKC IN GRANULATFORM [18].....	50
ABBILDUNG 28: TEXTILAUFBAU IM ZUGE DES COPEES KASCHIERVERFAHRENS [35].....	52
ABBILDUNG 29: HERSTELLUNGSVERFAHREN DER DINAMICA OBERWARE [8].....	53
ABBILDUNG 30: SCHALLISOLIERUNG FÜR A- UND C-SÄULENVERKLEIDUNG.....	55
ABBILDUNG 31: SPLITTERSCHUTZ A-SÄULENVERKLEIDUNG.....	55
ABBILDUNG 32: BEISPIELBILD DES MASTERBATCHES IN DER KUNSTSTOFFVERARBEITUNGSINDUSTRIE [11]...	56
ABBILDUNG 33: AIRBAGLOGO DER B-SÄULENVERKLEIDUNG.....	57
ABBILDUNG 34: GURTHÖHENVERSTELLER DER B-SÄULENVERKLEIDUNG.....	58
ABBILDUNG 35: MANTELHAKEN DER B-SÄULENVERKLEIDUNG.....	59
ABBILDUNG 36: LAUTSPRECHERBLENDE DER A-SÄULENVERKLEIDUNG.....	60
ABBILDUNG 37: DARSTELLUNG "TANK TO WHEEL" UND "WELL TO TANK" [30].....	62
ABBILDUNG 38: LOGISTIKKONZEPT.....	63
ABBILDUNG 39: VERGLEICH TRANSPORTWEGE SUPPLY CHAIN ZU CUSTOMER CHAIN.....	64
ABBILDUNG 40: PRINZIP DARSTELLUNG EINES WASSERKRAFTWERKES [36].....	66
ABBILDUNG 41: EINGESETZTER SCHRAUBENKOMPRESSOR ZUR DRUCKLUFTERZEUGUNG [16].....	67
ABBILDUNG 42: GRUNDWASSEREINSPEISUNG [34].....	69
ABBILDUNG 43: WASSERAUFBEREITUNG [1].....	69
ABBILDUNG 44: DAMPFKESSEL ZUR DAMPFERZEUGUNG IM KESSELHAUS.....	71
ABBILDUNG 45 SORTENREINE SAMMLUNG VON PP-ANFAHRTEILEN.....	72
ABBILDUNG 46: TRANSPORTFÖRDERBAND ROHLINGE ZU SCHREDDERANLAGE UND EXTRUDERVORGANG.....	73
ABBILDUNG 47: EXTRUDER RECYCLINGANLAGE.....	73
ABBILDUNG 48: ABFÜLLUNG DES RECYCLINGMATERIALES.....	74
ABBILDUNG 49: FUNKTIONSBESCHREIBUNG DES MESSINSTRUMENTES [37].....	75
ABBILDUNG 50: AUFZEICHNUNG DES VOLUMENSTROMES DES DRUCKLUFTKOMPRESSORS BEI GENANNTER LEISTUNGS-AUFNAHME.....	76
ABBILDUNG 51: MESSAMPLITUDE DES GRANULATROCKNUNGSANLAGE.....	76
ABBILDUNG 52: LEISTUNGS-AUFNAHME DER VAKUUMANLAGE.....	77

ABBILDUNG 53: LEISTUNGS-AUFNAHME DER UMBUGANLAGE .....	77
ABBILDUNG 54: LEISTUNGS-AUFNAHME DER LASERANLAGE .....	78
ABBILDUNG 55: LEISTUNGS-AUFNAHME ABB - ROBOTER .....	78
ABBILDUNG 56: STROMVERBRAUCH DES PRODUKTIONSWERKES [22] .....	80
ABBILDUNG 57: GASVERBRAUCH FÜR DAS PRODUKTIONSWERK [22] .....	80
ABBILDUNG 58: QUANTIFIZIERUNG DES CO <sub>2</sub> EMISSIONEN FÜR DAS PRODUKTIONSWERK [22] .....	81
ABBILDUNG 59: ABFALLÜBERSICHT DES PRODUKTIONSWERKES [22] .....	82
ABBILDUNG 60: VERWERTUNG DER GEFAHRENSTOFFE [22] .....	83
ABBILDUNG 61: WASSERVERBRAUCH FÜR DAS PRODUKTIONSWERK [22] .....	83
ABBILDUNG 62: SCHEMATISCHES FUNKTIONSPRINZIP DES "ReOil" VERFAHRENS [21] .....	84
ABBILDUNG 63: RECYCELTE FASERN FÜR DIE HERSTELLUNG VON PUREPURE DINAMICA [9] .....	86
ABBILDUNG 64: COVER DER DATA COLLECTION .....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Begriffsdefinitionen in der THG – Bilanzierung

Tabelle 2: Übersicht Metallklammern

Tabelle 3: Transport Übersicht

Tabelle 4: Druckluftbedarf der einzelnen Systeme

Tabelle 5: Wasserverbrauch der einzelnen Systeme in der Säulenproduktion

Tabelle 6: Aufschlüsselung der CO<sub>2</sub>- Äquivalente je Säulenprodukt

## Abkürzungsverzeichnis

°C	<b>Grad Celsius</b>
CO <sub>2</sub>	<b>Kohlenstoffdioxid</b>
COP	<b>Carry Over Part</b>
CAD	<b>Computer Aided Design</b>
IPCC	<b>Intergovernmental Panel on Climate Change</b>
Ebom	<b>Electronic bill of materials</b>
Fifo	<b>First in first out</b>
FF	<b>Fertiges Fabrikat</b>
HF	<b>Halbfertiges Fabrikat</b>
ICE	<b>Internal Combustion Engine</b>
JIT	<b>Just In Time</b>
kN	<b>kilo Newton</b>
kW	<b>kilo Watt</b>
kW/h	<b>kilo Watt per Hour</b>
LCA	<b>Life Cycle Assesment</b>
OEM	<b>Original Equipment Manufacturer</b>
m <sup>3</sup>	<b>Kubikmeter</b>
THG	<b>Treibhausgas</b>
SPG	<b>Spritzgießen (Spritzguss)</b>
PP	<b>Polypropylen</b>
PET	<b>Polyethylenterephthalat</b>

## Vorwort

Diese Arbeit soll das Ziel verfolgen, einzelne Teile, Fertigungsprozesse und Werkstoffe sowie Fügetechniken speziell an Säulenverkleidungen im Automobilbau auf ihre Klimabilanz zu untersuchen. Unter Berücksichtigung der Rohstoffe, deren Herstellungsverfahren und der sich ergebenden Transportwege bis zum fertigen Endprodukt soll am Ende ein gesamtheitlicher Überblick über den CO<sub>2</sub> - Fußabdruck eines Säulensatzes entstehen.

Das generische Maskulinum adressiert alle Leser und Leser und gilt in allen Fällen, in denen dies nicht explizit ausgeschlossen wird, für alle Geschlechter. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich gleichermaßen auf weibliche, männliche und diverse Personen

## Aufgabenstellung

In dieser Diplomarbeit soll der CO<sub>2</sub> - Fußabdruck von Innenraumverkleidungen im Automobilbau bestimmt werden. Anhand der angewendeten Prozesse sollen Datensätze für die einzelnen Fertigungs- und Transportverfahren berechnet werden. In Verbindung mit den dazugehörigen Rohstoffen und Zukaufteilen soll daraus ein Excel Tool entstehen, welches einen Diagrammfluss für die CO<sub>2</sub> - Bilanz darstellt.

Um dieser Aufgabenstellung nachzugehen, müssen folgende Tätigkeiten durchgeführt werden:

- Einarbeitung in das Themengebiet und Technologie sowie Durchführung einer Grundsatzbetrachtung
- Erarbeitung der Herangehensweise für die Erfassung der Daten
- Abstimmung mit Umwelttechnik und Erfassung des Projektes
- Analyse und Begutachtung der Fertigungsprozesse im Zusammenhang mit Stücklisten, Anlagenspezifikationen und Projektpflichtenheft
- Kommunikation mit den Anlagen- und Werkzeugherstellern
- Kommunikation mit Lieferanten und Einholung ihrer Daten und Aussagen zur Klimabilanz
- Anwendung von Messmethoden zur Bestimmung der elektrischen Verbrauchsleistungen
- Aufbau der Datenerfassung und Berechnungsweise in Excel

## 1 Einleitung

Die Themen Carbon Footprint und Life Cycle Assessment (LCA) gewinnt stetig mehr an Bedeutung, vor allem in der Fahrzeugindustrie, in der aktuell eine Transformation vom Verbrennungsmotor hin zur Elektromobilität stattfindet. Daher ist die Anforderung der OEM's gegenüber ihrer Lieferanten den CO<sub>2</sub> - Fußabdruck der zugelieferten Produkte auszuweisen. Neben den Komponenten aus den Baugruppen Triebwerk, Antriebsstrang und Fahrwerk gibt es zusätzlich das Interieur, welches ebenfalls maßgeblich für die Klimabilanz eines Fahrzeuges sein kann. Dieses besteht aus den Sitzen, Cockpit, Türtafeln und den sogenannten „Overhead“ zu Deutsch „Überkopfverkleidungen“. Auf Basis einer Kundenanfrage, soll der Carbon Footprint für diese Innenraumbaugruppe Säulenverkleidungen ausgewiesen werden. Anhand dieser Anfrage wurde in Zusammenarbeit mit dem Zulieferer der Säulenverkleidungen diese Aufgabenstellung verarbeitet, um den Bericht gemäß den unternehmensinternen als auch internationalen Standards zu präsentieren.

## 2 Treibhausgasbilanzen

Durch das Pariser Klima Abkommen im Jahr 2015 wurde ein weltweiter Meilenstein für eine Umwelt, frei von Schadstoffen aus fossilen Energieträgern, gesetzt. Nahezu 200 Länder dieser Welt, einschließlich Ölexport-Länder haben sich dazu verpflichtet den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur unter zwei Grad Celcius zu halten.

### 2.1 LCA als Instrument

Die Life Cycle Assessment – Analyse, beschreibt die Umweltauswirkung eines Produktes über seinen gesamten Lebenszeitraum. Demnach umfasst die LCA - Analyse zwei Betrachtungsweisen:

- Cradle to Gate – „von der Wiege bis zum Tor“
- Cradle to Grave – „von der Wiege bis zum Grab“

Diese Begrifflichkeiten sagen aus, dass die Analyse des Lebenszyklus eines Produktes von der Rohstoffgewinnung („Wiege“) bis hin zum Verbraucher („Tor“) betrachtet werden oder darüber hinaus bis zur Nutzung und Entsorgung („Grab“). Die Umfassung der Lebenszyklus Analyse kann wie in Abbildung 1 veranschaulicht werden. [4]

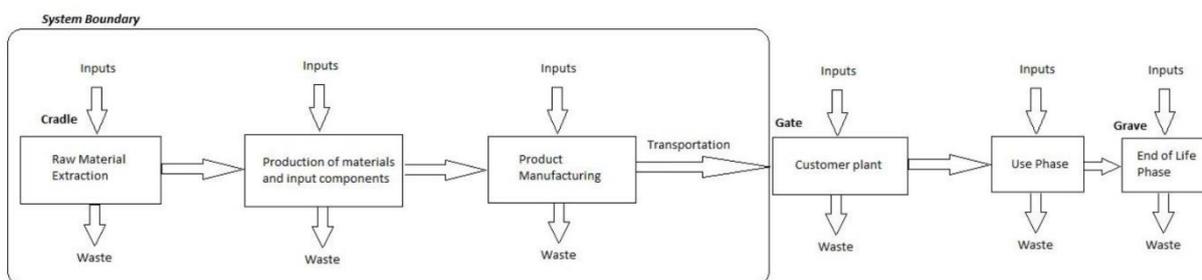


Abbildung 1: LCA – Analyse: Cradle to "Gate" und Cradle to "Grave" [4]

In der Praxis spricht man auch von einer „stromabwärts“ und einer „stromaufwärts“ Analyse. Im Kontext bedeutet dies alle Prozesse vor als auch nach dem eigentlichen Hauptproduktionsprozess zu durchleuchten. Dies beinhaltet Vorprozesse wie

Rohstoffbeschaffung, Vorlogistik, Materialaufbereitung sowie Verpackung, Transport und andere nachgeordnete Aktivitäten.

Um die Bilanzierung der Treibhausgase nachvollziehen zu können, soll die nachfolgende Tabelle, die in dem Kapitel 2 relevanten Begrifflichkeiten erläutern.

## 2.2 Begriffsdefinitionen

Tabelle 1 Begriffsdefinitionen in der THG - Bilanzierung

Begriff	Erläuterung
Treibhausgas [THG]	Gase in der Atmosphäre, die die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in das All verhindern
Treibhausgas Quelle THG-Quelle	Prozess bei dem THG in die Atmosphäre freigesetzt wird
Treibhausgassenke THG-Senke	Prozess bei dem THG aus der Atmosphäre entzogen wird
Treibhausgasemissionen THG-Emissionen	in die Atmosphäre freigesetztes THG
Entzug von Treibhausgasen	Entzug eines THGs aus der Atmosphäre durch THG-Senken.
Treibhausgas-Emissionsfaktor THG - Emissionsfaktor	Faktor, der die THG-Aktivitätsdaten mit der THG-Emission verbindet
Treibhausgas-Entzugsfaktor THG-Entzugsfaktor	Faktor, der die THG-Aktivitätsdaten mit dem Entzug von THG verbindet
direkte Treibhausgasemission direkte THG-Emission	THG-Emission aus THG-Quellen im Besitz oder unter Kontrolle einer Organisation
Entzug direkter Treibhausgasemission Entzug direkter THG-Emission	Entzug von THG durch THG-Senken im Besitz oder unter der Kontrolle der Organisation
indirekte Treibhausgasemission indirekte THG-Emission	THG-Emission infolge des Betriebs und der Tätigkeiten einer Organisation, die aus THG-Quellen stammen, die sich nicht im Besitz oder unter der Kontrolle der Organisation befinden
Treibhauspotential	Index auf der Grundlage der Strahlungseigenschaften von THG, der den Strahlungsantrieb nach einer Impulsemission einer Masseinheit eines gegebenen THGs in der aktuellen Atmosphäre über einen gewählten Zeitrahmen im Vergleich zum Strahlungsantrieb von Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) misst
Kohlendioxid-Äquivalent	Einheit zum Vergleich des Strahlungsantriebs eines THGs mit dem von Kohlendioxid
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Ecoinvent	Zentraledatenbank für Ökobilanzen

## 2.3 Grundsatz -Festlegung von Berichtsgrenzen

Ein Unternehmen bzw. eine Organisation muss für die Treibhausgasbilanz in erster Instanz die Berichtsgrenzen festlegen und dokumentieren. Hier gilt es die direkten und indirekten THG-Emissionen und entzogener THG-Emissionen zu identifizieren bzw. in Verbindung mit den Betriebsabläufen des Unternehmens zu setzen. Weiters ist der Zeitraum, für den THG-Emissionen oder der Entzug von Treibhausgasen berechnet wurden, anzugeben. [20]

## 2.4 Kategorien der Treibhausgasbilanzen:

Treibhausgase sind für das Aufstellen einer Bilanz, wie folgt zu kategorisieren:

- Direkte Treibhausgase und Entzug direkter THG
- Indirekte THG-Emissionen
- aus importierter Energie
- Indirekte Treibhausgas Emissionen aus Transport
- Indirekte Treibhausgas Emissionen aus von der Organisation genutzten Produkten
- Indirekte Emissionen aus anderen Quellen

[20]

### 2.4.1 Direkte Treibhausgase und Entzug direkter THG

Direkte THG-Emissionen und der Entzug von direkten Treibhausgasen aus Quellen oder Senken treten innerhalb der angesetzten Grenzen auf bzw. befinden sich im Besitz oder unter Kontrolle der Organisation. Diese Quellen können stationär z.B. Heizgeräte, Fertigung, Stromgeneratoren oder mobil z.B. Fahrzeuge, interne Transportmittel sein. [20]

#### 2.4.2 Indirekte THG-Emissionen:

Bei den indirekten Treibhausgas Emissionen muss definiert werden, welche indirekten Emissionen einfließen sollen. In einer Wesentlichkeitsbetrachtung soll definiert und erläutert werden, welche indirekten Treibhausgase für die Bilanz relevant sind. Faktoren für die Wesentlichkeit können Größen sein wie z.B.: Volumen der Emission, Einflussgrad auf Quellen und Senken oder Zugang zu Informationen und die Genauigkeit der Erfassung.

##### **Indirekte THG-Emissionen aus importierter Energie**

umfasst Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in Verbindung mit der Endproduktion von Energie und Betriebsmitteln wie Strom, Wärme, Dampf, etc.;

##### **Indirekte Treibhausgas Emissionen aus dem Transport**

Diese Quellen sind mobil und entstehen hauptsächlich von in Transportmitteln verbrannten Kraftstoffen.

##### **Indirekte Treibhausgas Emissionen aus von der Organisation genutzten Produkten**

Treibhausgase in Verbindung mit der Nutzung von Produkten der Organisation oder durch von der Organisation verkaufte Produkte entstehen während der Lebensdauerphasen nach dem Produktionsprozess der Organisation.  
[20]

#### 2.5 Quantifizierung von Treibhausgasquellen

Als Quantifizierungsansatz wird der Prozess bezeichnet, bei dem die Erfassung von Daten und die Bestimmung der Emissionen oder des Entzuges bestimmt werden. THG-Emissionen oder der Entzug können mittels Messung, Anwendung von Modellen oder durch Berechnung bestimmt werden.

Zum Beispiel: Die zur Quantifizierung verwendeten Daten können Durchschnittswerte des LKW-Kraftstoffverbrauchs und seine Eigenschaften als Standard für die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs umfassen. Außer im Fall der Messung von Emissionen oder des Entzuges, muss die Organisation Modelle für den Quantifizierungsansatz auswählen oder entwickeln. Ein Modell zeigt, wie die für die

Quantifizierung verwendeten Daten über Quellen oder Senken in Emissions- oder Entzugswerte umgewandelt werden. Ein Modell ist eine Vereinfachung physikalischer Prozesse, die Annahmen und Beschränkungen umfasst. [20]

### 2.5.1 Berechnung als Quantifizierungsansatz von Treibhausgasemissionen und des Entzugs von Treibhausgasen

Wie bereits zuvor erwähnt, müssen die Zeitgrenzen für die Berechnung der THG-Emissionen angegeben werden. Bei der Berechnung müssen alle Arten von Treibhausgasen in sogenannte Treibhauspotentiale, das heißt in CO<sub>2</sub>- Äquivalente, umgerechnet werden. Standardisiert sollte diese Umrechnung nach IPCC durchgeführt werden, falls nicht, muss dies begründet werden. Der Zeitrahmen des Potentials muss dabei 100 Jahre betragen. [20]

### 2.5.2 Definition Treibhausgaspotential [CO<sub>2</sub> Äquivalente]

Da sich die Wirkungsintensitäten und der Verbleib in der Atmosphäre bei den verschiedenen Gasen unterscheidet, versucht ein Maß für die Erderwärmungswirkung (rel. Erderwärmungswirkung) unterschiedlicher Treibhausgase anzugeben. Dabei wird CO<sub>2</sub> als Referenzgas herangezogen. Das rel. Treibhausgaspotential drückt die Erwärmungswirkung eines Treibhausgases über 100 Jahre im Vergleich zu derjenigen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) aus. Methan hat beispielsweise das CO<sub>2</sub>-Äquivalent 28. Dies bedeutet, dass ein Kilogramm Methan der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 28-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm CO<sub>2</sub> [20]

### 2.5.3 Wirkungsintensitäten

Obwohl neben Kohlendioxid auch andere FCKW's existieren, wird davon ausgegangen, dass es in der direkten Produktionsphase keine Berührungspunkte oder Freisetzung solcher Gase gibt. Das eingesetzte Kältemittel für den Betrieb der Rückkühlanlage bildet ein geschlossenes System und stellt daher weder einen Ausstoß noch eine relevante Berücksichtigung dar.

### 3 Gegebenheiten

Die vorliegende Studie basiert auf der Annahme, dass eine vollständige Quantifizierung aller Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit Säulenverkleidungen am Produktionsstandort aufgrund begrenzter Messmöglichkeiten und Ressourcen nicht durchführbar ist. Daher stützt sich die CO<sub>2</sub> - Bilanzierung dieser Arbeit auf die verfügbaren Daten der Lieferant hinsichtlich CO<sub>2</sub> - Äquivalenten sowie auf Informationen bezüglich Transportemissionen. Die Emissionen anderer Treibhausgase am Produktionsstandort, die nicht direkt von dem Lieferanten geliefert werden, bleiben unberücksichtigt.

### 4 Definition der Baugruppe

Die Untersuchung bezieht sich auf den angefragten Säulenumfang, welcher aus A, B, C und einer D-Säulenverkleidung besteht. A, B und C-Säulenverkleidung sind sogenannte dekorhinterspritzte Kunststoffbauteile. Nur die D-Säulenverkleidung ist ein genarbttes bzw. ein reines Kunststoffbauteil ohne textile Oberfläche.



Abbildung 2: Overheadbereich im Automobilbau [28]

Um alle bauteilrelevanten und technischen Hintergrunddaten zu erfassen, wurde auf das projektspezifische „Technical Data Sheet“, als auch auf die jeweiligen Stücklisten und auf das Pflichtenheft des Projektes zugegriffen. Um das LCA fachgerecht durchführen zu können, wurde in erster Linie die werksinterne Produktion von der restlichen Lieferkette abgegrenzt und in alle Prozessschritte untergliedert. Der restliche „indirekte – Umfang“ wurde schrittweise an die Hauptproduktion angeknüpft. Informationen zu allen fremdbezogenen

Rohmaterialien oder Dienstleistungen wurden in Zusammenarbeit mit den LieferantInnen ausgearbeitet und abgestimmt. Darüber hinaus wurden bei fehlenden Informationsflüssen Näherungen oder Schätzungen betrachtet.

## 5 Prozesskette

Für die Erfassung der internen bzw. direkten Emissionen muss die Prozesskette auf ihre einzelnen Glieder unterteilt werden. Dies beinhaltet folgende Prozessschritte:

- Trocknung des Kunststoffgranulates
- Stanzen
- Spritzgießen
- Dämpfen
- Laserbeschnitt
- Heißumbug
- Verpackung
- Transport zum OEM

Abbildung 3 beschreibt den Prozess der Hauptproduktion, die Verkettung der einzelnen Prozessschritte sowie das Prozesslayout in der Säulenproduktion. Daraus lässt sich erkennen, dass es sich um einen eng aneinanderknüpfenden Prozess handelt, bei dem alle Schritte aufeinander abgestimmt sein müssen. Abweichungen können direkt zu negativen Umwelteinflüssen führen wie z.B.: erhöhter Ausschuss oder Defekte an Maschine und Werkzeug.

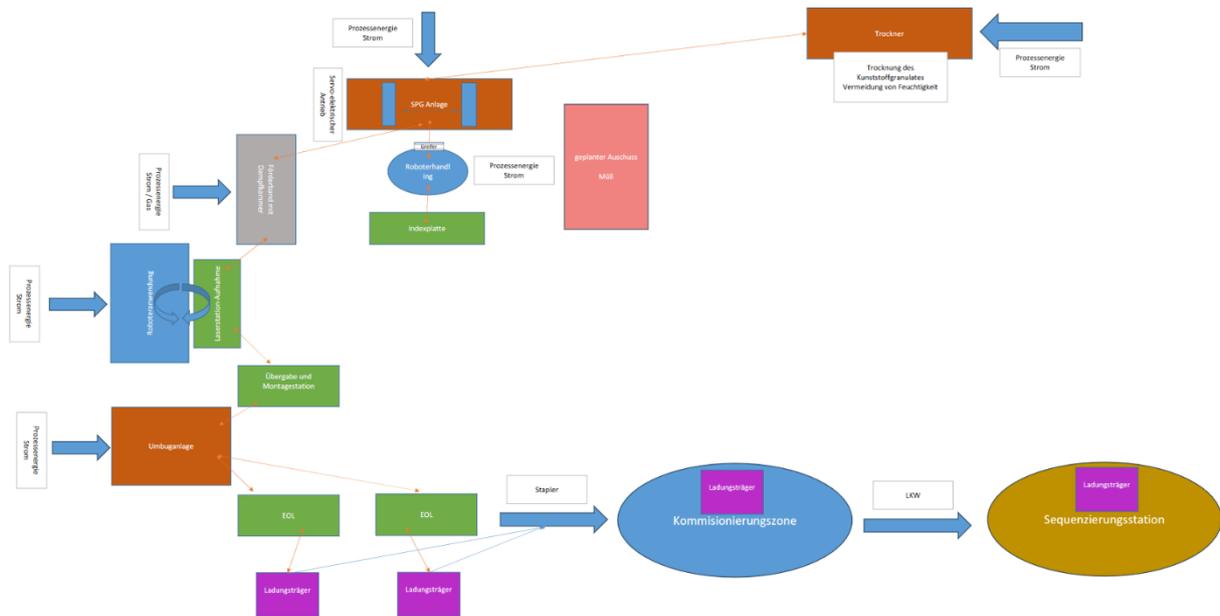


Abbildung 4: Prozesslayout

## 5.1 Aufbereitung des Kunststoffgranulates

Das Bereitstellen von Granulat in der Kunststoffverarbeitung umfasst dabei mehrere aufeinander abgestimmte bzw. parallellaufende Prozesse. Um diesen in der LCA - Analyse der Säulenprodukte einfließen zu lassen, muss jeder dieser Prozessschritte analysiert werden. Im Kapitel 5.1 werden folgende Aspekte betrachtet:

- Erzeugung des Zentralvakuums
- Granulat Förderung
- Granulat Trocknung

### 5.1.1 Zentralvakuum

In großen Produktionsstätten mit zahlreichen Fördergeräten und vielen Abnahmestellen, somit auch häufigen Förderzyklen und langen Förderstrecken wird die automatische Materialversorgung durch ein zentrales Permanent - Vakuumsystem (Zentralvakuum) gelöst.

Ein permanentes Zentralvakuum hat eine zentrale Vakuumleitung, an der alle Fördergeräte und der Zentralfilter angeschlossen sind. In der Vakuumleitung, welche einen großen Durchmesser hat, steht permanent ein Vakuum an. Einmal um Druckschwankungen auszugleichen und gleichzeitig als „Unterdruckspeicher“.

Somit erlaubt das permanente Zentralvakuum jederzeit einen Fördervorgang, ohne dass zuvor auf einen Gebläseanlauf gewartet werden muss. Die Pumpensteuerung übernimmt eine bedarfsabhängige Zu - oder Abschaltung der Pumpe bzw. regelt die Pumpenleistung [19].

Die Hauptverbraucher für das LCA sind die Pumpe für die Vakuumerzeugung und das Vakuumbergebläse, um den erzeugten Unterdruck zu stabilisieren bzw. um den Luftstrom zu fördern und das Niveau zu regulieren. Mittels moderner Steuerung der Systemleistung werden Pumpe, bzw. Gebläse bei Bedarfsmeldungen zugeschaltet. Aus diesem Grund wurde für die Bestimmung des Energiebedarfes eine Lastprofilanalyse mittels Leistungsmessgeräten der Verbraucher durchgeführt.

### 5.1.2 Granulat Förderung

Um das Granulat vom Ausgangszustand (Anlieferung im Oktobin) in den Trockner bzw. vom Trockner zur Spritzgießanlage zu transportieren werden Fördergeräte verwendet. Das Fördergerät ist auf der jeweiligen Station befestigt und fördert eine definierte Menge an Material in seinen Behälter. Ist der Behälter gefüllt, wird das Material entleert. Der Befehl des Förderns wird über einen Anforderungssensor eingeleitet. Ein Vakuumventil öffnet die Vakuumleitung und durch den anliegenden Unterdruck des Zentralvakuums wird das Material angesaugt. Sobald die gewünschte Füllmenge erreicht ist, schließt das Vakuumventil die Vakuumleitung. Aufgrund der sehr geringen Steuerleistung als auch des geringen Druckluftverbrauches wird die Förderung im Energieaufwand vernachlässigt [19].

### 5.1.3 Granulat Trocknung

In der Kunststoffverarbeitung wirkt sich die Feuchte des Materials entscheidend auf die Prozesssicherheit und die Produktqualität aus. So kann beim Spritzgießen eine zu hohe Feuchte vielfältige Probleme verursachen. Betroffen sind sowohl der Verarbeitungsprozess als auch die Qualität der hergestellten Produkte. Insbesondere bei der A- und B-Säulenverkleidung handelt es sich um Airbag - relevante Bauteile. Somit legt die ordnungsgemäße Trocknung des

Rohmaterialen den grundlegenden Baustein in der Qualitätssicherheit. Auch aus verarbeitungstechnischen Hintergründen wie z.B. dem Schmelzverhalten wird das Granulat getrocknet.

Das Kunststoffgranulat, welches zuvor vom Fördergerät angesaugt wurde, wird über die Klappensteuerung in den Trockentrichter ausgeleert. Um das Granulat zu trocknen, wird über den Trockenluftheritzer Luft erhitzt und in den Trockenlufttrichter eingeleitet. Durch das Erhitzen der Luft, wird die Fähigkeit der Luft, Feuchtigkeit aufzunehmen erhöht. Im Trockenlufttrichter wird die erwärmte Luft über das Granulat geblasen, sodass die heißeste Luft dem Granulat die Feuchtigkeit entzieht. Dieser Prozess führt dazu, dass die Feuchtigkeit aus dem Granulat verdampft. Das verdampfte Wasser wird anschließend in der Anlage kondensiert und über einen Abscheider abgeschieden. Hierbei ist zu beachten, dass jeder eingesetzte Kunststoff, in einem eigenen gekennzeichneten Trockentrichter getrocknet wird. Das eingesetzte Polypropylen wird etwa auf 90°C getrocknet. Ausgehend aus internen Prozessanweisungen als auch den genannten Qualitäts- und Verfahrensaspekten wird die Trocknungstemperatur regelmäßig kontrolliert.



Abbildung 5: Granulattrockneranlage inkl. Trichter und Saugfördergerät [31]

Als elektrische Verbraucher fließen sowohl Trockenluftherzeuger als auch Trockenlufttrichter in das LCA ein. Da die genaue Leistungsaufnahme des Trockenluftherzeugers von verschiedenen Parametern abhängt, wurde an der Anlage

eine Leistungsmessung mittels entsprechender Messtechnik durchgeführt. Da der Trockenlufttrichter unter annähernd konstanten Bedingungen (90°C) betrieben wird, wurde die Nennleistung von 6 kW/h für die Kalkulation berücksichtigt.

## 5.2 Stanzen

Um Platinen aus der Rohware herzustellen, wird ein Stanzprozess angewendet. Voraussetzung für die Verarbeitung der Rohware sind diverse Wareneingangsprüfungen, wie zum Beispiel Spannungs- und Dehnungsverhalten oder Farbmessungen. Nach positivem Prüfungsergebnis wird diese zum Stanzprozess bzw. zur Verarbeitung freigegeben.

Aufgrund der geometrischen Unterschiede gibt es für jedes Produkt ein eigenes Stanzmesser. Bei der Auslegung des Stanzmessers wird zum einen auf die korrekte Formgebung und Außenkontur geachtet als auch auf den Nutzen des Stanzmessers. Je höher der Nutzen bzw. besser die Verschachtelung ist, desto effizienter gestaltet sich der Stanzprozess im Hinblick auf Materialverbrauch und Ausbringung. Bei geometrisch anspruchsvolleren Produkten werden in der Platine Entlastungsschnitte miteingebracht, um spätere Spannungen beim Hinterspritzen zu minimieren.

Bei der eingesetzten Stanzanlage handelt es sich um eine elektro-hydraulisch angetriebene Variante. Ein Elektromotor treibt eine Hydraulikpumpe bzw. ein hydraulisches System an, welches den Druck zum Stanzen erzeugt. Um den Energieverbrauch beim Stanzen zu bestimmen, wurde der Leistungsverbrauch des Elektromotors mittels Messinstrumente über die Zeit aufgezeichnet.

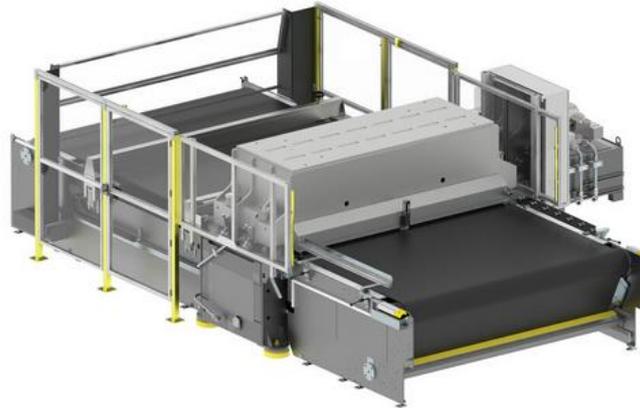


Abbildung 6: Stanzanlage [33]

### 5.2.1 Materialverbrauch

Für die Lebenszyklusanalyse entscheidend ist der Materialverbrauch und die Anzahl an Platinen je Stanzhub. Je mehr Platinen pro Hub gestanzt werden und je weniger Material aus der Rohware entfällt, desto effizienter ist der Stanzvorgang. Um die Ausbringung der Platinen zu definieren, wurden die jeweiligen Stanzmesser hinsichtlich des Nutzens und die Anzahl der Stanzlagen analysiert. Die nachstehende Grafik soll schematisch den Stanzvorgang beschreiben.

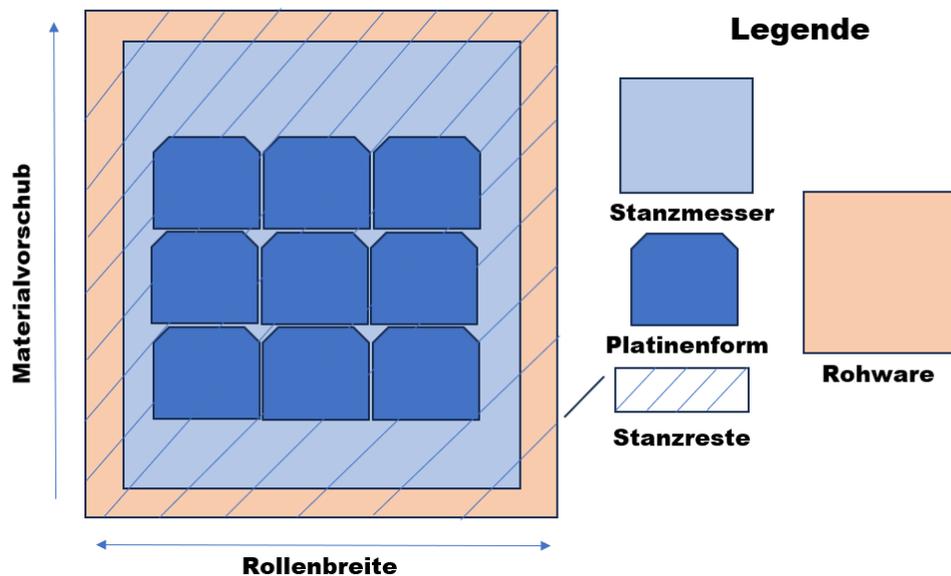


Abbildung 7: Stanzvorgang zur Platinenherstellung

Um den Materialumsatz je Hub zu berechnen, wurde die Nutzfläche des Stanzmessers anhand der CAD - Daten errechnet und dem Materialvorschub aus den Maschinenparametern gegenübergestellt. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, kann nicht das gesamte Material ausgenutzt werden. Aus diesem Grund wurden nach dem Stanzhub die Materialreste gesammelt und abgewogen, um sie in der Abfallbilanz miteinfließen lassen zu können.

### 5.3 Spritzgießen

Zur Herstellung eines oder mehrerer Formteile führt die Spritzgießanlage eine Reihe an aufeinander abgestimmten Arbeitsschritten durch. In der Fachsprache wird dies als Spritzzyklus betitelt. Die Beurteilung eines Spritzgießprozesses erfolgt nach der Zeit, die er beansprucht (Zykluszeit) oder nach der Zahl der Zyklen. Einzelne Maschinenbewegungen bzw. Zyklusabschnitte können sich dabei zeitlich überlappen [15].

#### 5.3.1 Form schließen

Der Spritzzyklus beginnt mit dem Schließen der beiden Werkzeughälften. Ein einstellbares Geschwindigkeits- und Kraftprofil schützt das Werkzeug vor Beschädigungen. Bei Formteilen mit Hohlräumen fahren auch Kerne ein. Nachdem die Form geschlossen ist, baut die Maschine ihre Schließkraft auf. Im Falle der Hinterspritzensäulen werden Schließkräfte bis zu 10 kN aufgebaut [15].

#### 5.3.2 Düse anpressen

Die Spritzeinheit fährt mit der Düse an die Werkzeugangussbuchse heran und baut eine einstellbare Anpresskraft auf [15].

### 5.3.3 Einspritzen und Nachdruck

Die Schnecke spritzt mit einstellbarem Geschwindigkeitsprofil die im Schneckenraum befindliche Schmelze unter hohem Druck in den Formhohlraum (Kavität). Der Druck kann je nach Werkzeug und Formmasse zwischen 300 und 2500 Bar betragen. Eine mechanisch schließende Rückstromsperre verhindert ein Zurückfließen der Schmelze in die Schneckeneingänge [15].

### 5.3.4 Aushärte (Kühlzeit)

Die Aushärtezeit beginnt mit dem Eintritt der Schmelze in das Werkzeug. Um Einfallstellen oder Hohlräume zu vermeiden, schaltet die Maschine nach dem Füllen der Kavität auf Nachdruck. Dabei schiebt die Schnecke das beim Abkühlen verlorene Volumen nach, bis der Anguss aushärtet (Siegelpunkt). Für den Nachdruck ist eine Zeit (Nachdruckzeit) und ein Druckprofil zu definieren. Anschließend startet eine zusätzlich einstellbare Kühlzeit [15].

### 5.3.5 Dosieren

Das Granulat, welches zuvor von der Granulatförderanlage in den Materialtrichter gefördert wurde, wird in den Einzugsbereich der Schnecke fallen gelassen. Die Schnecke fördert das Material durch den von außen beheiztem Zylinder in Düsenrichtung. Die Scherkräfte der Schnecke und die heiße Zylinderinnenwand bewirken, dass eine homogene Schmelze vor die Schneckenspitze fließt. Die Ansammlung des aufgeschlossenen Materials verursacht eine axiale Rückwärtsbewegung der Schnecke. Durch einen einstellbaren Gegendruck (Staudruck) kann dabei gleichmäßig plastifiziert werden. Nach dem Erreichen des zur Werkzeugfüllung erforderlichen Schmelzvolumens (Dosierweg), stoppt die Drehbewegung. Zur Entlastung, der im Schneckenraum vorhandenen Schmelze, zieht die Maschine anschließend die Schnecke zurück (Kompressionsentlastung). Verschlussdüsen sorgen dafür, dass keine Schmelze aus der Düse austritt [15].

### 5.3.6 Düse Abheben

In gegebenen Fällen muss die Düse vom Werkzeug abgehoben werden, damit:

- der Anguss abreißt
- die gekühlte Angussbüchse nicht zu stark erwärmt
- die beheizte Düse nicht zu stark abkühlt

### 5.3.7 Entformen

Mit der Kühlzeit öffnet das Werkzeug mit einem eingestellten Geschwindigkeitsprofil. Dabei wird das Formteil von der festen Formhälfte entformt. Nach Erreichen der Startposition, stößt der Auswerfer mit Hilfe von Auswerferstiften das Formteil aus. Der Zyklus ist mit Ablauf einer Pausenzeit beendet und die Maschine ist für einen neuen Zyklus vorbereitet. Die nachstehende Grafik zeigt eine Spritzgießanlage der Firma Engel, welche für die Produktion von hinterspritzten Säulen eingesetzt wird [15].



Abbildung 8: Engel Spritzgießanlage [29]

### 5.3.8 Formhälften – Werkzeug

Für jedes dieser Bauteile, sprich für A-, B-, C- und D-Säulen Verkleidungen gibt es ein eigenes Spritzgußwerkzeug. Die viskose Kunststoffmasse wird durch einen im Werkzeug integrierten Angusskanal in das geschlossene Werkzeug eingespritzt. Das Werkzeug dient dabei als formgebende Komponente. Die nachfolgende Grafik zeigt, wie die homogene Kunststoffschmelze über das Angussystem in das Werkzeug geleitet wird [15].

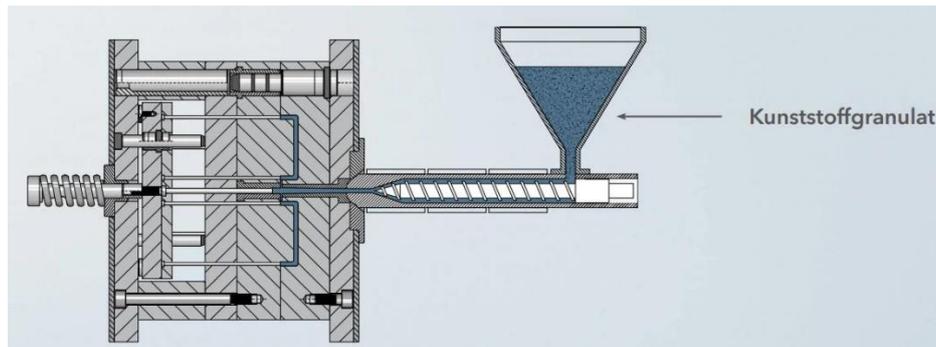


Abbildung 9: Fluss der Kunststoffmasse ins Formwerkzeug [15]

Wie bereits in der Funktionsweise der Spritzgießanlage erläutert, beginnt nahtlos nach dem Einspritzen die Nachdruckphase. Diese dient dem Ausgleich der Schwindung des Kunststoffs. In diesem Fall wird das Werkzeug gekühlt, um den Verzug und die Qualität zu verbessern. Ist das Bauteil vollständig erstarrt, öffnet sich das Werkzeug und wird durch Auswerfer kontrolliert, aus der Form gestoßen. Die untenstehende Abbildung zeigt nochmals die Spritzgießphase der Entformung im Zusammenhang mit dem formgebenden Werkzeug [15].

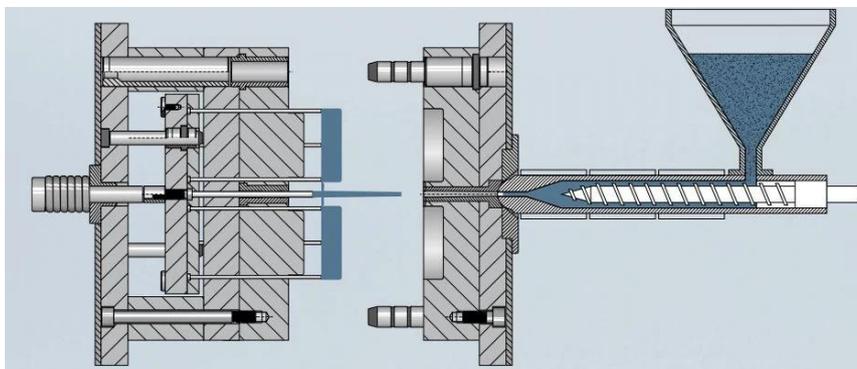


Abbildung 10: Prozessschritt "Entformung" [15]

Jeder Werkzeugaufbau besteht grundsätzlich aus zwei Aufspannplatten und Formplatten. Über die Aufspannplatten wird das Werkzeug in die Spritzgussmaschine montiert. Alle zusätzlichen Bauteile im Werkzeug werden ebenfalls an den beiden Aufspannplatten fixiert. Die Formplatten enthalten verschraubte Einsätze, die als positiver Kern und negative Kavität ausgeführt sind und damit die Bauteilformgebung übernehmen [15].

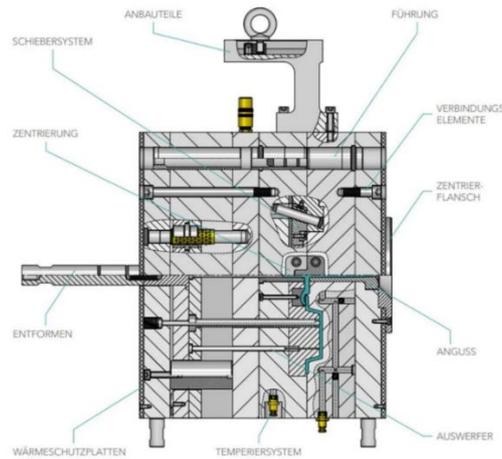


Abbildung 11: allgemeiner Aufbau eines Spritzgusswerkzeuges [15]

Die Bauteile im Werkzeug, vor allem die Formeinsätze, sind mechanischen Belastungen über mehrere tausende Zyklen ausgesetzt. Um dem entsprechenden Verschleiß entgegenzuwirken, wird im Regelfall gehärteter Werkzeugstahl eingesetzt. Dies führt zwar zu höheren Investitionskosten, jedoch kann dadurch eine reproduzierbar hohe Qualität über eine lange Standzeit garantiert werden.

In jeder Bauweise wird das Werkzeug in zwei Hälften geteilt, wobei die düsenseitige Formhälfte immer statisch verbaut ist. Die Teilung in Auswerferseite und Düsenseite erfolgt an der Trennlinie. Eine Negativform und ein dazu gehöriger Positivkern bilden die zwei formgebenden Komponenten. Im Idealfall verläuft die Trennung genau in der Bauteilmitte. Da dies nur bei einer einfachen Geometrie möglich ist, bedarf es in den meisten Fällen einen bauteiloptimierten Verlauf [15].

### 5.3.9 Temperierung

Für Bauteilqualität und Werkzeug – als auch Anlagenlebensdauer ist die Werkzeug – und Anlagentemperierung von großer Bedeutung. Die Werkzeughälften werden über eigene Temperiergeräte auf entsprechender Temperatur gehalten. Über werkzeugeigenen Kühlkreislauf wird Wasser gespült, welches von den Temperiergeräten gekühlt oder geheizt wird. Diese stehen in stetiger Kommunikation der Engel Anlagensteuerung. Somit kann das Temperiergerät die Kühl -oder Heizleistung individuell und effizient anpassen. Dabei kann die Kühlleistung, der Kühlmediums - Durchfluss als auch die Temperatur

des Mediums direkt vom Maschinendisplay abgelesen werden. Abbildung 12 zeigt das Temperiergerät des Herstellers HB-Therm mit seinem Innenleben. Daraus lässt sich erkennen, dass die Werkzeugtemperierung kompakt und komfortabel erfolgt. Durch eine drehzahlgeregelte Pumpensteuerung werden elektrische Energieaufwände für die Pumpe stark reduziert [13].



Abbildung 12: Temperiergerät zur Werkzeugtemperierung des Herstellers "HB-Therm" [13]

Weiters ist Kühlwasser für die Kühlung des Hydrauliksystems, der Schmierstoffe wie zum Beispiel Öl und der Servomotoren erforderlich. Hierzu wird ein wasserumspülter Plattenwärmetauscher verwendet. Dabei findet ein Wärmeaustausch zwischen dem Kühlmedium und dem zu kühlenden Mediums statt. Das aus dem Grundwasser gepumpte und gereinigte Kühlwasser wird über den Wärmeaustausch erwärmt und wieder in das Abwassersystem des Werkes eingeleitet.

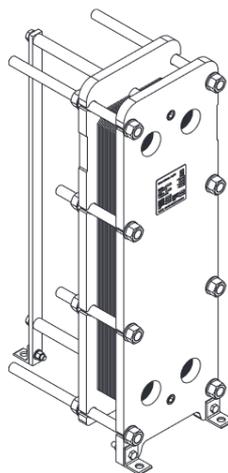


Abbildung 13: Plattenwärmetauscher zur Kühlung des Antriebsmediums [7]

### 5.3.10 Zykluszeit

Für die beschriebenen Zyklusphasen des Spritzgießprozesses werden in Summe 60 Sekunden benötigt. Diese Zykluszeit beinhaltet ebenfalls das Abholen der Platine durch den Robotergreifer, das Einhängen der Dekorplatine in das Werkzeug sowie die Ablage des Säulenpaares auf das Förderband des Interieur-Finishers. In der Betrachtung des LCA's wird der tatsächliche Ausfertigungszyklus der Spritzgießanlage bzw. der Zeitraum, in dem die Anlage tatsächlich elektrische Leistung benötigt, berücksichtigt.

Die eingesetzte Engel Duo Maschine mit hydraulischer Antriebsvariante „ecodrive SHV2“ weist bei dieser Formteilgeometrie mit ihren spezifischen Parametern einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 41,35 kW/h auf. Dieser Energieverbrauch wird für eine Zykluszeit von 33,2 Sekunden benötigt (Plastifizieren, Dosieren, Nachdrücken) mit einem max. Spritzdruck von 750bar und einer mittleren Verarbeitungstemperatur von 220 C [10].

### 5.4 Indexplatte

Station 1 im SPG-Prozess ist die Indexplatte. Hier wird die Dekorplatine vom Mitarbeiter auf die vorgegebenen Positionen aufgesteckt. Durch Betätigen eines Startknopfes, fährt aus Sicherheitsgründen ein Rollvorhang hinunter, sodass das Roboterhandling in den Arbeitsbereich einfahren darf. Sobald der Vorhang seine Endposition erreicht hat, holt das Handling die Platinen ab und verlässt diese Position in Richtung Spritzgusswerkzeug.

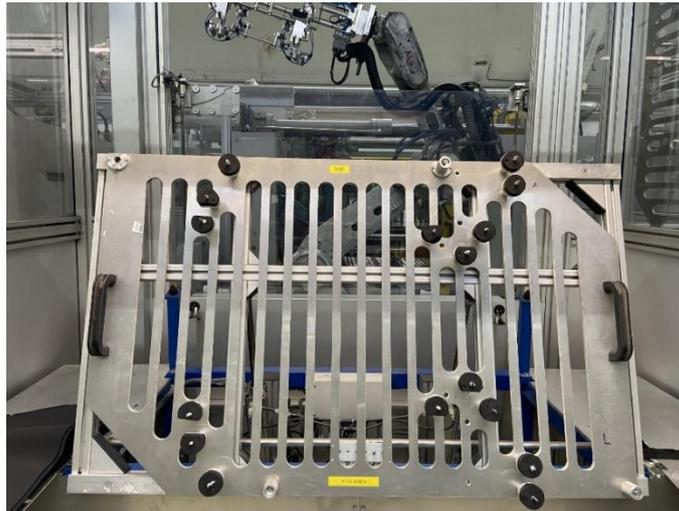


Abbildung 14: eingesetzte Indexplatte zur Platinenpositionierung

## 5.5 Robotergreifersystem.

Aus Gründen der Automatisierung, Austaktung, Effizienz und Reproduzierbarkeit wird bei hochmodernen industriellen Anwendungen auf den Einsatz von Robotern gesetzt. Der Roboter übernimmt hier die Führung eines Werkzeuges, welches Platine und das spätere Säulenpaket aufnimmt, transportiert und ablegen soll. Gesamtheitlich wird dieses System als Robotergreifersystem bezeichnet.

Das Handling definiert sich aus einem Roboter und einem sogenannten Robotergreifer. Der Greifer ist das Werkzeug, welches das Werkstück, in diesem Fall die Dekorplatine, von der Abholstation (Indexplatte) entnimmt und in das Hinterspritzwerkzeug einhängt. Nach dem Auswerfen des SPG-Werkzeuges, wird das Säulenpaar von den Auswerferstangen entnommen und auf das Dämpferförderband abgelegt. Der Roboter dient somit der Automatisierung um den Greifer in seine verschiedenen Wegstrecken zu befördern. Beim Roboter handelt es sich um eine Anwendung des Herstellers „ABB“, welcher über einen elektrischen Antrieb verfügt.

### 5.5.1 Roboteranwendung

Zum Einsatz kommt die Roboteranwendung IRB6700, welche sich ideal für das Be- und Entladen von Spritzgußmaschinen eignet. Weiters ist die Arbeitsreichweite für die Auswahl des Roboters entscheidend. Die drei Arbeitsstationen (Indexplatte, Spritzgußanalge und Dämpferanlage) sowie das Traggewicht des Greifers sind die Parameter zur Auswahl des eingesetzten Robotertypen. Der IRB6700 gehört zur Familie der Knickarmrobotern und zählt als leistungsfähigster Roboter mit den niedrigsten Gesamtbetriebskosten in der 150 – 300 Kilogramm-Klasse [2]. Entscheidend für die Auswahl dieses Roboters ist die integrierte Schlauch- und Kabelführung für das Greiferwerkzeug.



Abbildung 15: ABB Robotersystem IRB6700 [2]

### 5.5.2 Greifer

Der Greifer besteht im Wesentlichen aus Aluminiumprofilen, welche in der Gesamtkonstruktion beidseitig genutzt werden können. Die Seite A ist mit pneumatisch angesteuerten Greifernadeln ausgestattet, welche in der Anfangsphase die Dekorplatte aufnehmen sollen. Nachdem der Robotergreifer in die geöffnete Werkzeugform einfährt, wird die Platte auf den Nadeln der statischen Werkzeughälfte aufgesetzt.

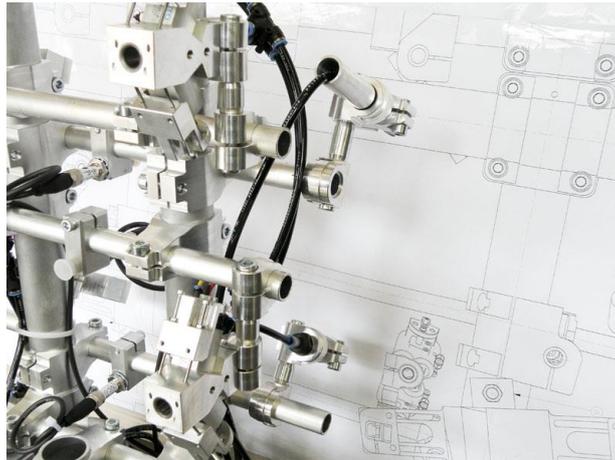


Abbildung 16: Greifersystem für Roboterhandling [12]

Anschließend lässt der Greifer die Platine los und das Handling begibt sich umgehend in Richtung der beweglichen Werkzeughälfte. Das ausgeformte Säulenpaar wird mit der B-Seite des Greifers entnommen. Hierzu werden pneumatisch angesteuerte Hackenelemente verwendet, welche das Säulenpaar in einer Gegenform aufnehmen und zum Interieur-Finisher führen.



Abbildung 17: Beispielfoto Säulenaufnahme mittels Greifersystem [27]

### 5.5.3 Arbeitsweg

Sowohl der eingesetzte Roboter als auch der Arbeitsweg haben Einfluss auf den Carbon-Footprint. In diesem Fall kann vereinfacht gesagt werden, dass der Arbeitsweg des Roboterhandlings für alle drei Säulenverkleidungen ident ist, da sich Entnahme und Ablagepositionen nicht unterscheiden. Ebenfalls zeigen sich auch in den Taktzeiten bzw. in der Geschwindigkeit des Roboters keine Unterschiede.

Aus den unten gezeigten drei möglichen Anordnungen wird der Roboter in der Variante A eingesetzt.

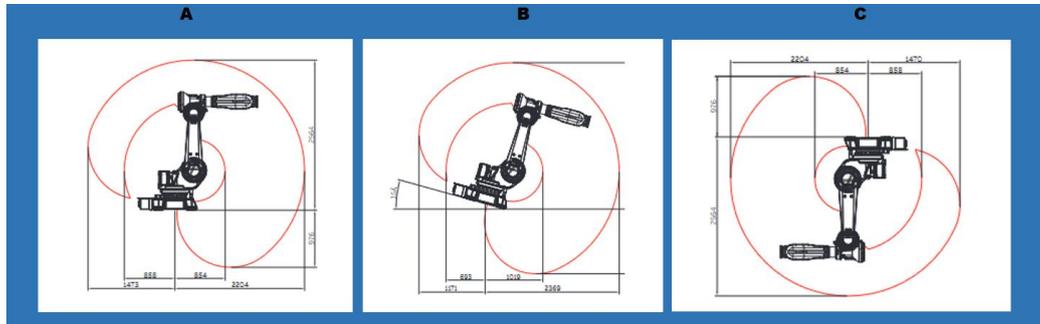


Abbildung 18: Bewegungsbahn und Anordnungsmöglichkeiten des ABB – Roboters [2]

## 5.6 Interieurfinisher

Um die Fasern des Textildekores vom Hinterspritzprozess zu erholen, werden die Bauteile mit Wasserdampf bedampft. Ebenfalls können Abzeichnungen oder Markierungen, welche durch das Spritzgießen entstehen, entfernt werden. Dies geschieht im sogenannten Interieur – Finisher, welcher dem Spritzgußprozess direkt nachgeschaltet ist. Sensoren am Förderband der Anlage erkennen, dass Bauteile aufgelegt wurden und bewegen diese in Richtung Dampfheit.

### 5.6.1 Dampfheit

Hier werden die Artikel über die energiesparende Hochdruck-Dampfsprüheinheit gleichmäßig mit temperatur- und mengenregulierbarem Dampf besprüht, damit sich die Fasern entspannen. Die Besprühung kann optional von unten, oben oder beidseitig erfolgen. Durch die lineare Anordnung der Düsen wird eine unerwünschte Streifenbildung vermieden. Für Problemzonen können zusätzliche Sprühlanzen konturgefertigt integriert werden [25].

### 5.6.2 Finisheinheit

Die Finisheinheit besteht aus einem doppelten Umluftgebläse mit großflächigem Heizregister. Volumenstrom und Temperatur der notwendigen Umluft sind materialabhängig variabel einstellbar. Verschlussklappen am Eingang, zwischen den Bearbeitungszonen sowie am Ausgang garantieren ein optimales Ergebnis. Der zirkulierende Luftstrom wirkt über gezielt angeordnete Ausblasöffnungen gleichmäßig

auf die zu bearbeitende Ware ein. Der Volumenstrom kann stufenlos und mit einer Genauigkeit von  $\pm 2^\circ$  Celsius über das Heizregister eingestellt werden. Die nachstehende Abbildung, zeigt den Interieur - Finisher des Herstellers Veit in der Bauform, welche im Werk Ebergassing eingesetzt wird [25].



Abbildung 19: Interieurfinisher [25]

Gemäß der Berechnung des Anlagenherstellers, werden bei den vorgegebenen Parametern 115 kg Dampf pro Stunde eingesprüht. Über die Zykluszeit wurde der Dampfverbrauch je Säulensatz ermittelt. Die Dampfherstellung bzw. Bereitstellung für das Werk Ebergassing wird im Kapitel 10 näher erläutert.

## 5.7 Laserbeschnitt

Am Bauteil werden gewisse Bereiche definiert, welche nach dem Hinterspritzen beschnitten werden müssen. Meistens ist für den Stoffüberstand für diese Kanten- und Anschlussbereiche eine Toleranz definiert. Zu lange oder zu kurze Stoffüberstände können Probleme im Fahrzeug verursachen. Somit ist eine präzise, sowie wiederholgenaue Schneideanwendung notwendig. Für einen hohen Automatisierungsgrad, einer niedrigen Zykluszeit als auch einem hohen Qualitätsstandard wird auf eine Roboteranwendung mit einer Laserschneidetechnik gesetzt.

### 5.7.1 Roboter

Bei dieser Laseranwendung sitzt der Roboter mit dem Laserwerkzeug, aus Sicherheitsgründen als auch aufgrund anderer Industriestandards in einer eigens dafür konzipierten Kabine. Um das Werkstück zu positionieren gibt es eine Laserschale.

### 5.7.2 Laserschale und Drehtisch

Die Laserschale ist der Bauteilkontur bzw. der Bauteilform sehr ähnlich definiert. Hier gibt es je Seite eine eigene Schale bzw. Aufnahme. Aus Gründen der Taktzeitminimierung bzw. der Verhinderung von Warte- oder Stehzeiten werden bei solchen Anwendungen immer zwei Laserstationen gebaut und verwendet. Während der eine Bauteilsatz vom Laserroboter bearbeitet wird, werden in der Zwischenzeit bereits die nächsten Bauteile aufgespannt.



Abbildung 20: Laserschneidevorrichtung

Das Werkstück wird über Vakuumsauger von der Aufnahme angesaugt. Das Vakuum für die Vakuumsauger, welche sich in den Aufnahmen befinden, wird über eine Vakuumpumpe erzeugt. Hintergrund der Vakuuman-saugung ist die präzisere Positionierung als auch das Verhindern einer groben Positionsabweichung im Zuge der Drehbewegung. Der Laserbereich besteht aus einer geschlossenen Kabine, einem Roboter mit einer Schneidedüse, zwei Laserstationen und einem Drehtisch.

### 5.7.3 Laserschneidetechnik

Das Laserschneiden ist ein sogenanntes thermisches Trennverfahren und eignet sich für Werkstoffe wie Polyethylen und Polypropylen als auch zum Schneiden und Perforieren von kohlenstoffverstärkten- sowie glasfaserverstärkten Kunststoffen. Diese Technologie erlaubt eine drei - dimensionale Bearbeitung von Werkstücken unter höchster Präzision [17].

Das Grundprinzip derartiger Laserquellen basiert auf Anregung eines Gasgemisches. CO<sub>2</sub> - Laser verfügen über einen mit Gas gefüllten Resonator. Dieses Gas ist ein aktives Medium und erzeugt hohe Strahlungsleistungen. Zur Anregung des Gases werden üblicherweise über Hochspannungselektroden hochfrequente elektromagnetische Wellen in das Gasgemisch eingestrahlt. Weiterhin verfügt der Laser über einen Spiegel, über welchen den Laserstrahl zum Werkstück geleitet wird. Der Schneidkopf, welcher sich über dem Werkstück befindet, ist mit einer Sammellinse ausgestattet, die den Laserstrahl bündelt und fokussiert. Im Fokuspunkt, wo der Laserstrahl auf das Werkstück fokussiert auftrifft, entstehen Temperaturen, die oberhalb der Verdampfungstemperatur des jeweiligen Materials liegen. Die Verdampfung verursacht dann eine Gravur oder den Schnittspalt [24].



Abbildung 21: CO<sub>2</sub> – Laserroboter [24]

#### 5.7.4 Prozessablauf

Bei Prozessstart werden die Bauteile in die Laserschalen jeweils links und rechts vom Mitarbeiter händisch eingelegt. Über eine Fußbetätigung wird die Vakuum-Ansaugung aktiviert und über einen händischen Taster die Drehtischbewegung der Laserstation eingeleitet. Sobald der Roboter das Signal erhält, dass der Drehtisch in seine „Schneideposition“ angekommen ist, beginnt der Programmablauf des Roboters und somit das Schneiden der Bauteile. Parallel legt der Mitarbeiter den nächsten Satz ein und betätigt erneut den Handtaster. Sobald der Roboter sein Schneideprogramm abgeschlossen hat, wird über das zuvor durch den Handtaster gegebene Signal erneut eine Drehbewegung eingeleitet. Das bedeutet, dass die beschnittenen Werkstücke zurück zur Ausgangsposition gelangen und bereit sind für die nächsten Prozessschritte als auch, dass der nächste Bauteilsatz in die Laserkabine eingedreht wird.

#### 5.7.5 Absaugung und Filtertechnik

Bei der Anwendung von CO<sub>2</sub> - Laser für das Schneiden von Kunststoffen treten dabei Rauche und Feinstäube auf. Die Absaugung und Filteranlage, sind entscheidend, um die Luftqualität in der Produktionsumgebung zu gewährleisten, da diese Schadstoffe beim Bedienpersonal gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorrufen könnte. Parallel werden damit potenzielle Beschädigungen und Verschmutzungen der Laseroptik, der Aggregate und des zu bearbeitenden Werkstückes vorgebeugt. Entsprechend hohe Maßstäbe werden an die Anforderungen für die Filtertechnik im Bereich Laser und Laserbearbeitung gesetzt [14].

Die speziell konzipierte Laserkabine des Laserschneidsystems ist mit einer leistungsstarken Absauganlage ausgestattet. Diese Absaugung erfasst den entstehenden Rauch und die Partikel unmittelbar an der Laserschnittstelle, um deren Ausbreitung in der Umgebung zu verhindern. Die abgesaugten Partikel und Dämpfe werden durch eine Filteranlage geleitet. Das Produktionswerk setzt großflächig auf Filteranlagen des Herstellers Herding. Diese Filteranlagen sind speziell für das Abscheiden von feinen Partikeln und Stäuben bei Verfahren mittels Laserbearbeitung konzipiert [14].

In der Filteranlage werden Filtermedien verwendet, die in der Lage sind, die abgesaugten Partikel effektiv zurückzuhalten. In diesem Fall wird Kalk als Bindemittel für die Partikel eingesetzt werden, um die Filtereffizienz zu erhöhen. Dies trägt dazu bei, entstehende Schadstoffe in den Filtermedien zu binden und die Lebensdauer der Filter zu verlängern [14].

Nachdem die Partikel in den Filtermedien zurückgehalten wurden, wird die gereinigte Luft in die Umgebung abgegeben. Dies wird in sogenannten „Precoater Vorgängen“ durchgeführt. Um diesen Reinigungsvorgang durchzuführen, wird Druckluft benötigt. Gemäß der zur Verfügung gestellten Daten, benötigt ein Abreinigungsvorgang 582 Liter Druckluft. Insgesamt werden vier solcher Vorgänge innerhalb 24 Stunden durchgeführt. Die Filteranlage muss regelmäßig gewartet und die Filtermedien ausgetauscht werden, um eine konstante Effizienz sicherzustellen.

Zusammengefasst dient dieses Gesamtsystem dazu, die Luftqualität in industriellen Umgebungen, in denen CO<sub>2</sub>- Laserschneidverfahren zur Bearbeitung von Kunststoffen und anderen Materialien angewendet wird, zu schützen und die Gesundheit der Mitarbeiter nicht gefährdet wird. Abbildung 22 beschreibt zusammenfassend die allgemeine Funktionsweise der Filteranlage.

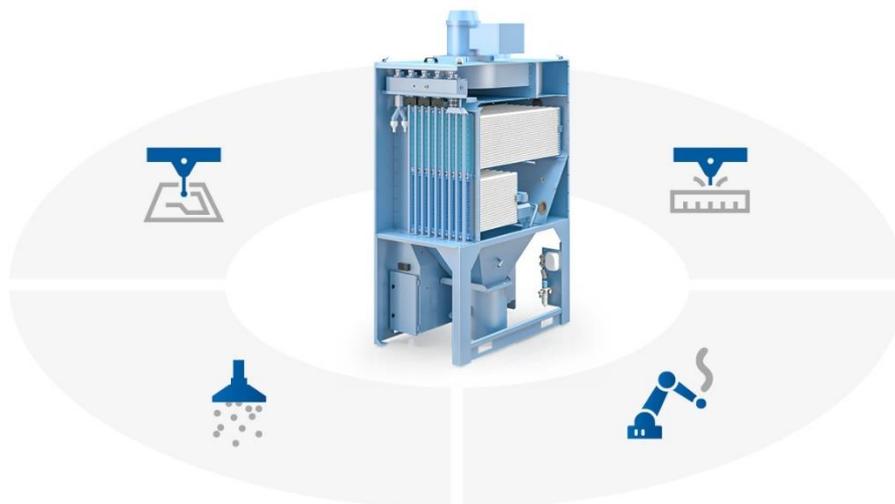


Abbildung 22: Herding Filtertechnikanlagen [14]

Nach Austausch der Prozessparameter und der Einsatzbedingungen mit dem Anlagenhersteller, wurde eine elektrische Leistungsaufnahme von 3,2 kW/h genannt.

### 5.7.6 Systemkühlung

Die Kühlung der Laserkanone ist ein entscheidender Aspekt bei der Anwendung CO<sub>2</sub> - Lasersystemen. Bei der Laserbearbeitung entsteht Wärme und die Laserkanone muss auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden, um eine konstante Leistung zu gewährleisten.

Dieser Chiller verwendet ein Kältemittel, in diesem Fall R410A, um die Wärme aus dem Kühlwasser zu entfernen und es auf die gewünschte Temperatur abzukühlen. Das Kältemittel wird in einem geschlossenen Kreislauf innerhalb der Rückkühlanlage zirkuliert. Durch Druck kann das Kältemittel in einen gasförmigen Aggregatzustand geändert werden, wodurch Wärme aufgenommen werden kann. Das gasförmige Kältemittel wird von einem Verdichter komprimiert, wodurch es unter Druck gesetzt und die Temperatur erhöht wird. Das komprimierte Kältemittel gibt die aufgenommene Wärme über einen Wärmetauscher ab und kondensiert dabei zurück in seinen flüssigen Ausgangszustand. Anschließend läuft das Kältemittel durch ein Expansionsventil, wodurch der Druck reduziert wird und es erneut verdampft. Dabei wird wiederholt Wärme aufgenommen. Das Kältemittel und das Kühlwasser durchlaufen den Wärmetauscher, um eine Wärmeübertragung durchzuführen. Das Kältemittel nimmt die Wärme aus dem Kühlwasser auf und gibt sie dann außerhalb des Chiller - Geräts ab [23]. Das Grundprinzip der Kühlung kann durch Abbildung 23 veranschaulicht werden.



Abbildung 23: schematische Darstellung Wirkungsfluss Chiller und die zu kühlende Anlage [23]

Die elektrische Leistungsversorgung treibt das Kältemodul sowie das Wassermodule und andere elektrische Komponenten des Chiller-Geräts an, die für diesen Prozess notwendig sind. Der Stromverbrauch der Rückkühlanlage hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Kühlleistung, dem Betriebsmodus und der Effizienz des Geräts. Die nachstehende Grafik zeigt die den Grundaufbau der Rückkühlanlage.



Abbildung 24: Aufbau der Rückkühlanlage [23]

Nach Kommunikation mit dem Anlagenhersteller wurde die elektrische Leistungsaufnahme unter Berücksichtigung der erforderlichen Kühlleistung, der Wasserfördermenge und der Umgebungstemperatur auf 3,81 kW/h berechnet.

## 5.8 Händische Montage

Nach dem Laserbeschnitt folgen einige händische Prozessschritte bevor die Bauteile zur Heißumbuganlage gelangen. Sobald die Laserstation in ihre Ausgangsposition gekehrt ist, entfernt der Mitarbeiter händisch die Beschnittreste und sammelt diese in einem Abfallbehälter. Anschließend wird das Vakuum durch die Fußbetätigung deaktiviert und die Bauteile aus der Aufnahme entnommen. Der Mitarbeiter übergibt die Bauteile an den nächsten Mitarbeiter bzw. legt diese an seinem Montagetisch ab. Ab der Übergabe an die Montage, werden die Teile mit Zukaufteilen wie Metallklammern, Schallisierungen oder Gurtblenden

bestückt und anschließend in das Umbugwerkzeug eingelegt.

## 5.9 Heißumbug

Für bestimmte Anschlussbereiche im Fahrzeug wie zum Beispiel im Fugenverlauf zum Himmel oder im Übergang zur Radhausverkleidung wird überstehendes Dekor mittels Umbugschiebern über Schweißrippen und Temperatur mit dem Träger verbunden. Darüber hinaus werden Anbauteile wie zum Beispiel Schallisierungen, Airbaglogos oder Gurtblenden mit dem Träger verbunden bzw. montiert.

Die Umbuganlage besteht aus einem Pressensystem (Schließe genannt) und beliebig vielen wechselbaren Werkzeugen. Alle bauteilspezifischen Funktionen für die Bearbeitung und zum Umbugen des jeweiligen Produkts sind direkt auf dem Werkzeug gespeichert. Dadurch ist jedes Werkzeug in jeder Schließe ohne Programmieraufwand funktionsfähig. Dieser Aufbau bietet den Vorteil, dass in einer Linie gänzlich unterschiedliche Projekte produziert werden können [3].

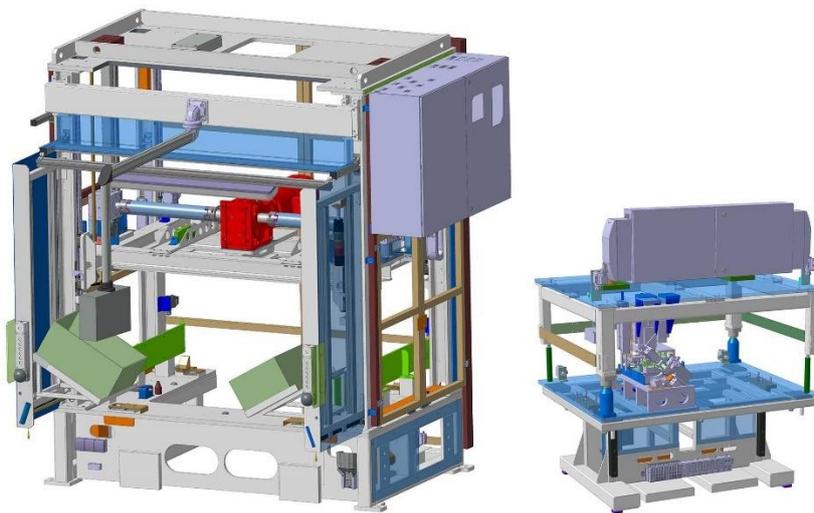


Abbildung 25: Umbuganlage und Umbugwerkzeug [3]

### 5.9.1 Oberwerkzeug

Grundsätzlich ist bei diesem Prozess im Aufbau zwischen Ober- und Unterwerkzeug zu unterscheiden. Das Oberwerkzeug (OWZ) ist über ein Zahnstangengetriebe beweglich und wird über einen Elektromotor angetrieben. Das Unterwerkzeug ist als unbeweglich definiert.

Für das Verbinden der einzelnen Montageteile, sitzen im OWZ Nieteinheiten. Diese Einheit verwendet Nietstempel, welche über Heizsonotroden aufgeheizt werden. Hierbei wird auf über 200°C aufgeheizt, um die verschiedenen Kunststoffteile anzuschmelzen und miteinander zu verbinden. Weiters befinden sich je nach Ausführung und Bauteilanforderungen, Niederhalter und Entnahmegreifer im Oberwerkzeug. Montageteile wie Klammern, Airbaglogos oder Schallisolierungen werden über Sensoren abgefragt. Sofern die Steuerung die Freigabe erhält, fährt das Oberwerkzeug in Richtung des Unterwerkzeuges. Die Bauteile werden je nach Säule über pneumatische Spannsysteme fixiert.

Ausführung und Bauteilanforderungen, Niederhalter und Entnahmegreifer im Oberwerkzeug. Montageteile wie Klammern, Airbaglogos oder Schallisolierungen werden über Sensoren abgefragt. Sofern die Steuerung die Freigabe erhält, fährt das Oberwerkzeug in Richtung des Unterwerkzeuges. Die Bauteile werden je nach Säule über pneumatische Spannsysteme fixiert.

### 5.9.2 Unterwerkzeug

Wie in Abbildung 26 zu erkennen ist, werden im Unterwerkzeug (UWZ) die Bauteile in Form von Schalen aufgenommen. Hier gibt es verschiedene Vorgebereinheiten, die den Stoff in die gewünschte Umbugpositionen bringen, sowie die Umbugschieber, welche den Stoff mit den Schweißrippen am Bauteil verbinden. Die Umbuganlage benötigt somit elektrische Energie für das Erbringen der Heizleistung der Sonotroden sowie für die Versorgung von Steuerprogrammen, Displays und anderen Komponenten. Im Kern steckt der Bedarf an Druckluft, der die eigentliche Funktion der verschiedenen Spanner, Schieber und allen anderen Einheiten ermöglicht.

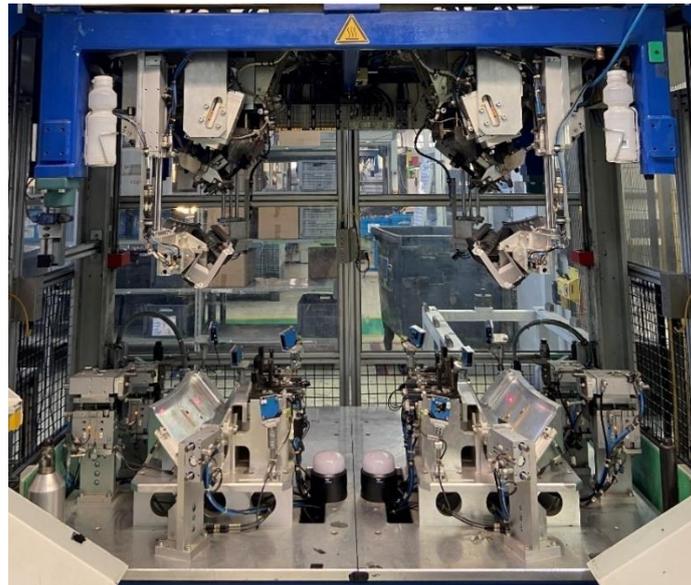


Abbildung 26: Ober- und Unterwerkzeug der C-Säulenverkleidung

## 5.10 Kontrolle & Verpacken

Die Bauteile werden nach Freigabe der Umbuganlage vom Bediener(in) der Umbuganlage vom Entnahmegreifer aus dem Werkzeug entnommen und an die Kontroll- und Verpackungsstation übergeben. Anschließend werden die Bauteile visuell kontrolliert und in den dafür vorgesehenen Ladungsträger verpackt. 64 Bauteile werden in 8 Lagen mit jeweils einem Kartonzuschnitt und einem PE-Schaumvlies verpackt. Nach Abschluss des Gebindes, wird dieses von einem elektrisch angetriebenen Stapler abgeholt und in die Kommissionierungszone übergeben.

## 5.11 Transport

Die Lieferung wird von einem LKW abgeholt und zum Sequenzierdienstleister, welcher sich 76 Kilometer vom Produktionsstandort entfernt befindet, transportiert. Die Ladungsträger werden im Sequenzierstandort entladen und ihren zugewiesenen Lagerplätzen gemäß „Fifo“ gelagert. Der Sequenzprozess sieht vor, die Bauteile aus den Ladungsträgern zu entnehmen, einen Scannprozess durchzuführen und anschließend diese in den vorgesehenen Sequenzwagen eingelegt. An diesem Punkt endet die Zuständigkeit des Lieferanten und ist gleichzeitig die letzte Station für die Bestimmung des CO<sub>2</sub> - Fußabdrucks.

## 5.12 Geplanter Ausschuss

Ein geplanter Ausschuss bezieht sich auf Produkte oder Teile, die absichtlich oder routinemäßig aus einer Produktionslinie oder einem Herstellungsprozess ausgeschlossen oder ausgeschleust werden. Dies geschieht oft, um sicherzustellen, dass nur qualitativ hochwertige Produkte den Endkunden erreichen und defekte oder nicht den Standards entsprechende Produkte ausgesondert werden.

Der geplante Ausschuss bezogen auf die Säulenproduktion bezieht sich auf den Hinterspritzprozess. Aufgrund des thermischen Gleichgewichtes der Anlage, als auch aus Qualitätssicherungshintergründen werden beim Anfahren der Anlage „Teile ohne Stoff“ produziert. Ebenfalls werden nach längerem Stillstand der Anlage Rohteile gespritzt, da das Material längere Zeit in der Schnecke verbleibt und somit thermisch geschädigt werden kann. Mit dem Hintergrund, dass die Schmelztemperatur von Polypropylen weitaus niedriger ist als zum Beispiel von ABC/PC und somit die Anfälligkeit auf thermische Schädigung deutlich geringer ist, werden nach längeren Stillständen dennoch Teile ohne Stoff gespritzt.

Berücksichtigt man das Anfahren der Anlage nach einem Werkzeugwechsel, als auch zwei Pausen während einer Schicht, sind dies 3 Sätze von Teilen ohne Stoff. Aufsummiert auf das bestehende „Drei – Schichtmodell“ ergibt dies 9 Sätze ohne Stoff. Je nach Säule, sprechen wir von bis zu 10 Kilogramm Kunststoffgranulat.

## 6 Materialien

Bei den Materialien für die Säulenfertigung muss in drei Kategorien unterschieden werden:

- Trägermaterial
- Oberware
- Anbauteile (Zukaufteile)
  - Kunststoffvliese
  - Formteile aus Spritzguss
  - metallische Anbauteile

## 6.1 Trägermaterial

Als Trägermaterial in der Kunststofffertigung kommt, wie auch in diesem Fall, Kunststoffgranulat zum Einsatz. Dabei handelt es sich um auf Mineralöl basierende Kunststoffe. Die Handelsbezeichnung des eingesetzten Kunststoffes lautet „Hostacom EKC 330N E1 C12780“ des Herstellers „LyondellBasell“. Das Hostacom EKC 330N E1 ist ein mit 16 % Talk gefülltes PP-Copolymer mit guter Fließfähigkeit, ausgezeichnetem Schlag-/Steifigkeitsgleichgewicht, guter Kratzfestigkeit und hervorragender Ausblühungsbeständigkeit bei erhöhten Temperaturen [18]. Das Herstellungsverfahren solcher Kunststoffe unterteilt sich in folgende Abschnitte:

- Raffination
- Cracking
- Polymerisation
- Extrusion



Abbildung 27: Hostacom 330 EKC in Granulatform [18]

Der Hersteller gibt ein CO<sub>2</sub> - Äquivalent von 1,7 je Kilogramm Material an. Dieser Wert wurde nach Angabe unter Verwendung einer „Cradle-to-Gate“ - Systemgrenze berechnet.

## 6.2 Oberware

Im Bereich des automobilen Premiumsegmentes haben Optik und Haptik auf einem hohen Stellenwert. Dekor hinterspritzte Säulen kommen meist erst ab dem Mittelpreissegment zum Einsatz. Mittelpreissegment zum Einsatz. Hingegen werden

im Premiumsegment der deutschen Automobilindustrie Leder bzw. Lederimitate eingesetzt.

Bei der Oberware muss aufgrund der Produktvielfalt zwischen Dekoroberware und Dinamicaoberware unterschieden werden. Bei den eingesetzten Materialien handelt es sich um technische Verbundtextilwerkstoffe. Diese bestehen aus folgender Zusammensetzung:

- Garn, synthetische Fasern aus PET
- Farbstoffen und Chemikalien

PET-Fasern sind synthetische hergestellte Fasern aus Kunststoff, welche in der Textilindustrie häufig Anwendung finden. Die synthetischen Fasern werden in verschiedenen Farbstoffen eingefärbt, um die gewünschte Farbe und das gewünschte Design zu erhalten. Chemikalien werden unter anderem für die Fixierung der Farbstoffe verwendet. Anschließend werden die gefärbten Fasern zu Garn versponnen. Das Garn ist somit ein Gewirke bzw. ein Strang aus miteinander verdrillten oder verzwirnten Fasern. Im Weiteren wird das Garn maschinell zu Stoff verarbeitet. Dieser Prozess erzeugt das endgültige Gewebe oder Gestrick mit dem gewünschten Muster und der gewünschten Struktur [8].

### 6.2.1 Kaschierung

Unter dem Begriff Kaschierung versteht man das dauerhafte Zusammenkleben mehrerer Lagen mit Hilfe geeigneter Kaschierklebstoffen. Im Bereich der Säulenfertigung, bei der das Gewirke hoher Dehnung und Spannung ausgesetzt wird, wird eine zusätzliche Schicht aufkaschiert. Das Kaschieren wird hier als eigener Produktionsschritt betrachtet, da dies eine eigene Fertigung an einem anderen Produktionsstandort beinhaltet.

Beim Kaschieren muss zwischen verschiedenen Arten unterschieden werden. Im Falle des Micro Piques handelt es sich um eine sogenannte „CoPES“ Kaschierung. CoPES steht für "Copolyester Hot Melt Adhesive", ein spezielles Schmelzklebemittel auf Copolyester-Basis. Dieses Klebemittel wird in einer schmelzbaren Form auf eine oder beide der zu verbindenden Schichten aufgetragen. Dieses Klebverfahren wird in der Textilindustrie ebenfalls als sogenannte Trockenkaschierung bezeichnet [35].

Nachdem das Klebemittel aufgetragen wurde, werden die Materialschichten unter Druck verpresst und gleichzeitig erhitzt. Dies führt dazu, dass das Schmelzklebemittel schmilzt und sich zwischen den Materialschichten verteilt. Nach dem Erhitzen wird die Verbundstruktur abgekühlt, wodurch das Schmelzklebemittel aushärtet und die Materialschichten fest miteinander verbindet.

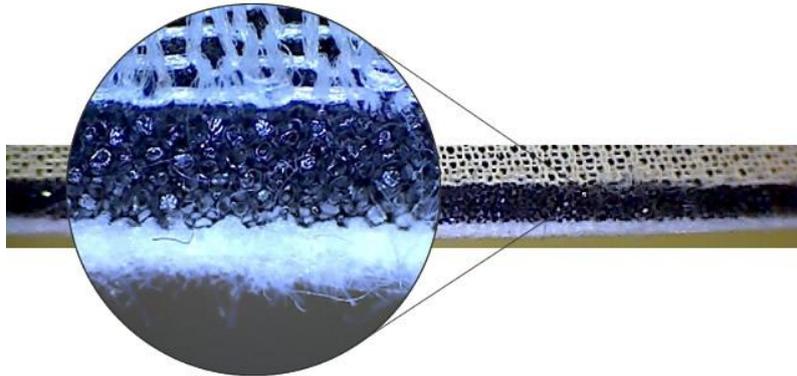


Abbildung 28: Textilaufbau im Zuge des CoPES Kaschierverfahrens [35]

Der Vorteil der Trockenkaschierung besteht darin, eine dauerhafte Verbindung zwischen den Materialschichten schafft, mit dem Verzicht von flüssigen Klebstoffen, die Lösemittel oder Lösungsmittel enthalten können. Dieser Prozess erhöht Stabilität und die Beständigkeit gegen hohe Drücke und Spannungen in Anwendungen wie beim hinterspritzten von Säulenverkleidungen in der Automobilindustrie. Bei der Herstellung dieser Dekore für beispielsweise Himmelverkleidungen, entfällt der Kaschierprozess da eine höhere Flexibilität und eine höhere Dehnungsfähigkeit benötigt wird.

### 6.2.2 Dinamica

Das Premiumsegment eines deutschen Automobilkonzernes verwendet im Säulen- und Himmelsegment die Oberware „Dinamica“. Hier gab es 2020 als auch 2022 aufgrund von Nachhaltigkeitsthemen einige Umstellungen. Das ehemalige Alcantara wurde im Jahr 2020 durch das derzeitige Dinamica abgelöst.

Dinamica von Miko ist eine in Italien hergestellte Mikrofaser, die zum Teil durch den Einsatz von recyceltem Polyester (der recycelte Inhalt variiert je nach Produktlinie und Anwendung) und zunächst im Einrichtungs- und Modesektor eingesetzt wurde.

### 6.2.2.1 Herstellungsverfahren

Um die Dinamica Oberware herzustellen, ist eine umfangreiche Prozesskette erforderlich. Der Oberwarenhersteller beschreibt die Produktionskette durch die nachfolgende Grafik.

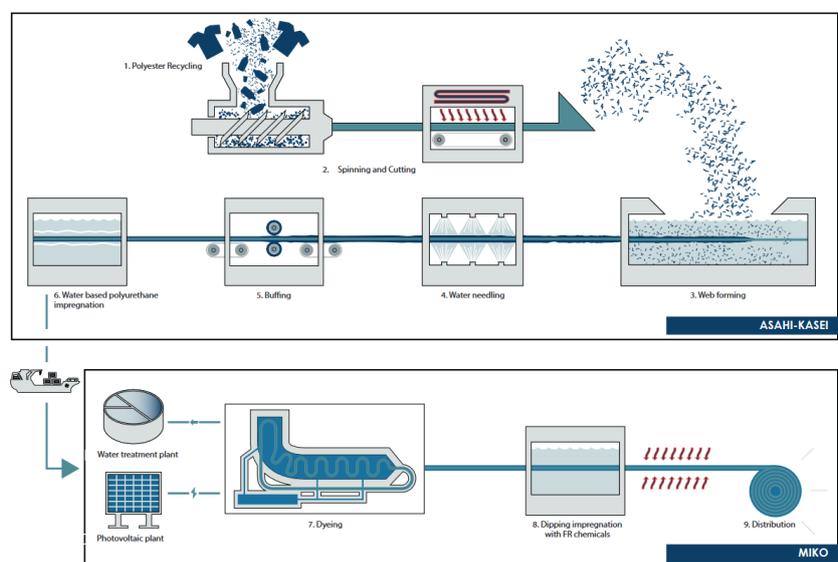


Abbildung 29: Herstellungsverfahren der Dinamica Oberware [8]

In einer Wasserlösung versenkt, zieht der innere „Scrim“ kleine Polyesterfasern, die in der Flüssigkeit schweben, zu beiden Oberflächen an, die mit einem wasserbasierten Nadelstanzprozess verdichtet werden. Die Mikrofaser wird dann in ein Polyurethan-Bad auf Wasserbasis ohne Verwendung von Lösungsmitteln eingetaucht. Dieses Verfahren verdichtet die Fasern und macht sie elastisch und widerstandsfähig [8].

Nachdem der Grundprozess erfolgt ist, wird das Rohmaterial der Oberware über Schiffsverkehr nach Italien zur Firma „Miko“ transportiert. Dort findet grundsätzlich die Veredelung der Oberware je nach Kundenanforderung statt. Dazu gehört das Färben sowie die chemikalische Tauchinprägnierung. Nach Abschluss der beiden Prozessschritte wird das Material aufgerollt und anschließend weiter zum Kaschierer

transportiert. Beim Kaschierprozess findet ein identes Verfahren wie bei der herkömmlichen Mirco Pique Oberware statt. Für das LCA wurden von beiden Oberwarenlieferanten die Evaluierung der THG-Emissionen anhand der oben beschriebenen Produktionsschritte ausgewiesen. Ebenfalls wurde die Umweltauswirkung des Kaschierlieferanten eingefordert und gemäß dem angewendeten Fertigungsverfahren ausgewiesen.

Somit entstehen für einen Quadratmeter Micro Pique 7,144 Kilogramm CO<sub>2</sub> - Äquivalente bzw. für einen Quadratmeter Dinamica 7,226 Kilogramm CO<sub>2</sub> - Äquivalente.

### 6.3 Anbauteile

Grundsätzlich müssen ebenfalls Anbauteile aufgrund der Verschiedenheit bzw. der unterschiedlichen Materialien und Herstellungsverfahren kategorisiert werden:

- Vliese aus Kunststoff
- Formteile aus Spritzguss
- Metallische Anbauteile (Klammern)

#### 6.3.1 Akkustikvlies

Um Störgeräusche und Lärmemissionen im Fahrzeug zu minimieren, werden Schallisierungen verwendet. A-Säule, C-Säule und D-Säule werden mit einer Schallisierung ausgestattet. Die C-Säule erhält sogar zwei an der Zahl. Die B-Säule erhält aus konstruktiven Gründen mit dem Gurthöhenversteller keine Schallisierung. Die Schallisierung besteht aus einem kunststoffbasierten Fasergewirke (100% PET). Mittels Stanzmesser wird die Schallisierung in die gewünschte Form zu gestanzt. Die Schallisierung wird auf der Bauteilrückseite mit der Säulenverkleidung in der Umbuganlage verschweißt. Der Beitrag zum CO<sub>2</sub> - Fußabdruck wurde vom Lieferanten mit 0,15 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Kilogramm Material bewertet. Abbildung 30 zeigt die Schallisierung der A – und C-Säulenverkleidung.



Abbildung 30: Schallisolierung für A- und C-Säulenverkleidung

### 6.3.2 Splitterschutz

Aufgrund der Sicherheitsanforderungen bzw. der direkten Airbagrelevanz der A-Säule, gibt es verschiedene Messwerte, welche im Rahmen der Airbagschussversuche ermittelt werden. Ziel ist es das Verletzungsrisiko durch Splintern oder durch unkontrolliertes Ausreisen von Bauteilen im Ernstfall so gering wie möglich zu halten. In Anbetracht dessen, wird die A-Säule serienmäßig mit einem zusätzlichen Splitterschutz aus Kunststoffvlies ausgestattet. Ein Spinnvlies mit einer Zusammensetzung aus PET und PP sowie einer selbstklebenden Folie aus Polyphenylensulphone auf der Bauteilrückseite müssen eine Rissfestigkeit von 180 N/5cm vorweisen. Der Filz wird mit der selbstklebenden Folie auf der Bauteilrückseite angebracht. Die richtige Position wird mittels Sensoren in der Umbuganlage abgefragt.



Abbildung 31: Splitterschutz A-Säulenverkleidung

### 6.3.3 Formteile

Aus funktionalen Gründen und Designvorgaben werden verschiedene Formteile aus Spritzguss an die Säule angebracht. Zu den Formteilen zählen:

- Airbaglogo
- Gurthöhenversteller
- Gurtblende
- Mantelhacken
- Lautsprecherblende

Generell ist zu sagen, dass alle Montageformteile stets der Farbe der Oberware gleich sind. Somit werden diese Anbauteile in den verschiedensten Farben gefertigt. Um dies zu bewerkstelligen, wird dem Grundmaterial sogenanntes Masterbatch hinzugemengt.

Unter dem Begriff Masterbatch bzw. Farbgranulat versteht man Kunststoffadditive in Form von Granulaten mit Gehalten an Farbstoffen. Sie werden dem Kunststoff (Rohmaterial) zum Einfärben oder zur Veränderung der Eigenschaften wie beispielsweise als Antistatikum (Kratzschutz) beigemischt. Im Vergleich zu pulverförmigen Zusatzstoffen sind Masterbatches besser zu Verarbeiten und schaffen eine höhere technische Prozesssicherheit [26].



Abbildung 32: Beispielbild des Masterbatches in der Kunststoffverarbeitungsindustrie [11]

Das Masterbatch wird in einer Verhältnismäßigkeit von ungefähr 4% zum Grundmaterial dazu gemengt. Dem Masterbatch wird seitens des Lieferanten ein CO<sub>2</sub> - Äquivalent von 2,5 je Kilogramm Material zugeordnet.

### 6.3.3.1 Airboglogo

Die B-Säulenverkleidung erhält als airbagrelevantes Bauteil ein Airbaglogo. Das Airbaglogo wird ähnlich wie der Träger aus Polypropylen hergestellt. Aufgrund der kleinen Größe wird das Bauteil mit einem Mehrfachwerkzeug gefertigt. Das Verwenden von Mehrfachwerkzeugen ist im Spritzgussbereich ein typisches Verfahren mit dem Kleinteile ohne komplexe Geometrie gefertigt werden. Durch Anordnung mehrerer Kavitäten, können mit einem Maschinenhub ein Vielfaches an Bauteilen hergestellt werden. Dies bricht den Fußabdruck in Hinblick auf den energetischen Fertigungsaufwand massiv herab. Dabei ist zu erwähnen, dass dieses Bauteil ein Übernahmeteil ist. Dies sagt damit aus, dass dieses „COP“ Teil aus Vorgänger bzw. Parallelprojekten herangezogen wurde und somit keine neuen Werkzeuge oder Anlagen gebaut wurden. Sogenannte „Carry over parts“ sind ein übliches Instrument in der Automobilindustrie um Kosten, Logistikaufwände sowie Bauzeiten und Entwicklungsphasen zu sparen.

Das Trägerteil hat werkzeugfallend eine Tasche mit drei Rundlöchern eingepreßt in der das Airbaglogo händisch angebracht wird. Anschließend wird es in der Umbuganlage physisch abgefragt und mit dem Heißnietverfahren mit dem Träger vernietet.



Abbildung 33: Airbaglogo der B-Säulenverkleidung

### 6.3.3.2 Gurthöhenversteller

Aus Ergonomie - als auch aus Sicherheitsgründen soll es den Fahrer bzw. den Beifahrern ermöglicht werden die Höhe des Sicherheitsgurtes verstellen zu können. Aus diesem Grund erhält die B-Säulenverkleidung als weiteres Zukaufteil einen Gurthöhenversteller. Auch hier wird das Anbauteil aus demselben Material, Polypropylen gefertigt. Die Säule hat werkzeugfallende Führungen als auch eine Parkposition, in welcher die Lasche des Gurtverstellers bei Auslieferung eingerastet sein muss. Die Montage des Gurtschiebers erfolgt aus technischen Gründen händisch an der End of Line.



Abbildung 34: Gurthöhenversteller der B-Säulenverkleidung

### 6.3.3.3 Mantelhaken

Als weiteres Zukaufteil wird gemäß Kundenanforderung und Designvorgabe ein Mantelhaken verbaut. Ähnlich dem Airbaglogo ist ebenfalls der Mantelhaken ein Carry Over Part aus einem Parallelprojekt. Eingeschult wird der Haken manuell über zwei Rundpins mit unterschiedlichen Durchmessern in die Ausnehmungen des Trägerteils. Im Heißumbug wird der Mantelhaken abgefragt und mittels Sonotroden werden die Rundpins zu Nietköpfen ausgeformt.

Der Mantelhaken ist ein Kleinteil, welches ebenfalls über ein Mehrfachwerkzeug produziert wird und als Schüttgut verpackt und versendet wird. Der Lieferant äußert sich zu seinen Produkten laut Nachhaltigkeitsbericht mit einer 100%igen CO<sub>2</sub>-neutralen Produktion. Da es sich um ein gebatchtes Teil handelt, sind Materialvorbereitung und Transport die Kerngrößen für die Studie.



Abbildung 35: Mantelhaken der B-Säulenverkleidung

#### 6.3.3.4 Gurtblende

Die Gurtblende dient als Verkleidungselement um den Sicherheitsgurt durch die Säule durchzuführen. Um die Passgenauigkeit und Positionierung zu bewerkstelligen, wurde konstruktiv eine Einbettung im Träger vorgesehen. Um die Säule mit der Gurtblende zu verbinden, wird die Blende mit sieben Nietpins ausgeformt. Aus diesen Pins werden im Umbugprozess über Sonotroden Nietköpfe ausgeformt, um die Bauteile miteinander zu verbinden.

Die Gurtblende ist ein spritzblankes Kunststoffteil, welches über eine genormte „K31“ Narbung verfügt. Eine Narbung ist eine Oberflächenstruktur mit einem gleichmäßig verworrenen Linienmuster. Meist ist eine Narbung aus haptischen oder optischen Gründen erwünscht. Genarbte Oberflächen kennt man ursprünglich von verschiedenen Ledersorten. Auch Kunststoffteile werden gerne mit genarbten Oberflächen versehen. Für derartige Spritzgussteile wird im Formwerkzeug die Narbenstruktur in die Konturfläche geätzt. Resultierend aus dem hohen Druck und der vorgegebenen Oberflächenstruktur entsteht ein genarbtes Kunststoffbauteil.

#### 6.3.4 Lautsprecherblende

Aufgrund der Variantenvielfalt im Automobilssektor, gibt es für die A-Säule zwei verschiedene Baustufen:

- Basis
- Lautsprecher (LSP) – Variante

Im Falle der Lautsprechervariante, wird über einen Einsatz im Formenwerkzeug eine Lautsprecheröffnung in der Säule erzeugt. Dort wird im weiteren Prozess die Blende

eingesetzt, um den Ton des dahinter befestigten Lautsprechers freizulassen. Die Lautsprecherblende wird manuell in die aus dem Einsatz vorgegebenen Einsteckpositionen eingeschuhrt und eingebettet, sodass ein gleichmäßiger Oberflächenverlauf erhalten bleibt. Im Weiteren wird das Zukaufteil im Umbugprozess über die durchgesteckten sechs Pins mit dem Träger vernietet. Anders als der Träger und dem restlichen Umfang an Zukaufteilen, wird die Lautsprecherblende aus ABS/PC gefertigt.



Abbildung 36: Lautsprecherblende der A-Säulenverkleidung

### 6.3.5 Metallklammern

Um die Säulenverkleidungen mit dem Rohbau bzw. der Karosserie zu verbinden, werden metallische Befestigungsklammern verwendet. Diese sind überwiegend einheitlich um die Diversität so gering wie möglich zu halten. So ergeben sich für den gesamten Säulenumfang gemäß Tabelle 2 drei unterschiedliche Klammern:

Tabelle 2: Übersicht Metallklammern

Bezeichnung	Material	Anzahl je Fahrzeug	Grafik
Befestigungsklammer V-Klammer	C67S	14	
Steckklammer Omega Klammer	C67S	16	
Retainerklammer T-Bolzenklammer	C67S	2	

Sowohl in der A- als auch in der C- und D-Säule findet diese V-Klammer ihre Anwendung. Die Funktion der Klammer ist die konzipierte Anlagefläche mit dem Rohbau zu verbinden. Dazu sind in den Anlageflächen Buchsen konstruiert, in welchen die Klammern eingeführt werden. Zur Absicherung werden diese Klammern vor dem Start des Umbugprozesses auf ihre Position und ihr Vorhandensein abgefragt.

Das Material dieser Klammern ist sogenannter „C67S“. C67S gehört zu den Vergütungsstählen, der oft auch als Federstahl bezeichnet wird. Dieser Stahl wird aufgrund seiner Federqualitäten, die eine hohe Festigkeit und Elastizität bieten häufig für die Herstellung von Befestigungselementen wie Klammern, Federn und anderen Bauteilen verwendet [32]. Diese Klammern werden mit Presskräften in Stanzautomaten hergestellt. Somit ergibt sich gemäß Hersteller ein CO<sub>2</sub> - Äquivalent von 13,9 Kilogramm je 1000 Stück. Ebenfalls wird die T-Bolzenklammer aus C67S gefertigt. Aufgrund dessen wird das CO<sub>2</sub> - Äquivalent für alle Klammertypen als ident angenommen.

## 7 Transport

Um den Transport in die Ökobilanz einfließen lassen zu können, ist es zwingend erforderlich zu wissen, woher der jeweilige Rohstoff oder das jeweilige Zukaufteil stammt, mit welchem Transportmittel es transportiert wird und mit welcher Art von Treibstoff das jeweilige Verkehrsmittel angetrieben wird. Dies wäre für die gesamte Lieferkette zu ermitteln. Unter der Berücksichtigung der EN16258, sind Emissionswerte für TTW (Tank-To-Wheel) und WTW (Well-To-Wheel) zu berechnen. Die TTW bezeichnet die direkte Emission durch Verbrennung der jeweiligen Treibstoffe für das jeweilige Transportmittel, während die WTW die Herstellung, den Transport und die Verteilung des Kraftstoffes bewerten. Somit ist die Summe der WTW + TTW gefragt, um gesamtheitlich das CO<sub>2</sub> - Äquivalent eines Transportes oder einer Lieferkette bestimmen zu können [30].

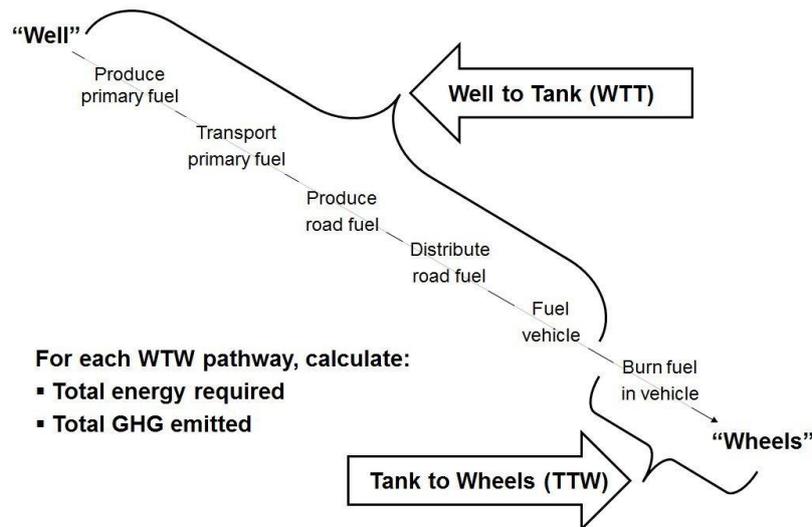


Abbildung 37: Darstellung "Tank to Wheel" und "Well to Tank" [30]

Ein Beispiel:

Bei der Annahme, dass es sich um ein China-Import handelt, ist eine Transportdistanz von etwa 18.000 Kilometern zu berücksichtigen (Frachtgewicht liegt bei etwa 30 Kilogramm). 2,7 Liter Schweröl sind pro Container mit 14 Tonnen und 100km Transportweg mit einer CO<sub>2</sub>-Emission von 81,3 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Schweröl sind hier für das gewählte Frachtgewicht und Transportdistanz zu berechnen. Hinzu kommt der Dieselmotorkraftstoff für den LKW mit 74 Tonnen CO<sub>2</sub> je Tonne Kraftstoff und einem Durchschnittsverbrauch von etwa 35 Litern pro 100 Kilometer.

## 7.1 Logistikkonzept

Um den Einfluss der Transporte einfließen lassen zu können, muss generell das Logistikkonzept betrachtet werden. Damit verbunden ist der Warenstrom zwischen Tier 1 und Kunde als auch alle Warenströme zwischen Tier 1 und dessen Unterlieferanten. Da das Werk ein Direktlieferant ist, liegt hier die Verantwortung der logistischen Versorgungssicherheit gegenüber dem Kunden. Wie aus der Abbildung 37 zu entnehmen ist, besteht das Logistikkonglomerat aus folgenden Parteien:

- Montagewerk Volkswagen
- Produktionswerk
- Logistikdienstleister
- Unterlieferanten

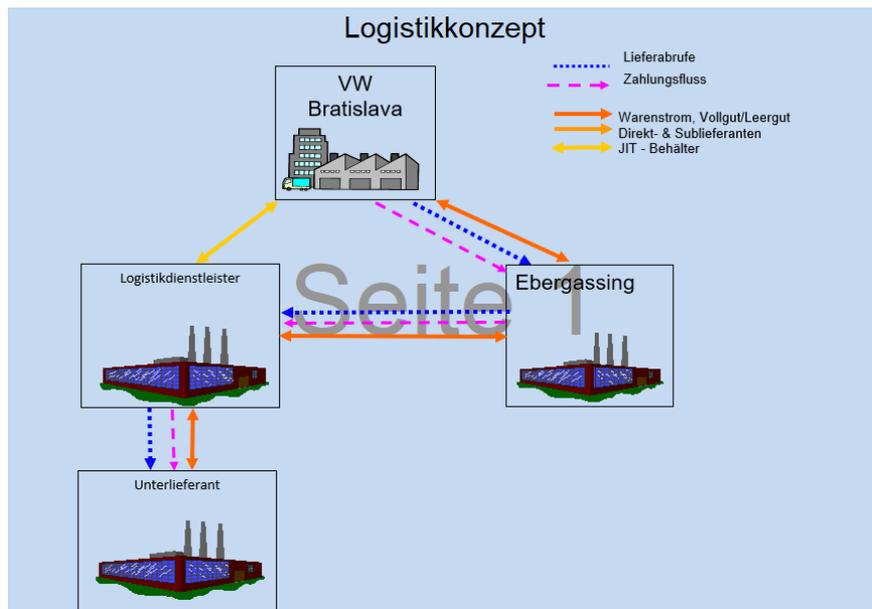


Abbildung 38: Logistikkonzept

Hierbei ist zu beachten, dass es sich um ein Just in Time (JIT) Logistikkonzept handelt. Das bedeutet, dass sortenrein produziert wird und erst beim Logistikdienstleister die Säule der Fahrzeugsequenz zugewiesen wird.

## 8 Verpackung

Im Kapitel 8 werden alle Verpackungen durchleuchtet. Angefangen von der Anlieferung der Rohstoffe wie zum Beispiel Oktabins und PE - Folien als auch Einwegverpackungen wie Kartonagen. Darüber hinaus werden Kunststofffolien berücksichtigt, welche zum Bauteilschutz im Ladungsträger verwendet werden, sowie Karton Zwischenlagen.

Um einen Überblick über die verschiedenen Verpackungsmaterialien zu erhalten, kann folgende Tabelle genutzt werden:

Tabelle 3 Übersicht der Verpackungsmaterialien

Verpackung	Material	Verpackungsart	CO <sub>2</sub> - Äqu. in [kg]
Oktabin	Karton	Einweg	13,69 / OKT
Folie	PE	Einweg	3,1 / kg
Kartonzuschnitt	Karton	Einweg	964 / T
Faltschachtel	Karton	Einweg	1127 / T
Schaumvlies	PET	Einweg	3,1 / kg
IK1	Kunststoff	Serienverpackung Mehrweg	/

Für das LCA werden somit folgende Transportwege analysiert:

- Kundenlieferkette
- Lieferantenlieferkette

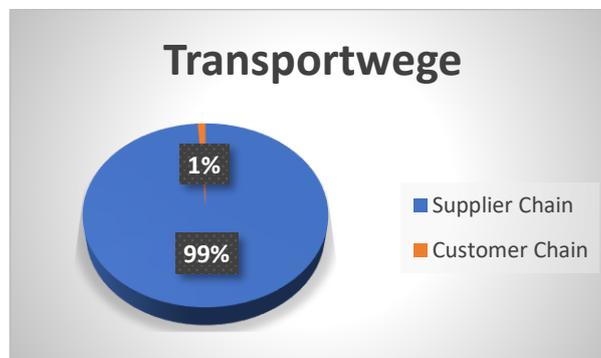


Abbildung 39: Vergleich Transportwege Supply Chain zu Customer Chain

Wie in der Abbildung 38 zu sehen ist, sind 99% (6839 Kilometer) der Transportstrecken auf logistische Abläufe zwischen Unterlieferanten und dem Produktionswerk zurückzuführen und lediglich 1% auf die Kundenlieferkette.

Tabelle 4: Transportübersicht

Bezeichnung	Transportdistanz [Kilometer]	Transportmittel	Supply Chain	Customer Chain
Granulat	917,4	LKW	x	
Schallisolierung	2127	LKW	x	
Montageklammern		Sprinter	x	
T-Bolzenklammer	951	Sprinter	x	
Gurtschieber	315	LKW	x	
Gurtblende	315	LKW	x	
Airbaglogo	315	LKW	x	
Mantelhacken	940	Sprinter	x	
Streckentransport	387	LKW		x
Dekor	40	LKW	x	
Dinamica	489	LKW	x	
Transport	77	LKW		x
Sequenzdienstleister				
Splitterschutz	370	LKW	x	

## 9 Strombereitstellung

Die Bereitstellung von Strom gehört zur Kategorie der indirekten THG-Emissionen. Im Fokus liegen die Quellen, aus welchen der Strom produziert wird. Dies können zum Beispiel Gas, Wasser, Kohle oder Windenergie sein. Der Strommix wird aus dem Jahresbericht des Stromanbieters Wien Energie entnommen. Die Quellen für die Stromerzeugung sind nach folgenden Technologien aufgeschlüsselt:

- 46,01 % aus Wasserkraft
- 11,81 % aus Windenergie
- 32,53 % aus fossilen Energieträgern
- 09,65 % aus sonstigen erneuerbaren Energieträgern

## 9.1 Strom aus Eigenproduktion

Das Werk betreibt ein Kleinwasserlaufkraftwerk im Flussbett des örtlichen Flusses. Das Kraftwerk wurde 1921 errichtet und ist mit 2 Francis – Turbinen ausgestattet. Die Leistung des Kraftwerkes beträgt im Idealfall ca. 1MWh pro Jahr. Das Laufkraftwerk nutzt einen Fallhöhenunterschied im Kraftwerksbereich von ca. 2,6 Metern. Das Wasser fällt auf die Turbine und setzt sie dadurch in Bewegung. Die Drehbewegung der Turbine treibt einen Drehstromgenerator zur Stromerzeugung an.

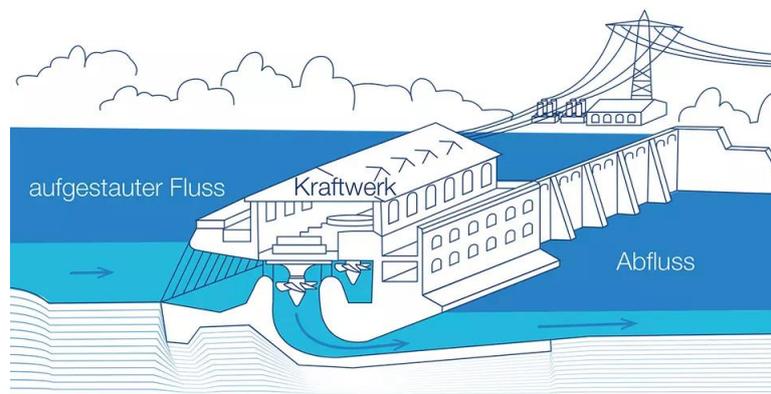


Abbildung 40: Prinzip Darstellung eines Wasserkraftwerkes [36]

Die Energieaufzeichnungen des Unternehmens zeigen, dass durch dieses Laufkraftwerk der Verbrauch an elektrischer Energie mit 4,48% unterstützt wird.

## 10 Bereitstellung von Druckluft

Für die meisten automatisierten Anwendungen wird komprimierte Luft benötigt. Angefangen vom Spritzgussprozess bei der Druckluft für die Ansteuerung von den Spannleisten im Werkzeug bis hin zu den Laserschneidprozess, bei dem die Laserkanone mit Druckluft versorgt werden muss. Ebenfalls benötigt das Umbugwerkzeug Druckluft um die diversesten pneumatisch Niederhalter und Spanner ansteuern und betätigen zu können.

Um den hohen Bedarf an komprimierter Luft nachzugehen, wird ein zentraler öleinspritzender Schraubenluftkompressor des Herstellers Kaeser verwendet. In den

Kompressorblöcken arbeiten Schraubenrotoren unter der Regie der Kompressorsteuerung auf Industrie - PC - Basis. Diese Anlagen sind mit einem Asynchronmotor mit der Energieeffizienzklasse IE4 ausgestattet und sorgen für eine hohe Energieeffizienz [16]. Der Schraubenkompressor versorgt insgesamt 8 Anlagen dieser Fertigungshalle mit Druckluft. Da der Luftkompressor auf Basis elektrischer Energie betrieben wird, bedeutet das, dass bei jeder pneumatischen Steuerung indirekt elektrische Energie verbunden ist.



Abbildung 41: eingesetzter Schraubenkompressor zur Druckluftherzeugung [16]

Um das LCA der Säulenprodukte durchzuführen ist somit der Aufwand an Druckluftherzeugung als auch der Verbrauch entscheidend. Um die Erzeugung der Druckluft auf das Produkt umzumünzen, wurde die Verbrauchsleistung an elektrischer Energie des Schraubenkompressors gemessen.

### 10.1 Anwendung auf das Produkt

Um den Gesamtverbrauch der elektrischen Energie für die Erzeugung von Druckluft auf das Produkt umzumünzen, müsste der Verbrauch an komprimierter Luft eines jeden Prozessschrittes ermittelt werden. Die Verbrauchsdaten an komprimierter Luft wurden in Zusammenarbeit mit den Lieferanten erhoben. Die Druckluftbedarfe werden durch die folgende Tabelle beschrieben:

Tabelle 5: Druckluftbedarfe

<b>Maschine</b>	<b>Druckluftbedarf</b>
Spritzguss	80 m <sup>3</sup> /h
Greifersystem	0,18 m <sup>3</sup> /h
Laserroboter	11,4 m <sup>3</sup> /h
Dämpferanlage	2,4 m <sup>3</sup> /h
Laserabsaugung	0,46 m <sup>3</sup> /h
Umbugwerkzeug	18 m <sup>3</sup> /h

Weiters wurde die Fördermenge des Kompressors in Bezug auf die gemessene Leistung ermittelt. Somit kann zurückgeschlossen werden, wie viel elektrische Energie für den Druckluftbedarf der einzelnen Prozessschritte aufgebracht werden muss.

## 11 Wasser für den Fertigungsablauf

Wie aus den einzelnen Kapiteln als auch aus dem Berechnungstool hervorgeht, wird für einige Prozessschritte Wasser benötigt. In den meisten Fällen wird Wasser zum Kühlen bzw. Temperieren verwendet oder auch zur Dampferzeugen. Dampf wird neben dem Betrieb der Interieurfinisher auch zum Heizen der zahlreichen Gebäude genutzt. Um den Aspekt Wasser im LCA betrachten zu können, wurde die Bereitstellung von Kühlwasser und Dampf näher analysiert.

### 11.1 Kühlwasser

Das eingesetzte Wasser für die verschiedenen fertigungsspezifischen Anwendungen wird mittels Förderpumpen aus dem örtlichen Grundwasser bezogen. Somit ist mit der Versorgung durch Wasser indirekt elektrische Leistung zuzuordnen. Da das Unternehmen im engen Austausch mit der örtlichen Behörde steht, konnte auf eine umfassende Dokumentation über die Wassernutzung zugegriffen werden. Über die Pumpenleistung und der entsprechenden Fördermenge der Pumpe, kann je verbrauchtem Liter Wasser eine Menge an elektrischer Leistung zugeordnet werden.

Die Einspeisung von Grundwasser kann in etwa durch die nachfolgende Abbildung beschrieben werden.

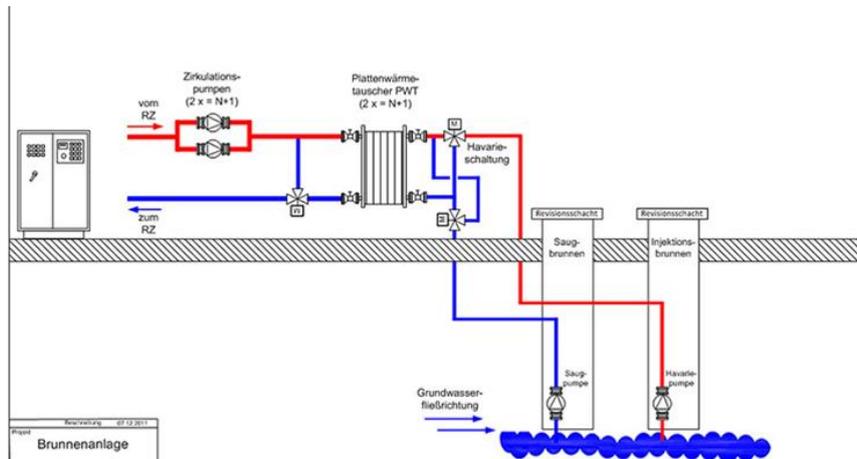


Abbildung 42: Grundwassereinspeisung [34]

## 11.2 Wasseraufbereitung

Wie in Kapitel 10.1 beschrieben, muss auch für Dampf Wasser aus dem Grundwasser gepumpt werden. Speziell für industrielle Anwendungen, so auch für die Dampferzeugung muss das Wasser, bevor es in den Dampfkessel geleitet, wird einige Vorbehandlungsschritte durchlaufen:

- Enthärtung
- Osmose
- Zugabe von Salz und Chemikalien

Die Aufbereitung des Wassers kann schematisch durch die nachstehende Abbildung beschrieben werden.

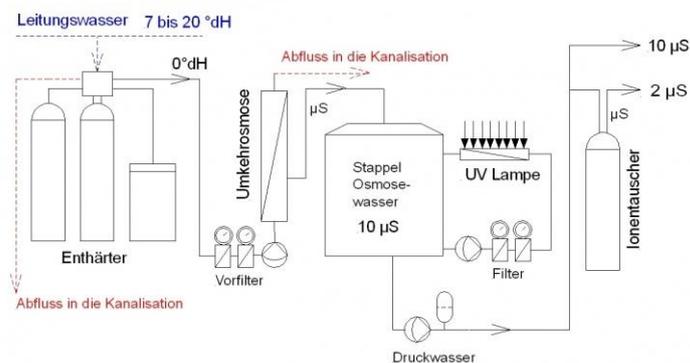


Abbildung 43: Wasseraufbereitung [1]

Daraus lässt sich zurückschließen, dass nicht 100% der geförderten Wassermenge direkt beim Dampfprozess ankommen. Aus den internen Aufzeichnungen lässt sich auf ein Verhältnis von Fördermenge an Wasser zu Wassermenge im Dampfkessel von 2:1 annähern.

### 11.3 Wasserverbrauch

Tabelle 6: Wasserverbrauch

<b>Maschine</b>	<b>Wasserverbrauch [l/min]</b>
Spritzgussanlage	10
Hinterspritzwerkzeug	49,1
Laseranlage	6 - 9
Interieur Finisher	3,39 L / Kg Dampf

### 11.4 Dampfherstellung

Für die Dampfherstellung in Ebergassing wird ein konventioneller Dampfkessel verwendet. Für die Erzeugung der thermischen Energie wird Erdgas als Energieträger verwendet. Das dafür verwendete Wasser wird mittels Pumpen gefördert, aufbereitet und in den Dampfkessel gespeist. Durch Wärmezufuhr wird das Wasser im Kessel erhitzt, sodass der Aggregatzustand von flüssigem Wasser zu Wasserdampf wandelt. Der Dampf wird dabei im Kessel über diverse Regler und Ventile unter Druck gehalten und über Rohrleitungen an die Dämpferinfrastruktur abgelassen. Parallel wird die Erzeugung von Dampf zum Heizen der zahlreichen Gebäude am Betriebsgelände verwendet. Über den Wirkungsgrad des Dampfkessels (95,3%) und dem Brennwert des Gases (11,2 kWh/m<sup>3</sup>) wurde der Energieaufwand für einen Kubikmeter Dampf berechnet.



Abbildung 44: Dampfkessel zur Dampferzeugung im Kesselhaus

Um den Gasverbrauch je Kilogramm Dampf bzw. für ein Bauteil zu bestimmen, wurde folgende Berechnungsformel angewendet. Gemäß dieser Berechnung ergibt sich je Kilogramm Dampf ein Gasverbrauch von 11,75 kWh.

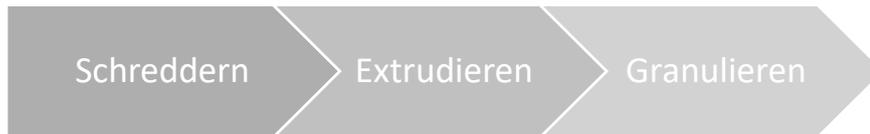
$$\text{Gasverbrauch} = \frac{\text{Masse Dampf} * \text{Brennwert Gas}}{\text{Wirkungsgrad Dampfkessel}}$$

## 12 Abfall

Die Produktionsabfälle bestehen im überwiegenden Teil aus Verpackungsmaterialien wie Kartonagen und Kunststofffolien. Das Verpackungsmaterial wird örtlich getrennt und vom zuständigen Abfallwirtschaftsunternehmen abgeholt. Produktionsabfälle aus der eigenen Produktion, wie Rohteile bzw. „Teile ohne Stoff“, werden im Zuge der Produktion in eigenen Behältern entsorgt und anschließend zur werksinternen Recyclinganlage überführt.

### 12.1 Recycling

Grundsätzlich werden unabhängig vom Kunststofftypen alle Trägerteile in der eigenen Recyclinganlage verarbeitet. Der Abfall durchläuft im Wesentlichen zwei Schritten:



Natürlich dürfen Kunststoffabfälle untereinander nicht gemischt werden. Deswegen werden die Behälter mit den Anfahrteilen der einzelnen Linien sortenrein zur Recyclinganlage angeliefert.



Abbildung 45 Sortenreine Sammlung von PP-Anfahrteilen

### 12.1.1 Schreddern

Im ersten Schritt des Recyclerprozesses werden die Kunststoffteile mechanisch zerkleinert, um nachfolgende Prozessschritte zu begünstigen. Über ein Förderband werden die Abfälle zum Schredder transportiert, wo sie über eine rotierende Welle mit Messern zerkleinert werden.



Abbildung 46: Transportförderband Rohlinge zu Schredderanlage und Extrudervorgang

### 12.1.2 Extrusion

Der gereinigte Kunststoff wird einem Extrusionsprozess unterzogen. Dabei wird das Material durch einen Extruder gepresst, der es aufschmilzt und zu einem kontinuierlichen Strang formt. Dieser Strang wird dann abgekühlt und zu Granulat geschnitten.



Abbildung 47: Extruder Recyclinganlage

### 12.1.3 Granulierung

Das resultierende Kunststoffgranulat wird weiterverarbeitet und kann in kleinen Pellets oder Granulaten vorliegen. Diese Granulate können dann als Ausgangsmaterial für die Herstellung neuer Kunststoffprodukte verwendet werden. Da aufgrund der Kundenvorgabe kein Recyclat in der Produktion beigemengt werden darf, wird das Recyclat im Falle des eingesetzten Hostacom am freien Markt für die Wiederverwendung im Kunststoffbereich verkauft. Basierend auf dieser Ausgangssituation wurde mit der Umwelt- und Recyclingabteilung die Herstellung von Recyclematerial untersucht. Dazu wurde die elektrische Leistung der Gesamtanlage ermittelt.



Abbildung 48: Abfüllung des Recyclingmaterials

## 13 Erfassung der Verbrauchsdaten

Um die Verbrauchsgrößen wie elektrische Energie, komprimierte Luft oder Wasser in das LCA miteinfließen zu lassen, wurden einerseits Anlagen und Werkzeuge gemäß Spezifikation als auch Bedienerhandbücher verwendet. Parallel gab es Austausch mit allen Anlagenherstellern bzw. Lieferanten zum Aufbau, der Funktion und der Verbrauchsermittlung der Maschinen. Nicht zu allen Anlagen

konnten von den Lieferanten genaue Information zum Stromverbrauch übermittelt werden, da keine Erfahrungswerte vorliegen bzw. der Verbrauch von der individuellen Anwendung abhängt. Aufgrund dessen wurde mittels geeigneter Prüfmittel der Verbrauch an elektrischer Leistung über der Zeit aufgezeichnet.

### 13.1 Messinstrument

Als Messinstrument wurde ein 3 - Phasen-Strommessgerät verwendet. Für jeder der drei Phasen im Wechselstromsystem hat das System einen separaten Messsensor. Sie wurden um die Leiter der Stromkabel platziert, um den Stromfluss zu erfassen.

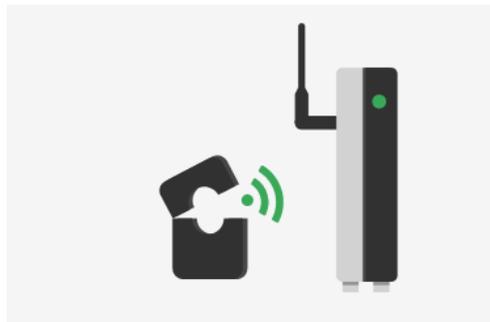


Abbildung 49: Funktionsbeschreibung des Messinstrumentes [37]

Über die bereitgestellte Analysesoftware des Messgerätenbieters, konnte der Stromverbrauch der Anlagen digital nachverfolgt werden.

### 13.2 Interpretation der erfassten Messdaten

Unter 12.2 werden alle ermittelten Stromverbräuche mittels der in 12.1 erläuterten Messmethode aufgezeigt. Aus den unten angeführten Aufzeichnungen, wurden jeweils Mittelwerte der Amplituden angenommen.

#### 13.2.1 Druckluftkompressor

Aus einer Datenerhebung gemeinsam mit dem Hersteller des Druckluftkompressors geht hervor mit welchem Druck bzw. mit welchem Drehzahlverhalten der Kompressor Druckluft bereitstellt. Daraus abgeleitet ergibt sich für die ermittelten Werte eine Leistungsaufnahme von 81,4 kW/h und einem und einem Liefervolumen von 11,94 m<sup>3</sup>/h.

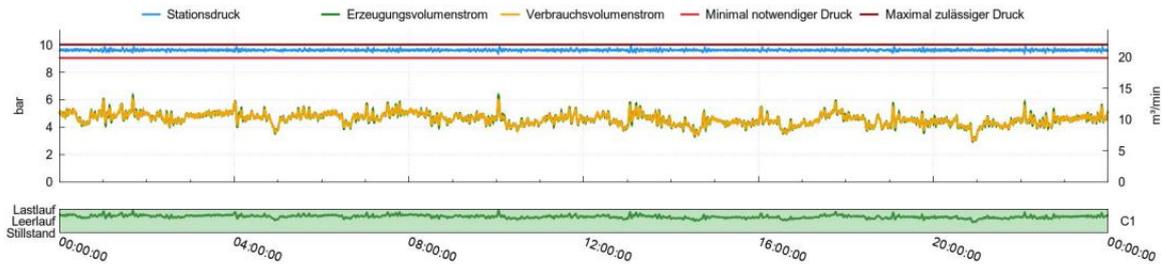


Abbildung 50: Aufzeichnung des Volumenstromes des Druckluftkompressors bei genannter Leistungsaufnahme

### 13.2.2 Trockner

Ebenfalls ist bei der Trockneranlage ein sehr konstanter Amplitudenverlauf zu erkennen. Hierbei wurde aus einer Stillstandszeit (Wochenende) heraus die Verbrauchsleistung aufgenommen. Gemäß der Aufzeichnung aus Abbildung 50 wird als Durchschnittswert für die Berechnungsgrundlage ein Verbrauch von 20 Kilowatt je Stunde angenommen.

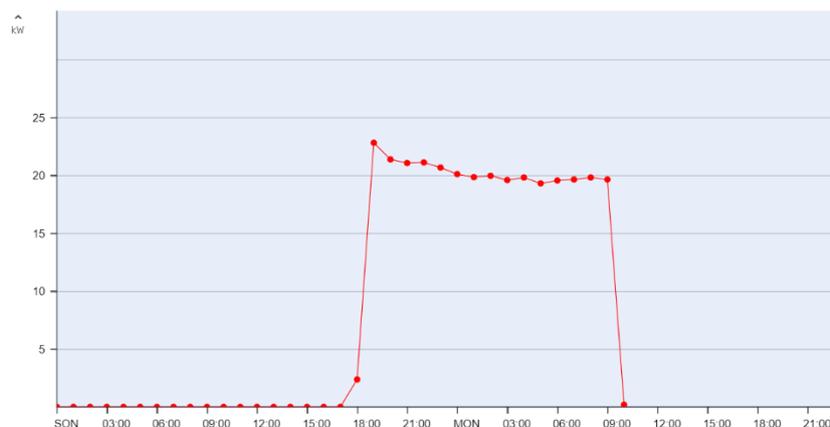


Abbildung 51: Messamplitude der Granulattrocknungsanlage

### 13.2.3 Vakuumanlage

Die Aufzeichnung der Zentralvakuumanlage zeigt ein schwankendes Profil, da die Vakuumanforderung stetig variiert. In Situationen, wo von mehreren Anschlussstellen Granulat gefördert wird, steigt somit die Leistungsanforderung. Abgeleitet aus der Grafik 51 werden als Durchschnittswert, 6 Kilowatt pro Stunde angenommen.

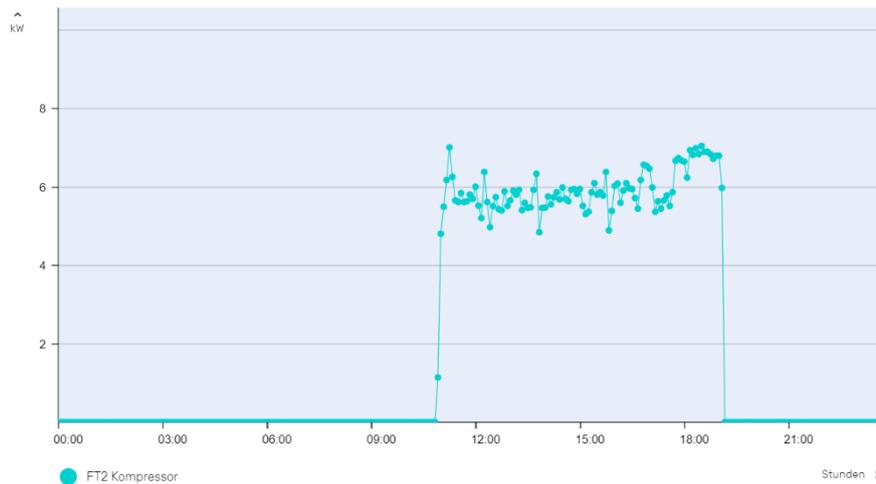


Abbildung 52: Leistungsaufnahme der Vakuumanlage

### 13.2.4 Umbuganlage

Bei der Umbuganlage kann in der Amplitude von 0:00 bis ca. 4:00 ein konstanter Verlauf abgelesen werden. Im Bereich des Abfalles auf 0 wurde ein Werkzeugwechsel durchgeführt. Darauf folgt eine starke Stromspitze, welche sich durch das Aufheizen der Heizungen im Werkzeug ergibt. Die darauffolgende Unregelmäßigkeit im Amplitudenverlauf lässt auf diverse Einstellarbeiten deuten, worauf sich die Leistungsaufnahme ab 09:00 wieder auf 8 Kilowatt stabilisiert. Für das LCA wird der zyklische Betrieb der Anlage mit 8 Kilowatt je Stunde herangezogen.

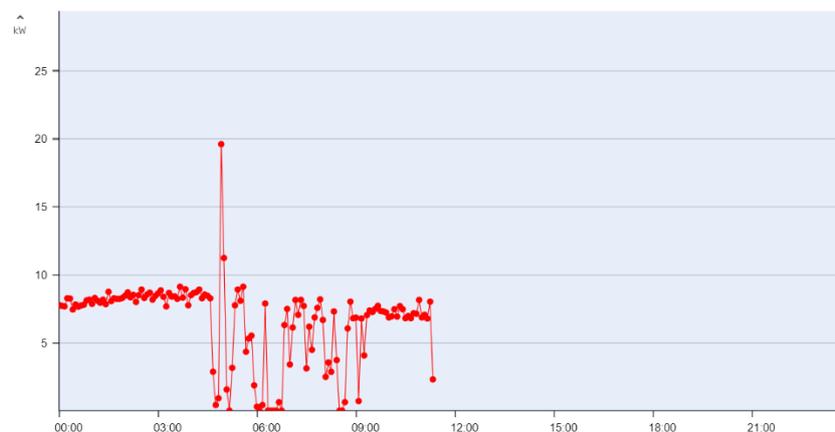


Abbildung 53: Leistungsaufnahme der Umbuganlage

### 13.2.5 Laseranlage

Bei der Laseranlage wurde aus der untenstehenden Grafik ein Durchschnittsverbrauch von 3 Kilowatt je Stunde herangezogen. Diese Messung beinhaltet die Leistungsaufnahme des Lasers sowie die den Antrieb der Vakuumeinheit als auch den Antrieb des Drehtisches.



Abbildung 54: Leistungsaufnahme der Laseranlage

### 13.2.6 ABB-Roboter

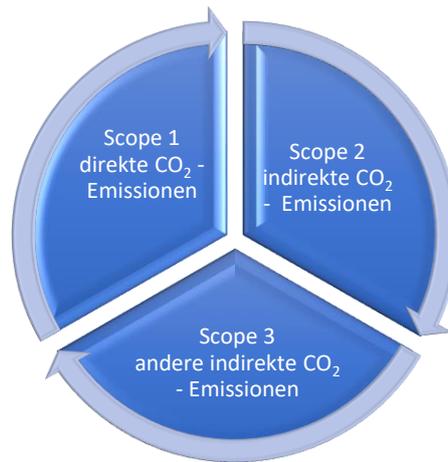
Aufgrund der Messung eines anderen elektrischen Verbrauchers mit derselben Messsensorik beginnt die Amplitude des ABB-Roboters erst kurz nach 09:00. Daraus lässt sich erkennen, dass der Stromverbrauch annähernd konstant bei 1 Kilowatt je Stunde verläuft und somit der geringste Verbraucher in der gesamten Prozesskette ist.



Abbildung 55: Leistungsaufnahme ABB - Roboter

## 14 CO<sub>2</sub>-Bilanz des Produktionsstandortes

Die CO<sub>2</sub> - Emissionen für das Werk werden kontinuierlich bewertet und nachverfolgt. Die Kerngrößen sind elektrische Energie, Gas, Abfall und Wasser. Dabei wird der Verbrauch an elektrischer Energie und Gas bzw. dessen CO<sub>2</sub> - Emissionen gemäß folgender Aufteilung klassifiziert.



### 14.1 Verbrauch elektrischer Energie

Aus den internen Aufzeichnungen als auch aus den Mitteilungen gemäß den monatlichen Stromverbräuchen, lässt sich der Verbrauch an elektrischer Energie darstellen. Der abgebildete Gesamtverbrauch umfasst sowohl die diversen Produktions- und Logistikbereiche sowie Büro- und Angestelltenbereiche. Abbildung 55 zeigt den gesamten elektrischen Bedarf in Kilowattstunden.

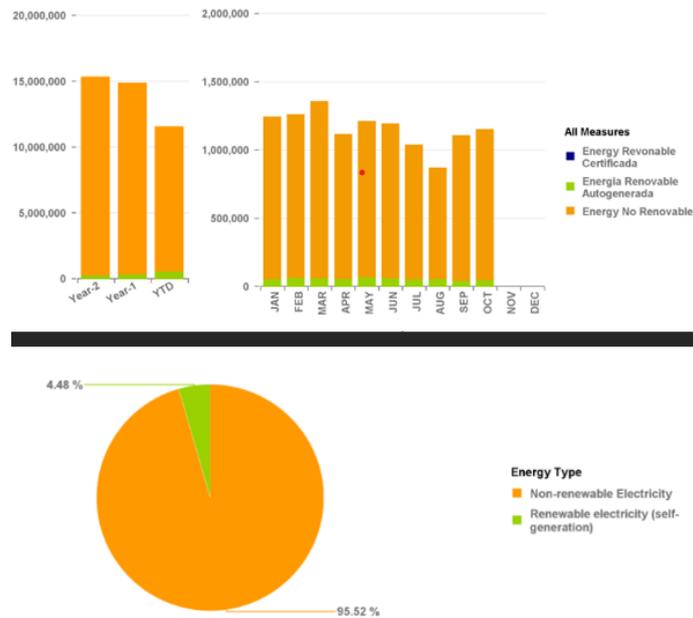


Abbildung 56: Stromverbrauch des Produktionswerkes [22]

Der Gesamtverbrauch über das Jahr verteilt lässt sich auf 15 Millionen Kilowattstunden summieren.

## 14.2 Verbrauch von Gas

Gas wird am Standort hauptsächlich für die Erzeugung von Dampf verwendet. Neben dem Dampf für die diversen Produktionsbereiche wird er parallel zum Heizen verwendet. So sieht man ebenfalls aus der Abbildung 56, dass mit der Heizsaison der Verbrauch an Gas auf die doppelte Menge ansteigt.

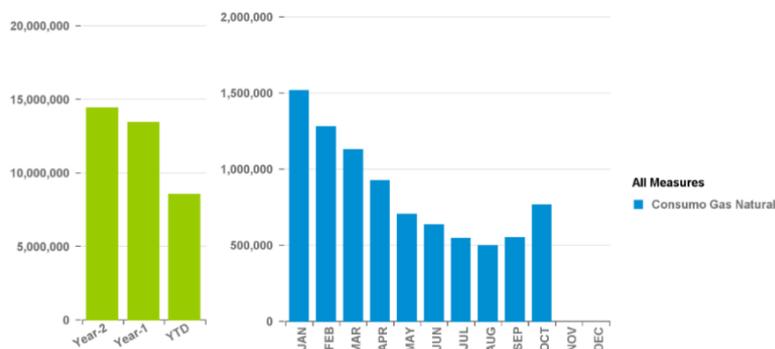


Abbildung 57: Gasverbrauch für das Produktionswerk [22]

### 14.3 Emissionen

Das Werk reported gemäß der Grafik CO<sub>2</sub> - Emissionen aus Scope eins und zwei. Gesamtheitlich betrachtet entspricht diese Verteilung des Säulendiagrammes, dass 61,07% der Emissionen aus direkten und 38,93% aus indirekten Emissionsquellen stammen. Wie aus der Y-Achse abzulesen ist, liegt der jährliche CO<sub>2</sub> - Ausstoß bei etwa 5000 Tonnen.

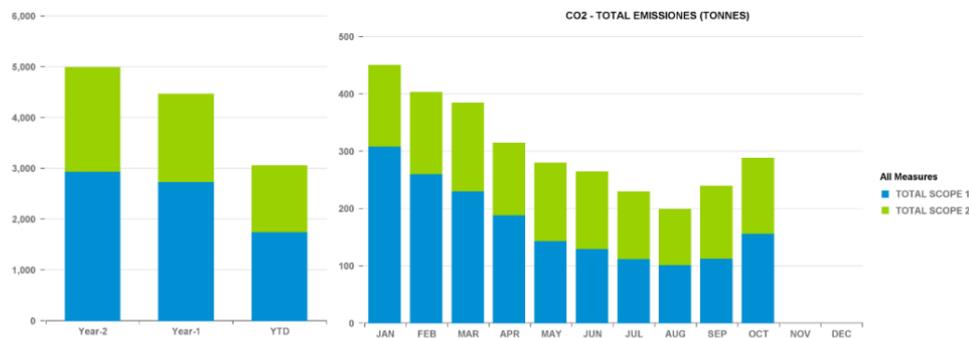


Abbildung 58: Quantifizierung des CO<sub>2</sub> Emissionen für das Produktionswerk [22]

Ebenfalls werden Emissionen aus dem Scope 3 in der internen Berichterstattung in Höhe von ca. 4,6 Tonnen CO<sub>2</sub> berichtet. Hier werden Emissionen aus Transporten gemäß der Well to Tank – Tank to Wheel – und well Wheel Aufschlüsselung festgehalten.

### 14.4 Abfall

Ebenfalls wird der Umgang mit Abfällen aufgezeichnet und berichtet. Dabei werden die Abfälle einmal in nicht gefährliche und gefährliche Abfälle gegliedert. Jährlich werden etwa 5000 Tonnen nicht gefährlicher Abfälle produziert. Die Eingliederung der Stoffe wird wie folgt vorgenommen:

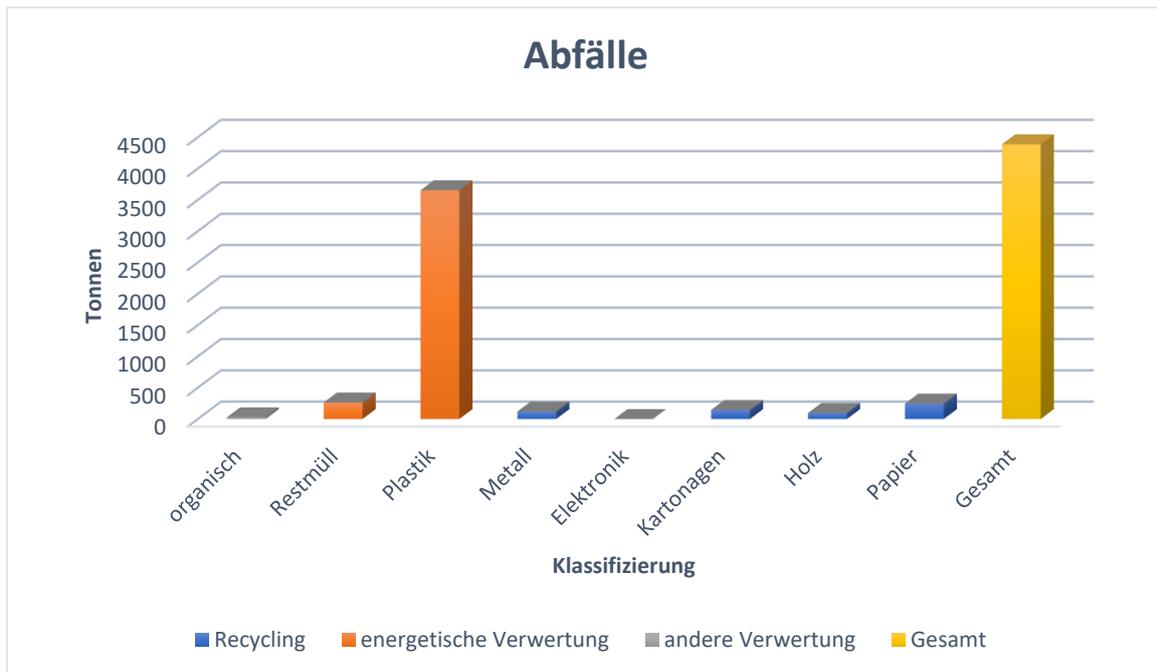


Abbildung 59: Abfallübersicht des Produktionswerkes [22]

Bei den Gefahrenstoffen werden jährlich knapp 75 Tonnen solcher Abfälle erzeugt. Dazu gehören:

- Klebstoffe
- Öle
- Abwasser in Verbindung mit Ölen und Chemiekalien
- Aerosole
- Batterien
- Elektronische Gefahrenstoffe
- Isocyanate
- Farbschlamm

Die Grafik zeigt, dass 86% der Schadstoffe energetisch verwertet werden und 13,6% anderweitig genutzt werden.

	86.17%		13.60%		0.23%
--	--------	--	--------	--	-------

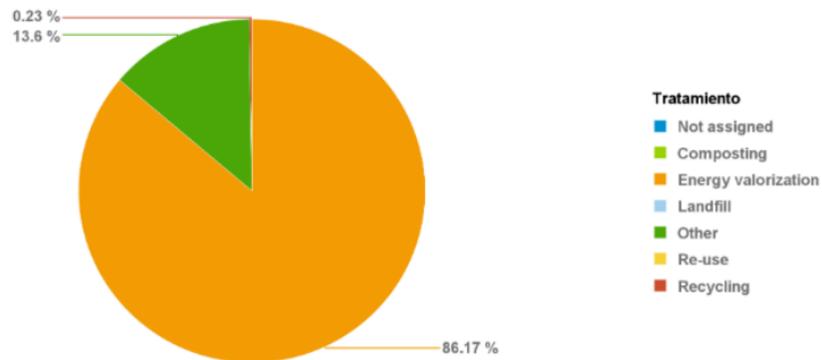


Abbildung 60: Verwertung der Gefahrenstoffe [22]

## 14.5 Wasserverbrauch

Der Wasserbrauch liegt gemäß den Aufzeichnungen monatlich bei ungefähr 80.000 Kubikmetern. Kumuliert sind das übers Jahr gesehen zwischen 835 und 950 Millionen Liter Wasser. Diese Zahlen berücksichtigen lediglich Grundwasser, welches für Produktionszwecke (Maschinen- und Werkzeugtemperierung, Dampferzeugung, etc.) gespeist wird.

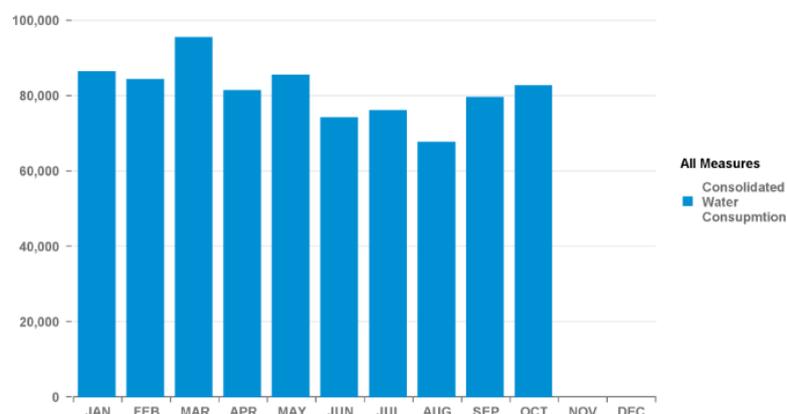


Abbildung 61: Wasserverbrauch für das Produktionswerk [22]

## 15 Zukunftsvisionen

Die Umweltabteilung des Werkes arbeitet stetig daran den Aspekt der Nachhaltigkeit zu vertreten. Unter zahlreichen internen Projekten zum Thema Energie sparen wird mit einem Team der OMV daran gearbeitet, Kunststoffabfälle für das sogenannte „Reoiling“ heranzuziehen.

### 15.1 Re Oil

„ReOil“ ist eine eigenentwickelte Technologie der OMV. Sie wandelt Post-Konsumenten- und Post-Industrie-Kunststoffe in synthetisches Rohöl (Syncrude) und petrochemisches Rohmaterial für die Produktion von Neukunststoffen um. Das Verfahren, das in der Pilotanlage in der Raffinerie Schwechat eingesetzt wird, ist ein sogenanntes Pyrolyse-Verfahren - eine Eigenentwicklung der OMV. Der Recyclingprozess beruht auf thermischem Cracken bei über 300 Grad Celsius. Dabei werden die mittel- und langkettigen Kohlenwasserstoffe in kurzkettige aufspaltet. Basis dieser Kreislaufwirtschaft ist ein chemischer Kreislauf: Aus kurzkettigem Öl werden langkettige Kunststoffe erzeugt, die durch das ReOil - Verfahren wieder zu kurzkettigem Öl werden. Das recycelte Rohöl kann zu jedem gewünschten Raffinerieprodukt verarbeitet werden, wodurch die Abhängigkeit von natürlichen Ressourcen reduziert und die Kohlenstoffintensität im Vergleich zur Standard-Rohölverarbeitung verbessert wird [21].

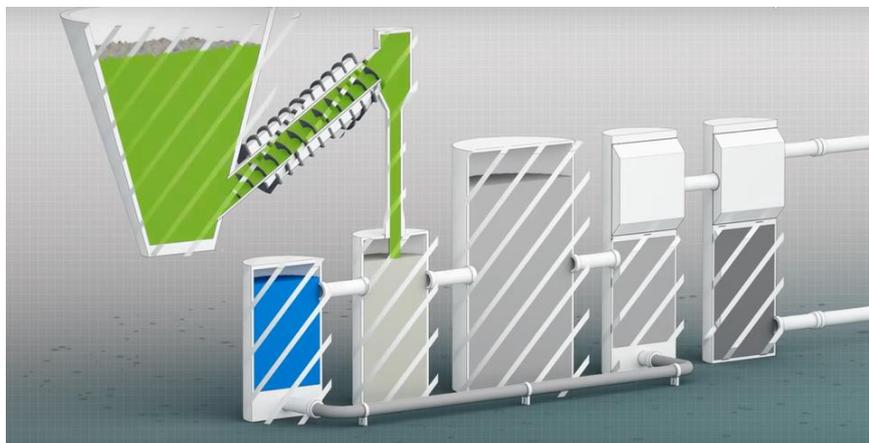


Abbildung 62: schematisches Funktionsprinzip des "ReOil" Verfahrens [21]

## 15.2 Oberware aus Recyclingmaterial

„ReNewKnit™“ Fasern, die aus 100% recycelten Plastikflaschen bestehen, sind aus recyceltem Polyestergerüst gesponnen und mit einer schaumfreien, recycelten Vliesabzug versehen, die den Wasser- und Energieverbrauch im Herstellungsprozess weiter reduziert. Dieses Automobil-Innengewebe wurde ausschließlich mit recycelten Materialien in Anlagen mit 100% erneuerbarem Strom hergestellt und ist an seinem Lebensende vollständig recycelbar. „ReNewKnit™“ ist ein Premiummaterial mit einer Vielzahl von Oberflächen, die für verschiedene Innenfahrzeuganwendungen mit verbesserter Funktionalität geeignet ist [38].

### 15.2.1 Pure Pure Dinamica

Das Dinamica Pure vertritt einen ähnlichen Hintergrund wie das oben genannte ReNewKit. Der Recycling-Anteil an Fasermaterial wird im Vergleich zum Dinamica Auto nochmals erhöht. Laut Angaben werden 242 Gramm recycelte PET-Fasern verwendet, um einen Quadratmeter Dinamica PurePure herzustellen. Dies entspricht ungefähr 73% des Gesamtgewichtes. Der höhere Anteil an recyceltem PET in Dinamica Pure führt zu einer CO<sub>2</sub>-Reduzierungmissionen von 3,1 % im Vergleich zu Dinamica Auto. Dies entspricht 181g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten weniger für jeden Quadratmeter Vliesstoff produziert. Im direkten Vergleich zum Dinamica Auto werden lediglich 38% des Gesamtgewichtes aus recycelten Fasern bereitgestellt [8].

Das Herstellungsverfahren von Dinamica ermöglicht es weniger native Rohstoffe zu gewinnen, da es einen Teil von recycelten Fasern von Abfallprodukten verwendet, die sonst auf Deponien geschickt oder verbrannt würden, wodurch CO<sub>2</sub>-Emissionen und andere Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit diesen Prozessen reduziert werden [8].

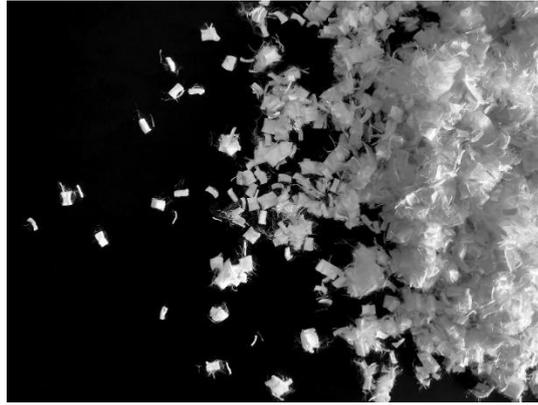


Abbildung 63: recycelte Fasern für die Herstellung von PurePure Dinamica [9]

### 15.2.2 CO<sub>2</sub> - Fußabdruck als Anfragekriterium

Bei den jüngsten Ausschreibungen von OEM's werden CO<sub>2</sub> - Ziele in den Anfragekriterien festgehalten. Somit müssen Lieferanten für zukünftige Aufträge bereits in der Angebotsphase das LCA durchgeführt haben und sich neben dem Preisangebot mit der Footprint-Analyse etablieren.

## 16 Berechnung

Um das LCA in einem Endergebnis als CO<sub>2</sub> - Äquivalent festzuhalten, wurde ein entsprechendes Excel Tool gebaut. Das Excelformular fängt mit einem Titelblatt an, in welchem das Projekt, der Umfang als auch das gegebene Ziel des Dokumentes beschrieben wird. („Cover“)

LCA DATA COLLECTION (COVER)		No.	1	PAGE
		REVIEW No.	1	17
		DATE	14.09.2023	
		ISSUED BY:	Ing. Daniel Najdoski	
INITIAL INFORMATION				
Project name	PO536			
Project Code	P26198			
Project Team Contact details	Plant Engineer: Daniel Najdoski			
SOP date	31.07.2017			
Assembly and Component Drawings	Isolation, Metallclips, Airbag felt, Airbaglogo, C-Be			
Customer needs/expectation/requirements	CO <sup>2</sup> Footprint of one carset			
Previous LCA (lessons learned) of similar product	/			
BOM /Technical Data Sheet Complexity matrix of project	Pflichtenheft PO536			
Company delivering to Customer	Antolin Ebergassing GmbH			
GOAL & SCOPE				

Abbildung 64: Cover der Data Collection

Fortgesetzt mit dem Reiter „Raw Data Collection“, in welchem im ersten Schritt alle Prozessschritte in der eigenen Hauptproduktion repliziert werden. Der Produktionsprozess wird in drei Kategorien geteilt:

- Teileproduktion
- Vor - bzw. nachgeschaltene Produktionsschritte
- Neben- bzw. Hintergrundprozesse
- Transport

In den Spalten Teileproduktion und Vor- bzw. Nachprozessen werden alle automatisierten Produktionsschritte wie zum Beispiel aufgelistet: das Spritzgießen, Granulatstrocknung oder Laserschneiden. Bei allen Prozessschritten werden Materialinput, wenn vorhanden Zykluszeit, Energieverbrauch, Wasserverbrauch als auch Druckluftverbrauch eingebunden. Hier werden die gemessenen als auch die eingeforderten Daten der Maschinen und Anlagen eingebunden. Die eingehobenen Verbrauchsdaten (Kilowatt je Stunde, Liter bzw. m<sup>3</sup> je Stunde) werden über Analgenzykluszeiten auf das Bauteil umgerechnet.

Als Nebenprozess werden die Dampferzeugung und die Wasserbereitstellung eingebunden. Über den berechneten Wert je Stunde bzw. je Bauteil und über den definierten Energiebedarf für Wasser, Dampf und Druckluftherzeugung lässt diese indirekte Energieversorgung auf das Bauteil einfließen.

Als weiterer Überbegriff schließt ab Spalte 20 der Transport an. Hier wird der gesamte Transportprozess der Kunden und Lieferanten in alle Einzelheiten unterteilt. Im Zusammenhang mit der monatlichen Bauzahl des Fahrzeuges (Ø 6388) und der Stücklisten werden Monatsbedarfe errechnet. Basierend auf den Monatsbedarfen werden Liefereinheiten mit den zugehörigen CO<sub>2</sub> - Äquivalenten gebildet. Das CO<sub>2</sub> - Äquivalent für den Transport auf das Zukaufteil oder FF-Teil bezogen, wurde mittels dem „Carbon Care Emission Rechner“ ermittelt. (Carbon Care Emission Rechner , 2023) Dieser berücksichtigt das Transportgewicht, die Entfernung und das Transportmittel gemäß der TTW-These. Das emittierte Transportäquivalent wird anschließend auf das Zukaufteil bzw. das FF-Teil herabgebrochen. Weiters ist zu betonen, dass das Transportäquivalent der Fertigteile basierend auf den sogenannten „Takerates“, das heißt den Abnahmezahlen der jeweiligen Varianten berechnet wurde.

Die Takerates, welche aus dem Projektpflichtenheft hervorgehen, werden prozentuell zur oben genannten Durchschnittsrate bezogen. Daraus bilden sich die monatlichen Stückzahlen sowie die Anzahl der Ladungsträger und das Transportgewicht, welche in den Rechengvorgang einfließen.

Um den Punkt Verpackung im LCA einfließen zu lassen, wurden alle Zukaufteile in ihrem Anlieferungszustand auf die gewählten Verpackungsmaterialien analysiert. Dazu zählen Kartonagen, Faltschachteln, Kunststofffolien als auch Kunststoffbeutel. Um den Zusammenhang für die Berechnungsgrundlage herzustellen, wurden die Materialien gewogen und mit globalen Durchschnittswerten betrachtet. Grund dafür ist die große Diversität an Verpackungsmaterialien, die Vielzahl an Lieferanten und die fehlenden Informationsschnittstellen.

1. Basierend auf dieser Datengrundlage folgt die eigentliche Bestimmung des Carbon Footprints. Ähnlich der Datensammlung wurde in folgende Etappen gegliedert:
2. Materialinput gemäß Stückliste („eBOM“)
3. Teileproduktion (Hauptprozessschritte)
4. Klassifizierung der Neben-/ Hintergrundprozesse (Dampf-, Druckluft- und Druckluftbereitstellung)
5. Verpackung
6. Logistik
7. Abfall (Anfahrteile Spritzgussprozess, Ausschuss)
8. Ende des Lebenszyklus (Entsorgung)
9. Endergebnis (Kreisdiagramm)

## 16.1 Berechnungsannahmen

Bei der Berechnung des CO<sub>2</sub> - Fußabdruckes wurden die gemessenen Werte der Anlagen bzw. Werte gemäß Anlagenspezifikation herangezogen. Diese Werte beschreiben Anlagen, Maschinen und Werkzeuge bereits in ihren Betriebsbedingungen (aufgeheizt, temperiert, frei von Leckagen oder Störungen). Weiters werden Fehler bzw. Materialschwankungen, welche zu unkalkulierten Ausschuss - oder Taktzeitverlusten führen würden, ausgeschlossen. Es wird von einer Ausschussrate gleich einem Prozent gerechnet und mit einer Anfahrteilstückfrequenz von je

3 Teilen je Schicht (Anfahren nach Werkzeugwechsel und Anfahren nach Pausenstillstand).

## 16.2 Ergebnisse

Unter der Betrachtung der oben genannten Randbedingungen werden die Berechnungsergebnisse in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 7 Aufschlüsselung der CO<sub>2</sub> - Äquivalente je Säulenprodukt

Säule	CO <sub>2</sub> Äquivalent je Bauteil [kg]
A-Säule Basis Dekor	5,36
A-Säule Basis Dinamica	5,47
A-Säule LSP Dekor	5,74
A-Säule LSP Dinamica	5,51
B-Säule Dekor	4,83
B-Säule Dinamica	4,87
C-Säule Dekor	5,47
C-Säule Dinamica	5,60
D-Säule Basis	1,82
D-Säule Bose	19,62

## 16.3 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Cradle – to - Gate-Analyse zeigen, dass für eine Säule etwa 5-6 kg CO<sub>2</sub> - Äquivalente entstehen. Die Wahl dieser Methode beruht darauf, dass die Verantwortung des Produktionswerks mit der Auslieferung der Bauteile endet, und somit keine weiteren Einflüsse auf die letzten Phasen des Lebenszyklus genommen werden können. Im Vergleich zu Bauteilen aus dem Tür- und Cockpitsegment lassen sich die berechneten Ergebnisse dieser Kategorie zuordnen. Diese Zuordnung erscheint angemessen, da die Ergebnisse im Verhältnis zu den genannten Segmenten stehen. Die vorherige Betrachtung im Praxismodul I deutete bereits darauf hin, dass die Herstellung eines ICE-Fahrzeugs Emissionen von 7,2 - 8,5 Kilogramm CO<sub>2</sub> - Äquivalente verursacht. Diese Erkenntnis unterstützt die Interpretation, dass die berechneten Werte dieser Studie im Einklang stehen.

Die Analyse zeigt weiterhin, dass Produkte wie die Oberware, unabhängig von der Variante mit Dinamica oder Miro Pique, den größten Einfluss auf den CO<sub>2</sub> - Fußabdruck haben. Ebenso fällt auf, dass der Einsatz von Lautsprechern, wie bei der D-Säulenverkleidung, den Wert signifikant ansteigen lässt. Dies lässt sich auf den hohen Emissionsfaktor des Lautsprechers zurückführen, der durch Recherchen auf 18 kg CO<sub>2</sub> - Äquivalente pro Lautsprecher bestimmt wurde. Ein solches Ergebnis war zu erwarten, da allgemein bekannt ist, dass elektronische Bauteile eine geringe Umweltverträglichkeit aufweisen. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit, alternative Materialien oder Produktionsmethoden zu prüfen, um den ökologischen Fußabdruck zu reduzieren.

Im Verhältnis zum Gesamtergebnis ergibt sich für den Transportabschnitt ein Anteil von 0% (Wert < 0,0 / Bauteil). Dies bedeutet, dass der Transport in der Gesamtbilanz und bei der Verteilung von CO<sub>2</sub> vernachlässigt bzw. ausgeblendet werden kann. Diese Erkenntnis deutet darauf hin, dass der ökologische Fußabdruck des Transports im Vergleich zu anderen Abschnitten des Lebenszyklus des Produkts geringfügig ist.

## 17 Conclusio

Abschließend kann daraus geschlossen werden, dass die Umweltauswirkung mit der Komplexität sowie dem qualitativen Ausführungsgrad in Verbindung steht. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass eine höhere Komplexität in einer Fertigung und dem Produktionsprozess tendenziell zu einem höheren Emissionsfaktor führt. Die Ergebnisse zeigen, dass diesem Faktor mit dem Einsatz höherer Technologiestandards und dem Wiederverwerten von Materialien entgegengesetzt werden muss, um die Umweltauswirkung zu minimieren.

## Literaturverzeichnis

1. (30. 12 2023). Von de.europeanwriterstour.com:  
<https://de.europeanwriterstour.com/images/industrielles-umkehrosrose-diagramm>  
abgerufen
2. ABB. (2023). ABB. Von  
<https://new.abb.com/products/robotics/de/roboter/knickarmroboter/irb-6700> abgerufen
3. AKE Technologies . (2023). www.ake-technologies.de. Von <https://ake-technologies.de/produkte/fahrzeuginterieur/umbuganlagen> abgerufen
4. Antolin . (2023). Product Carbon Footprint .
5. Antolin. (2023). LCA and Sustainability OHS .
6. Carbon Care Emission Rechner . (30. 12 2023). Von <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner> abgerufen
7. Danfoss. (07 2019). www.danfoss.com. Von  
<https://assets.danfoss.com/documents/44076/A1318739167975en-010101.pdf>  
abgerufen
8. Dinamicamiko. (29. 12 2023). dinamicamiko.com. Von  
[https://dinamicamiko.com/static/download/EPD\\_Auto\\_Line.pdf](https://dinamicamiko.com/static/download/EPD_Auto_Line.pdf) abgerufen
9. DinamicaMiko. (2023). www.dinamicamiko.com. Von <https://dinamicamiko.com/en/>  
abgerufen
10. Engel. (2023). Energy calculation\_Antolin Ebergassing\_EM 60\_1\_DUO  
4550\_700WPX.
11. Grafe . (29. 12 2023). www.grafe.com. Von [https://www.grafe.com/wp-content/uploads/2023/05/OEM-Interior\\_Colors-Prospekt\\_DE.pdf](https://www.grafe.com/wp-content/uploads/2023/05/OEM-Interior_Colors-Prospekt_DE.pdf) abgerufen
12. Haumberger. (30. 12 2023). www.haumberger.at. Von  
[https://www.haumberger.at/files/referenzbericht\\_magna\\_exteriors\\_\\_\\_interiors\\_automatisierung.pdf](https://www.haumberger.at/files/referenzbericht_magna_exteriors___interiors_automatisierung.pdf) abgerufen
13. HB Therm. (29. 12 2023). hb-therm.eu. Von [https://download.hb-therm.eu/docs/D8090-DEpdf\\_f067aed70a846009c02bd2672.pdf](https://download.hb-therm.eu/docs/D8090-DEpdf_f067aed70a846009c02bd2672.pdf) abgerufen
14. Herding. (2023). www.herding.com. Von  
<https://www.herding.com/de/anwendungen/laserbearbeitung/> abgerufen
15. Hinsteiner Group, Andreas Nestler . (2014). Spritzgießwerkzeuge - Höchste Präzision für Ihre Kleinserien.
16. Kaeser. (2021). www.kaeser.com. Von  
<https://at.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:15-5923> abgerufen
17. KUKA. (2023). www.kuka.com. Von [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/87f2706ce77c4318877932fb36f6002d/kuka\\_laserroboter\\_co2\\_d\\_e.pdf?rev=cd4c5a80bf024b1a8cbea1e552f4b809&hash=5574272367E554DB4F90681150624786](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/87f2706ce77c4318877932fb36f6002d/kuka_laserroboter_co2_d_e.pdf?rev=cd4c5a80bf024b1a8cbea1e552f4b809&hash=5574272367E554DB4F90681150624786) abgerufen

18. LyondellBasell. (2023). [www.LyondellBasell](https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Hostacom-EKC-330N-E1-C12780/499a87f2-e66c-4a97-a397-6c58788c47cd). Von <https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Hostacom-EKC-330N-E1-C12780/499a87f2-e66c-4a97-a397-6c58788c47cd> abgerufen
19. Motan. (2016). Fördergerät Betriebsanleitung.
20. Najdoski, D. (2023). Praxismodul I.
21. OMV Reoil (2018). [Kinofilm].
22. Produktionswerk. (2023). [Environmental\\_Road\\_Map](#).
23. Rittal . (kein Datum). Technisches Systemhandbuch Flüssigkeitskühlung.
24. Trotec. (2023). [www.troteclaser.com](https://www.troteclaser.com). Von <https://www.troteclaser.com/de-at/hilfe-support/hilfe-center/co2-laser> abgerufen
25. VEIT. (2023). [www.Vite.de](http://www.vite.de). Von <https://www.veit.de/produkte/bedampfungsanlage-interior-finisher/interieurfinisher-veit-8660/> abgerufen
26. Wikipedia. (27. 07 2023). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Masterbatch> abgerufen
27. [www.afipro.de](http://www.afipro.de). (30. 12 2023). Von <https://afipro.de/greifer-und-handhabungstechnik/> abgerufen
28. [www.Antolin.com](http://www.antolin.com). (30. 12 2023). Von <https://www.antolin.com/en/business-overheads> abgerufen
29. [www.engelglobal.com](http://www.engelglobal.com) . (30. 12 2023). Von <https://www.engelglobal.com/de/at/produkte/spritzgiessmaschinen/grosse-spritzgiessmaschine> abgerufen
30. [www.joint-research-center.ec.europa.eu](http://www.joint-research-center.ec.europa.eu). (2016). Von [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses_en) abgerufen
31. [www.Motan.com](http://www.Motan.com). (30. 12 2023). Von <https://www.motan.com/de/produkte/trocknen/luxor-a/> abgerufen
32. [www.salzgitter-flachstahl.de](http://www.salzgitter-flachstahl.de). (08 2011). Von [https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warm\\_gewalzte\\_produkte/deu/c67s.pdf](https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warm_gewalzte_produkte/deu/c67s.pdf) abgerufen
33. [www.Schoensandt.de](http://www.Schoensandt.de). (30. 12 2023). Von <https://www.schoensandt.de/de/produktloesungen/stanzmaschinen/stanzmaschinen-customline/6005SA> abgerufen
34. [www.sk-kaeltetechnik.de](http://www.sk-kaeltetechnik.de). (30. 12 2023). Von <http://www.sk-kaeltetechnik.de/de/kaltwasser-systeme.html> abgerufen
35. [www.unger-textil.at](http://www.unger-textil.at). (2023). Von <https://unger-textil.at/produktion/kaschierungen> abgerufen
36. [www.Voith.com](http://www.Voith.com). (30. 12 2023). Von <https://voith.com/corp-de/wasserkraft-einfach-erklaert.html> abgerufen
37. [www.sensorfact.com](http://www.sensorfact.com) (30.12.2023). Von <https://www.sensorfact.de/product/strommanagement/> abgerufen
38. [www.lear.com](http://www.lear.com) (30.12.2023). Von <https://www.lear.com/renewknit>



Anlage D: Materialstückliste „eBOM“

CO <sup>2</sup> Footprint											EBG Pillars Porsche Cayenne			
BY:	Daniel Najdoski													
DATE:	21.12.2023													
Level:	eBOM													
Material-Input	Nr. Subcomponent	Part Name	Skizze	Type	Part value	part weight	Einheit	CO <sub>2</sub> Äqu.	CO <sub>2</sub> Äqu. Verpackung	CO <sub>2</sub> Äqu. Transport	Σ CO <sub>2</sub> Äqu. Je Bauteil	Material	CO <sub>2</sub> Äquivalent	
	1	A-Saule Basis Dekor		Eberpanning	1	0,359	kg						Granulat Hotsacon 330 EKC	1,7
	2	Micro Pique		Purchase	0,32	0,32	gramm	0,56457884	0,003382545	0,06175333			Micro Pique	7,34
	3	Alkustülpe		Purchase	1	0,009	kg	0,347525	0,348525	0,00076878			Alkustülpe	0,15
	5	Montageklammer		Purchase	2	0,001	Stück	0,026712					Montageklammer	0,03356
	6	T-Bohrerklammer		Purchase	1	0,001	Stück	0,013356					T-Bohrerklammer	0,013356
	7	Sperrke		Purchase	1	0,001	Stück	0,0002	0,000250384	0,00001			Sperrke	0,2
	Summe													2,246920384

Anlage E: Teileproduktion – Prozessenergien

Part Production													
Nr. Prozessschritt	Prozessschritte	Skizze	Type	el. Energie per Bauteil [kWh]	Dampf [kg]	Dampf [kWh Gas]	m <sup>3</sup> Druckluft je Bauteil	Druckluft [kWh]	Wasser per Bauteil	Wasser [kWh]	Σ el. Energie	Σ CO <sub>2</sub> Äqu. Je Bauteil	
1	Spritzgießen		Direct	0,191							0,241910		
2	Werkzeugölmeng.		Indirect	0,076					0,459	0,00019571	0,07619571		
3	Granulat Trochsen		Indirect	0,032							0,032		
4	Vakuumanlage		Indirect	0,001							0,001		
5	Shocon		Direct	0,014							0,014		
6	ABB Roboterhandl.		Direct	0,001							0,001		
7	Heißluftofen für Vorfeldung		Direct	0,0455555567				0,15	0,0219		0,0455555567		
8	Dampfentfernung		Direct	0,041253333	0,054027777	5,541574238	0,02	0,00242	3,74	0,0001200	0,045003333		
9	Laserabsaugung/Faserabsorption		Indirect	0,0244444447							0,0244444447		
10	Laserscheiden fiber cutting		Direct	0,025				0,024	0,000514		0,02729667		
11	Laserölmeng.		Indirect	0,032							0,032		
12	Grübler		Direct					0,035	0,00072		0,0327		
Summe				0,45915544		6,549574389	0,943	0,137478	4,199	0,00019558	0,464194248	1,4294	

Anlage F: Klassifizierung Energie

Klassifizierung Energie und Nebenprozesse										
Nr. Prozessschritt	CO <sub>2</sub> Äqu. Je Energieeinheit	Skizze	Type	Einheit	Nebenprozess	Leistungssatz	Einheit	Wasser	Einheit	
1	0,10		EBG indirect	kg / kWh el. Energie	Dampferstellung damp production	1,75236097	kWh / 1 kg Dampf	3,39	l/kg	
2	0,19952		EBG direct	kg / kWh Gas	Druckluftbereitstellung compressed air	0,146	kWh / m <sup>3</sup>			
3	0,00003942		EBG direct	kg / L	Wasserbereitstellung water	0,000219	kWh / L			
4	0,073321962		EBG direct	kg / kg Recycelat	Recyclingmaterial	0,407344235	kWh / kg			

Anlage G: Verpackung, Transport - und Abfallübersicht

Verpackung												
	N° packaging	Materialart	Skizze	Type	CO <sup>2</sup> Äqu. Grundmaterial	Einheit	Menge [kg]	CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil	Σ CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil			
Verpackungs-material	1	Kartonbruchm		EBG direct	0,364	Kilogramm	0,05375	0,051615				
	2	Schaumoles + PE Sack		EBG direct	3,1	Kilogramm	0,17	0,527				
									0,578815			
Logistik												
	N° transport	Ladungsträger	Skizze	Teile je Ladungsträger	Monatsbedarf	Gewicht	Entfernung	Transportmittel	CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil			
Transport-wesen	1	K1		64	5340	2941,2	77	LKW				
										0,011078125		
Abfall												
	N° waste	Material	Skizze	Type	Menge	Einheit	CO <sup>2</sup> Äqu. durch Grundmaterial	CO <sup>2</sup> Äqu. durch Verarbeitung	Verwertung	CO <sup>2</sup> Äqu. durch Verwertung	CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil	Σ CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil
Ausschuss	1	Granulat Horacom 330 EKC		Anfahrteile	10,88	kg	18,156	0,074477443	Recycling	0,783078958	0,078024067	
	2	MicroPique		Materialabfälle	0,1275	m <sup>3</sup>	0,307035		energetische Verwertung	0,1204875	1,0276225	
											1,105546587	

Anlage H: Endergebnis

Σ CO <sup>2</sup> Äqu. Je Bauteil	
Material	2,246926384
Produktion	1,429395526
Verpackung	0,578815
Ausschuss	1,105546587
Σ	5,380683497

