

**Verbundpartner**

Rolle	Partner	Ansprechpartner	Adresse	Kontakt
1 (K)	MAHLE Filtersysteme GmbH [MAHLE]	Rüdiger Knauß	Pragstraße 26-46 D-70376 Stuttgart	+49 (0) 711 501-20109 Ruediger.Knauss@mahle.com
2 (P)	Gebrüder Ficker GmbH [GF]	Martin Dietze	Am Federnwerk 5 D-09496 Marienberg	+49 (0) 3735 9166 0 Martin.Dietze@formenbau-gf.de
3 (P)	In2p GmbH [in2p]	Joachim Knirsch-Haberstroh	Waiblinger Straße 124 D-70734 Fellbach	+49 (0) 163 4978917 J.Knirsch@in2p.com
4 (P)	Gerlinger Industries GmbH [Gerlinger]	Rudolf Gerlinger	Schwarzhammermühle D-08491 Netzschkau	+49 (0) 3765 39020 Rudolf.Gerlinger@gerlinger-industries.de
5 (P)	Technische Universität Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau [TUC]	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nendel	Reichenhainer Straße 31/33 D-09126 Chemnitz	+49 (0) 371 531 32545 Wolfgang.Nendel@hrz.tu-chemnitz.de
6 (P)	Wickert Maschinenbau GmbH [Wickert]	Stefan Herzinger	Wollmesheimer Höhe 2 D-76829 Landau in der Pfalz	+49 (0) 6341 9343 31 S.Herzinger@wickert-presstech.de
7 (P)	Fraunhofer ICT [ICT]	Sebastian Zürn	Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7 D-76327 Pfinztal	+49 (0) 721 4640 621 Sebastian.Zuern@ict.fraunhofer.de




**GEBR. FICKER GmbH**  
Formen- und Werkzeugbau seit 1911

IN2P GmbH  
innovation to product



**GERLINGER**  
polyurethane



**WICKERT**  
hydraulic presses

 **Fraunhofer**  
ICT

## Inhalt

Abkürzungsverzeichnis .....	3
Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	5
1 Kurzbericht .....	6
1.1 Aufgabenstellung .....	6
1.2 Voraussetzungen unter welchen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	7
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	8
1.4 Darstellung zu wissenschaftlich und technischem Stand .....	9
2 Eingehende Darstellung .....	11
2.2. Wichte Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	31
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	31
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung der Ergebnisse .....	32
2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt geworden Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens .....	32
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen .....	32
3 Erfolgskontrollbericht .....	33
3.1 Beitrag des Ergebnisses zu den Förderpolitischen Zielen .....	34
3.2 Das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens .....	34
3.2.1 Definition Ziel- und Untersuchungsrahmen .....	34
3.2.2 Sachbilanz .....	35
3.2.3 Auswertung .....	38
3.2.4 Wirkungsabschätzung .....	41
3.3 Die Fortschreibung des Verwertungsplans .....	41
3.4 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben .....	41
3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer .....	41
3.6 Einhaltung des Kosten- und Zeitplans .....	42

## Abkürzungsverzeichnis

AP – Arbeitspaket

EG – Entgeltgruppe

GF – Glasfaser

GMT – Glasmattenverstärkter Thermoplast

GWP – Global Warming Potential

LCA – Life Cycle Assessment

LCGA – Life Cycle Gap Assessment

LCI – Lifecycle Inventory

MW – Mittelwert

PM – Personenmonate

PP – Polypropylen

STABW – Standardabweichung

UAP – Unterarbeitspaket

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodischer Rahmen einer LCA und Gliederung der UAP im AP9 .....	6
Abbildung 2; Zeitplan des GroKuBat Projektes .....	8
Abbildung 3: Batteriegehäuse in der Aluminiumbauweise (Quelle: Mahle).....	9
Abbildung 4: Komplexe Viskosität über Frequenz bei unterschiedlichen Temperaturen .....	13
Abbildung 5:pVT-Kurven mit Tait-Fitting.....	13
Abbildung 6: Wärmekapazität über Temperatur .....	15
Abbildung 7: Isotherme Kristallisation .....	16
Abbildung 8: Temperatursweep 90°-Probe.....	16
Abbildung 9: pVT-Kurven 200 – 1000 bar .....	17
Abbildung 10: Messkurve des Biegeverhaltens Moment [mN*m] über Auslenkung [°] bei 0,1rpm und 190°C .....	17
Abbildung 11: Messkurve des Membranverhaltens Moment [mN*m] über Auslenkung [°] bei 0,1rpm und 190°C .....	18
Abbildung 12: Wärmekapazität über Temperatur Probe PP-GF-Tape.....	19
Abbildung 13: 6 Kristallisation unter konstanter Abkühlrate von 10 K/min .....	20
Abbildung 14: 7 Kraft/Weg Diagramm Reibung tool/ply bei 190°C und mittlerer Abzugsgeschwindigkeit .....	20
Abbildung 15: Kraft/Weg Diagramm Reibung ply/ply bei 190°C und mittlerer Abzugsgeschwindigkeit .....	21
Abbildung 16: Anfänglicher Untersuchungsrahmen, Produktsystem und Systemgrenze der ökobilanziellen Untersuchung.....	23
Abbildung 17; Auswertung der CAD-Daten des Unterfahrschutzes der Aluminiumbauweise .....	24
Abbildung 18; Messung des Strombedarfs vom Handlingsgreifer an der TU-Chemnitz.....	25
Abbildung 19; Ergebnisse des LCA.....	28
Abbildung 20; Ergebnisse der LCGA .....	31
Abbildung 21; Online Veröffentlichung zum Projekt auf der Webseite des Fraunhofer ICT .....	32
Abbildung 22; : Finalisierter Untersuchungsrahmen, Produktsystem und Systemgrenze der ökobilanziellen Untersuchung.....	35
Abbildung 23; Modellierung der Aluminiumbauweise in Sphea LCA for Experts .....	39
Abbildung 24; Modellierung der Neuentwicklung in Sphea LCA for Experts.....	40

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mitteleinsatz des Fraunhofer ICT .....	7
Tabelle 2: Schlüsselveranstaltungen über die Projektlaufzeit .....	9
Tabelle 3; Übersicht der Versuche für die GMT-Materialkartenerstellung .....	11
Tabelle 4: Übersicht der Versuche für die Tape-Materialkartenerstellung .....	12
Tabelle 5: Übersicht der Fasergehaltsverteilung über das Tapematerial .....	12
Tabelle 6: Wärmeleitfähigkeit in der Schmelze.....	14
Tabelle 7: Wärmeleitfähigkeit Festkörper.....	15
Tabelle 8, LCI Daten der Aluminiumbauweise .....	36
Tabelle 9; LCI Daten der Neuentwicklung .....	37
Tabelle 10; Strombedarf zur Fertigung des GroKuBat Moduls .....	38
Tabelle 11; Betrachtete Impact Categories.....	41

# 1 Kurzbericht

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Ziele im Verbundvorhaben „GroKuBat“ waren einerseits die Entwicklung eines Kunststoff-Batteriegehäuses für die Montage am Fahrzeug-Unterboden und andererseits die Darstellung eines für eine Großserie geeigneten Herstellungsprozesses auf Basis des entwickelten Produktdesigns. Das Fraunhofer ICT übernahm hierbei das AP9, der Lebenszyklusanalyse (englisch Life Cycle Assessment, kurz LCA) . Das Arbeitspaket umfasst vier Unterarbeitspakete (9.1-9.4) welche dem Methodischen Ablauf einer LCA nach [ISO 14040:2006; ISO 14044:2006] folgen und in Abbildung 1 dargestellt sind.

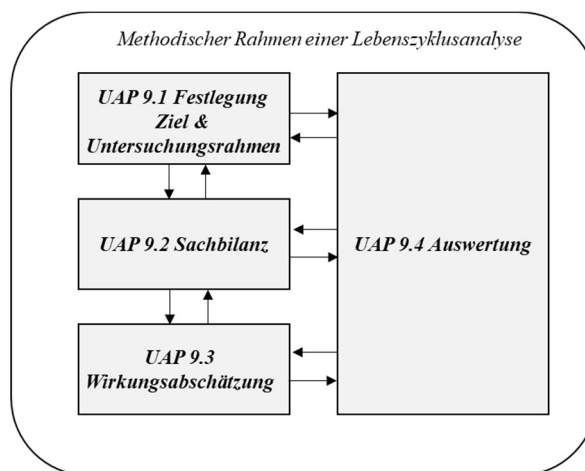


Abbildung 1: Methodischer Rahmen einer LCA und Gliederung der UAP im AP9

Der Zeitplan des AP9 verlief über die volle Dauer des Projektes. Jeweils zum Ende eines UAP wurde ein Meilenstein definiert, welcher auch weitestgehend eingehalten werden konnte. Die Tätigkeiten des UAP 9.1 umfassten die Festlegung des Ziel- und Untersuchungsrahmens, welcher beschreibt was das Ziel der Die Tätigkeiten des UAP 9.1 umfassen die Festlegung des Ziel- und Untersuchungsrahmens, welcher beschreibt, was ist das Zweck der ökobilanziellen Studie, welchen Nutzen soll diese haben und für was soll diese genutzt werden. Der Untersuchungsrahmen beschreibt, welche Teile des Systems untersucht werden, welche Input- und Outputströme betrachtet werden und legt auch die funktionelle Einheit fest. Arbeitspaket 9.2 wurde planmäßig im 3. Quartal des ersten Jahres begonnen und dient der Erfassung der mengenmäßigen In- und Outputströme. Die Daten wurden durch Fragebögen und die übersendeten Excel-Tabellen, aus den CAD-Modellen von den Projektpartnern, erfasst. Die Daten wurden gesammelt, aggregiert und strukturiert und dienen als Sachbilanz (im englischen Lifecycle Inventory (LCI))-Daten für die spätere Wirkungsabschätzung und Auswertung. Dies wurde als iteratives Verfahren durchgeführt, da es fortlaufend Änderungen gab. In der Sachbilanzphase wurden außerdem die Annahmen zur Nutzungsphase festgelegt sowie das angestrebte Produktlebensende definiert, um den Vergleich beider Bauvarianten unter selben Voraussetzungen zu ermöglichen. Im Arbeitspaket 3.9.3 der Wirkungsabschätzung wurden die Wirkungskategorien festgelegt, die im Rahmen der Lebenszyklusanalyse betrachtet werden. Das Projekt konzentriert sich auf den Klimawandel, welcher den Umwelteinfluss auf die globale Erderwärmung beschreibt. Dieser Einfluss wird oft durch das Maß des Erderwärmungspotential, im Englischen Global Warming Potential (GWP), bewertet. Abschließend erfolgt die Modellierung der beiden Bauvarianten mit dem Programm Sphera LCA For Experts, das den gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf Basis der eingegebenen Stoff- und Materialströme

sowie des Nutzungsszenarios und des festgelegten Produktlebensendes berechnet. Die entsprechenden Modellierungen sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt.

Neben dem AP9 wurde auch in Unterarbeitspaket 4.3 „Erstellung von Materialkarten für die im Prozess betrachteten Materialien“ – Unterarbeitspaketverantwortlicher: MAHLE zugearbeitet. Hierbei wurden zwei unterschiedliche Materialklassen betrachtet: ein Glasmattenverstärktes Thermoplast (GMT)-Material und ein Tapematerial. Entsprechend der Faserarchitektur ergeben sich unterschiedliche Mechanismen im Herstellungsprozess:

- Endlofaser: Umformung
- Langfaser: (Umformung +) Fließen

Es wurde ein Versuchsplan, wie Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt, erstellt und durchgeführt. Die Ergebnisse wurden an Fa. Simutence zur weitergehenden Auswertung und Materialkartenerstellung übergeben. In der Eingehenden Darstellung, Abbildung 4 Abbildung 15, sind exemplarisch einige Versuchsergebnisse dargestellt.

## 1.2 Voraussetzungen unter welchen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das GroKuBat-Projekt lief über 36 Monate 01.01.2022 bis 31.12.2024 inklusive einer kostenneutralen Verlängerung um 3 Monate. Folgende Projektpartner waren beteiligt:

**MAHLE Filtersysteme GmbH [MAHLE]**, Pragstraße 26-46, D-70376 Stuttgart

**Gebrüder Ficker GmbH [GF]**, Am Federnwerk 5, D-09496 Marienberg

**In2p GmbH [in2p]**, Waiblinger Straße 124, D-70734 Fellbach

**Gerlinger Industries GmbH [Gerlinger]**, Schwarzhammermühle, D-08491 Netzschkau

**Technische Universität Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau [TUC]**, Reichenhainer Straße 31/33, D-09126 Chemnitz

**Wickert Maschinenbau GmbH [Wickert]**, Wollmesheimer Höhe 2, D-76829 Landau in der Pfalz

**Fraunhofer ICT [ICT]**, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7 D-76327 Pfinztal

Die Gesamtmittel des ICT belaufen sich auf 204.176,47€ wovon, gemäß Schlussverwendungsnachweis, 202.146,42 € an Personalkosten und 2030,05€ für Reisekosten verausgabt wurden.

0837	202.146,42
0838	2.030,05
0847	0,00
0848	0,00
0850	0,00
0856	0,00
0860	0,00
<b>Summe:</b>	<b>204.176,47</b>

Tabelle 1: Mitteleinsatz des Fraunhofer ICT

Seitens Fraunhofer ICT wurde der Projektantrag und die Projektarbeit von Herrn Michael Dieterle bis 30.09.2024. Die Verlängerung der Projektlaufzeit ist durch Änderungen des Gesamtgehäuse-Layouts

begründet und hat das AP9, welches direkt abhängig von der Prozessevaluierung und Ermittlung von Energieaufnahmen und Zykluszeiten ist, daher ebenso betroffen.

Zum 01.09.2024 übernahm Herr Torsten Müller die Arbeiten. Herr Keskin wurde darüber in Kenntnis gesetzt und informierte den Projektträger. Die interne Übergabe erfolgte nahtlos und ohne negativen Einfluss auf das Projekt und die geleisteten Arbeiten.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Zuwendungsbescheid durch den Projektträger erfolgte zum 16.12.2021. Der Vorschlag für das Förderprojekt wurde von Mahle am 16.10.2020 vorgestellt. Die Zusammenstellung des Projektteams erfolgte zu Beginn mit einem weiteren Projektpartner, welcher die Rohmaterialbereitstellung verantwortete, doch kurzfriste absagte. Die Firma Gerlinger Spang ein, womit die Projektidee weiterverfolgt werden konnte. Das Projektvorhaben startete planmäßig und die Durchführung erfolgte, mit Ausnahme der Projektverlängerung, gemäß dem Zeitplan.

		1. Jahr		2. Jahr		3. Jahr						
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
UA = Unterauftrag; ZB = Zwischenbericht; SB = Schlussbericht; PA = Projektabschluss; MS = Meilenstein												
<b>Lead</b>	<b>Arbeitspakete</b>	<b>Support</b>										
MAHLE	0 Projektmanagement											
	0.1 Koordination der Projektarbeit inkl. Abfassung der Zwischenberichte für Projekt- und Zuwendungsgeber	alle										
	0.2 Erstellung des Schlussberichts für Projekt- und Zuwendungsgeber	alle										
MAHLE	<b>1 Entwicklung eines großserienfähigen Kunststoff-Batteriegehäuse-Designs</b>											
	1.1 Pflichtenhefterstellung	in2p										
	1.2 Definition und Ausarbeitung des Gesamtbatterielayouts	in2p										
	1.3 3D-CAD-Konstruktion des Batteriegehäuses in CATIA V5	MS1										
	1.4 FEM-Simulation des CAD-Designs	in2p										
	1.5 Erstellung von 2D-Zeichnungen des Batteriegehäuses	TUC										
	1.6 Aufbau seriennaher Batterie-Prototypen	TUC										
	1.7 Crash einer Bodengruppe inkl. Batteriegehäuse entsprechend einem erarbeiteten Ersatzlastfall	in2p										
	1.8 Gesamtheiliche Bewertung des Projekts in Bezug auf die Projekt- und Entwicklungsziele	alle										
in2p	<b>2 Entwicklung eines Karosserie-Rohbaudesigns zur Integration des Kunststoff-Batteriegehäuses</b>											
	2.1 Bauraumdefinition für Batteriegehäuse	MAHLE										
	2.2 Design einer abgestimmten Rohbaustuktur/Bodengruppe + Materialdefinition	MAHLE										
	2.3 Definition der Befestigung des Batteriegehäuses an die Rohbaustuktur	MAHLE										
	2.4 Simulation des Batteriegehäuses im Rohbau (z.B. Seitencrash, Frontrush, Small Overlap, etc.)	MAHLE										
Gerlinger	2.5 Aufbau der Rohbaustuktur/Bodengruppe und Versuchsdurchführung	UA* Diverse Dienstleister										
	<b>3 Weiterentwicklung thermoplastischer Verbundwerkstoffe</b>											
	3.1 Erstellung Materialanforderungskatalog (Faserart / Faserbindung / Faser-Matrix-Verhältnis)	MAHLE										
	3.2 Musterherstellung	MAHLE										
Gerlinger	3.3 Musterherstellung Technikum (Erforschung Verarbeitungsparameter)	MAHLE										
	3.4 Ermittlung mechanischer Kennwerte (statisch, dynamisch) und Versuchbegleitung durch Gerlinger	UA* thermoPre										
	3.5 Support bei der Herstellung von Prototypen	UA* thermoPre										
MAHLE	<b>4 Prozesssimulation der Serienfertigung des Kunststoff-Batteriegehäuses</b>											
	4.1 Erstellung Anforderungskatalog für die Prozesssimulation	UA* Simulation										
	4.2 Weiterentwicklung Prozesssimulation für GMT-Prozesse	UA* Simulation										
	4.3 Erstellung von Materialkarten für die im Prozess betrachteten Materialien	UA* Simulation, Gerlinger, ICT										
	4.4 Simulative Bewertung des Herstellungsprozesses	UA* Simulation										
	4.5 Datenaggregation und Erstellung eines digitalen Zwillings	UA* Simulation										
Wickert	4.6 Schnittstellenentwicklung und Datentransfer für die Struktursimulation	UA* Simulation, thermoPre										
	<b>5 Automatisierungskonzept</b>											
	5.1 Erarbeitung des Automatisierungskonzeptes	MAHLE, TUC										
	5.2 Anpassung der Presse an die Erfordernisse zur Herstellung des Batteriegehäuses (Erhöhung der Presskraft)	UA* Parker Hannifin										
	5.3 Konzipierung und Bau eines Greifersystems zum Transfer der Kaltplatinen	UA* Steinbeis										
TUC	5.4 Entwicklung und Konstruktion eines Transfersystems vom Ofen zur Presse für die Wärmplatinen/Platinenstapel	UA* Steinbeis										
	5.5 Erarbeitung und Umsetzung einer Strategie zur Aufrechterhaltung der Vorwärmtemperatur der Wärmplatinen	TUC										
	5.6 Aufbau und Einbindung des Transfer- und Greifersystems in die vorhandene Pressenanlage	UA* Steinbeis, TUC										
	5.7 Abstimmung der Gesamtanlage und Begleitung der Fertigung	TUC										
	<b>6 Prozessketten- und fertigungsgerechte Bauteilentwicklung zur Herstellung des Kunststoff Batteriegehäuses</b>											
	6.1 Erstellung des Pflichtenheftes	GF, Wickert, MAHLE										
	6.2 Ermittlung der Materialkennwerte und Aufbau einer Materialdatenbank als Basis für die Berechnung	UA* thermoPre, Gerlinger										
GF	6.3 Entwicklung eines material- und fertigungsgerechten Batteriegehäuses	MAHLE, Gerlinger										
	6.4 Bauteilauslegung und Berechnung (Strukturberechnung, Crashberechnung)	UA* thermoPre										
	6.5 Prozessentwicklung	GF, Wickert										
	6.6 Auslegung des Presswerkzeuges	GF, Wickert										
	<b>7 Planung und Realisierung des Werkzeuges</b>											
	7.1 Analyse der Anforderungen von geteilten Werkzeugkonzepten an den Werkzeugbau	TUC										
TUC	7.2 Konzeption des Presswerkzeuges für großflächige Bauteile	TUC, Wickert, MAHLE										
	7.3 Werkzeugtemperierung und Heizzonenanordnung	TUC, Wickert										
	7.4 Werkzeugnenmatik für Gesenk- und Schieberverfahrbewegungen incl. Konstruktions-FMEA	UA* Diverse Dienstleister										
	7.5 Konstruktion des Werkzeuges	UA* Diverse Dienstleister										
	7.6 Fertigung und Montage des Werkzeuges	UA* Diverse Dienstleister										
	7.7 Anpassungsarbeiten, Korrekurschleifen und Änderungen als Ergebnis der Prozessversuche	TUC, Wickert										
	7.8 Abstimmung, gesamtheitliche Begleitung in Bezug auf die werkzeugtechnischen Projekt- und Entwicklungsziele	alle										
	TUC	<b>8 Prozessevaluierung und -optimierung, Bauteilherstellung</b>										
8.1 Einfahren der erweiterten Pressenanlage		Wickert										
8.2 Werkzeugbemusterung		GF										
8.3 Bauteilabmusterung und Herstellung von Prototypenteilen		MAHLE, Gerlinger										
8.4 Prozessevaluierung		MAHLE, Gerlinger, Wickert, GF										
Fraunhofer ICT	8.5 Fertigung unter Serienbedingungen (Zykluszeitermittlung, etc.)	MAHLE, GF, Wickert										
	<b>9 LCA</b>											
	9.1 Definition Ziel- und Untersuchungsrahmen	MAHLE										
	9.2 Sachbilanz	MAHLE, Gerlinger, TUC, Wickert										
Fraunhofer ICT	9.3 Wirkungsabschätzung	MAHLE										
	9.4 Auswertung	MAHLE										

Abbildung 2; Zeitplan des GroKuBat Projektes

Zum regelmäßigen Austausch, zur Vorstellung der Projektergebnisse und Planung der weiteren Aktivitäten wurde ein wöchentliches Teams-Meeting abgehalten. Neben den virtuellen Treffen, wurden auch die nachstehend aufgeführten Schlüsselveranstaltungen physisch abgehalten:

Datum	Ort	Beschreibung
29.03.2023	Online	Konsortialtreffen
21.01.2024	Online	Kick-Off Meeting
11.11.2024	TU-Chemnitz	Messung der Energiedaten für AP9
03.12.2024	TU-Chemnitz	Abschlusstreffen aller Partner
01.04.2025	TU-Chemnitz	Besichtigung mit Testlauf des gesamten Prozesses

Tabelle 2: Schlüsselveranstaltungen über die Projektlaufzeit

## 1.4 Darstellung zu wissenschaftlich und technischem Stand

Für den wissenschaftlich und technischem Stand zu den Arbeiten im UAP 4.3 wird auf den gemeinsamen Abschlussbericht des Konsortiums sowie den Individuellen Bericht von MAHLE verwiesen.

Das Arbeitspaket 9 des Projektes knüpft an den etablierten wissenschaftlichen und technischen Stand der Lebenszyklusanalyse (LCA) an, der in den Normen ISO 14040 und ISO 14044 definiert ist. Diese Normen stellen den methodischen Rahmen zur Durchführung einer LCA, der in zahlreichen Forschungsarbeiten bereits eingesetzt wurde und erläutert wurde [1, 2, 3]. Die LCA-Methode ist eine ganzheitliche Betrachtung der ökologischen Auswirkungen eines Produkts, im vorliegenden Fall, über den gesamten Lebenszyklus hinweg – von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Nutzung bis hin zum End-of-Life-Management. In diesem Projekt wird die LCA-Methodik genutzt, um den Umwelteinfluss des neu entwickelten Kunststoff-Batteriegehäuses zu quantifizieren und mit der „Stand-der-Technik“ Aluminiumbauweise zu vergleichen. Neben der LCA wird auch das Life-Cycle-Gap-Assessment [4] angewandt. Das von Michael Dieterle entwickelte Life Cycle Gap Assessment (LCGA) ist eine Methode zur Bewertung von Produktlebenszyklen im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Es zielt darauf ab, die Lücke (im englischen Gap) zwischen dem aktuellen linearen Lebenszyklus vieler Produkte und einem idealen, vollständig zirkulären System zu identifizieren und zu quantifizieren. Das LCGA bietet Unternehmen und Entwicklern ein strukturiertes Verfahren, um die Umweltwirkungen ihrer Produkte zu bewerten und gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Zirkularität zu identifizieren. Es ergänzt traditionelle Lebenszyklusanalysen, indem es den Fokus auf die Schließung von Material- und Energieflüssen legt und somit einen Beitrag zur nachhaltigen Produktentwicklung leistet. Die Methodik ist in [4] eingehend erläutert.

Die Aluminiumbauweise für Fahrzeugbatteriegehäuse, wie in Abbildung 3 dargestellt, sowohl aus Guss als auch aus Extrusionsprofilen hat sich in den letzten Jahren als eine der bevorzugten Lösungen in der Automobilindustrie etabliert, insbesondere aufgrund ihrer hohen Festigkeit und Stabilität bei gleichzeitig gutem Gewicht-zu-Festigkeit-Verhältnis im Vergleich zu Konstruktionen aus Stahl [5]. Aluminium bietet zudem eine gute thermische Leitfähigkeit mit ca.  $200-240 \frac{W}{m \cdot K}$  [6], was in Anwendungen wie Batteriegehäusen von Vorteil ist. Nachteilig ist die vergleichsweise hohe Dichte mit  $2,7 \frac{g}{ccm}$ , verglichen zu



Abbildung 3: Batteriegehäuse in der Aluminiumbauweise (Quelle: Mahle)

Polymeren und Verbundwerkstoffen. Aluminium zeichnet sich durch eine hervorragende Kreislauffähigkeit aus, weshalb 75% der Gesamtproduktion auch heute noch im Einsatz ist [6]. Zeitgleich steigt der weltweite Bedarf jedoch mit 4,7% p.a. gemessen im Zeitraum 2012-2020 [7]. Die Gewinnung von Bauxit, das Erz aus welchem Aluminium hergestellt wird verantwortet jedoch Ur- und Regenwaldabholzung und der Anfallende Rotschlamm enthält giftige Stoffe wie Blei und weitere Schwermetalle [8]. Auch die Verarbeitung des Bauxits, mittels Elektrolyse zur Umwandlung von Aluminiumhydroxid in Aluminium, steht aufgrund des hohen Energiebedarfs in der Kritik [9]. Aus Sicht des AP9 knüpft die Neuentwicklung an bestehende LCA zu den Rohmaterialien an wie Polypropylen, Glasfasern, Stahl, Aluminium sowie der Verarbeitung zu Halbzeugen hin zu Großbauteilen aus GMT, an. Hinsichtlich der Materialien stellen die verfügbaren Datensätze, wie in Kapitel 3.2.2 Sachbilanz in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt, den Stand der Technik dar. Diese Datensätze stehen durch die kostenpflichtige Nutzung der *LCA For Expert* Software und die LCI-Datenbanken von Sphera und Ecoinvent zur Verfügung. Neu sind die im Projekt gewonnenen Verarbeitungsdaten und Energiedaten zur Erstellung einer Datenbank und/oder der Verwendung in weiteren LCA's. Auf Produktebene stellt die Bauvariante aus GMT (PP GF) mit unidirektionalem Tape, zur lokalen Verstärkung, eine Neuentwicklung dar. Die ökologische Bewertung der Neuentwicklung knüpft an keine bekannten Konstruktionen oder Schutzrechte Dritter an.

- [1] UNI Bremen. Kurzanleitung zum LCA (Life Cycle Assessment) [Internet]. [zitiert 2025 Mai 21].
- [2] Klöpffer W, Grahl B. Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. John Wiley & Sons; 2009.
- [3] Hauschild MZ. Introduction to LCA Methodology. In: Springer eBooks [Internet]. 2017. S. 59–66. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_6)
- [4] Dieterle M. Die Life Cycle Gap Analyse - Herleitung, Definition und exemplarische Anwendung. 2023. 978-3-8396-1919-3
- [5] Battery Design. Exploring different battery tray designs [Internet]. Battery Design. 2024 [zitiert 2025 Mai 21]. <https://www.batterydesign.net/exploring-different-battery-tray-designs/> (zugegriffen 2025 Mai 21)
- [6] Bagundas. EURIC AISBL – Recycling: Bridging Circular Economy & Climate Policy [Internet]. Metal Recycling Factsheet. [zitiert 2025 Mai 21].
- [7] Statista. Global aluminum demand growth 1990-2020 [Internet]. Statista. 2024 [zitiert 2025 Mai 21]. <https://www.statista.com/statistics/1489229/aluminum-demand-growth-worldwide/> (zugegriffen 2025 Mai 21)
- [8] Aluminium [Internet]. Klimasofa. [zitiert 2025 Mai 21]. <https://www.klimasofa.org/infothek/zero-waste/wissen/aluminium/> (zugegriffen 2025 Mai 21)
- [9] Jürgen Vasters, Franken G, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Aluminium – Informationen zur Nachhaltigkeit [Internet]. 2020 Juli. <https://doi.org/10.25928/5p9f-2x31>

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Durchführung der Arbeiten im AP 4.3 und 9 waren keine externen zusammenarbeiten, mit Partner außerhalb des Konsortiums, notwendig.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Für die Projektlaufzeit wurden Seitens des FRA 10 PM (Wiss.EG 13) an Zuwendung beantrag. Dieses Teilen sich in die UAP 9.1 mit 2 PM, 9.2 mit 3 PM, 9.3 mit 2 PM sowie 9.4 mit 3 PM auf. Die Zuwendungen wurden im Bearbeitungszeitraum der UAP wie im Projektantrag geschildert eingesetzt. Im Einzelnen für Personalkosten, Reisekosten zum Projekttreffen, sowie Reisekosten zur Durchführung von Messungen an der Pilotanlage in Chemnitz vollständig verwendet. Summiert ergeben sich 202.146,42 € an Personalkosten und 2030,05 € an Reisekosten, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Im UAP 4.3 wurde eine ein Materialkarte, für die im Prozess betrachteten Materialien, durch Projektpartner Mahle erstellt. Das Fraunhofer ICT führte dabei die Versuche durch. Nachfolgend, in Tabelle 3 ist die Übersicht der Versuche für das GMT-Material, in Tabelle 4 die Übersicht der Versuche für die Tape-Materialkartenherstellung.

Eigenschaft	Aufbau	Probenmaße	Prüfgerät
Viskosität (Coupon)	<b>Platte-Platte Rheometer</b>	Rund d=25 mm, Dicke ca. 1 mm	Anton Paar Physica MCR 50101
Kompressibilität/Dichte/Schwindungskoeffizient	<b>pvT</b>	Pulver	Göttfert Reograph 20
Wärmeleitfähigkeit Schmelze	<b>HKV</b>	Pulver	Göttfert Reograph 20 mit Wärmeleitfähigkeits-sensor
Wärmeleitfähigkeit Festkörper	<b>Transient-Hot-Bridge</b>	20x40xca. 4 mm <sup>3</sup>	Linseis THB
Wärmekapazität	<b>DSC</b>	Pulver	DSC 1 Mettler Toledo
Kristallisationskinetik	<b>DSC</b>	Pulver	DSC 1 Mettler Toledo
Speicher- & Verlustmodul	<b>DMA</b>	100x10xca.4 mm <sup>3</sup> Einspannlänge 50 mm	Netzsch Gabo Eplexor 500 N

Tabelle 3; Übersicht der Versuche für die GMT-Materialkartenerstellung

Eigenschaft	Aufbau	Proben	Prüfgerät
Fasergehalt	<b>TGA</b>	Tape ca. 3g	TGA-801 LECO
Kompressibilität/Dichte/Schwindungskoeffizient	<b>pvT</b>	Tape Granulat	Göttfert Reograph 20
Biegeverhalten	<b>Rheometer spez.Aufbau</b>	Probe 35 x 25 mm <sup>2</sup> x Tapedicke	Anton Paar MCR1 Rheometer
Membranverhalten	<b>Rheometer + Torsion bar Aufbau</b>	Probe 60 x 13 x 10 mm <sup>3</sup>	Anton Paar MCR1 Rheometer

Wärmekapazität	DSC	Tape ca. 12mg	DSC 1 Netzsch DSC 300
Kristallisationskinetik	DSC	Tape ca. 12mg	DSC 1 Netzsch DSC 300
Reibung tool / ply	Zugprüfmaschine + spez. Aufbau	1x Probe 390 x 50 mm <sup>2</sup> x Tapedicke	Universalprüfmaschine Hegewald & Peschke Inspekttable 50kN
Reibung ply / ply	Zugprüfmaschine + spez. Aufbau	3x Probe 390 x 50 mm <sup>2</sup> x Tapedicke	Universalprüfmaschine Hegewald & Peschke Inspekttable 50kN

Tabelle 4: Übersicht der Versuche für die Tape-Materialkartenerstellung

Die Fasergehaltsverteilung des Tapematerials, wie in Tabelle 5 dargestellt, wurde mittels Makro-TGA Messungen überprüft und die Schwankung über die Tape-Breite analysiert.

Name	Ausgangsgewicht	Ende Gewicht	Fasergehalt
PP-Tape Außen 1-1	1,15 g	0,811 g	70,4 %
PP-Tape Außen 1-2	1,28 g	0,931 g	72,6 %
PP-Tape Außen 1-3	1,30 g	0,920 g	70,8 %
PP-Tape Mitte	1,32 g	0,944 g	71,8 %
PP-Tape Außen 2-3	1,30 g	0,936 g	72,1 %
PP-Tape Außen 2-2	1,27 g	0,919 g	72,2 %
PP-Tape Außen 2-1	1,35 g	0,919 g	67,9 %

Tabelle 5: Übersicht der Fasergehaltsverteilung über das Tapematerial

Ergebnisse der Versuche wurden an Fa. Simutence zur Auswertung und Materialkartenerstellung übergeben. Nachstehend sind exemplarisch einige Versuchsergebnisse des GMT sowie des Tapematerials in Abbildung 4-Abbildung 15 dargestellt.

#### Platte-Platte Rheometrie

Die Messung der Viskosität erfolgte in Oszillation als Frequenzweeep bei 3 unterschiedlichen Temperaturen innerhalb des Verarbeitungsprozessfensters.

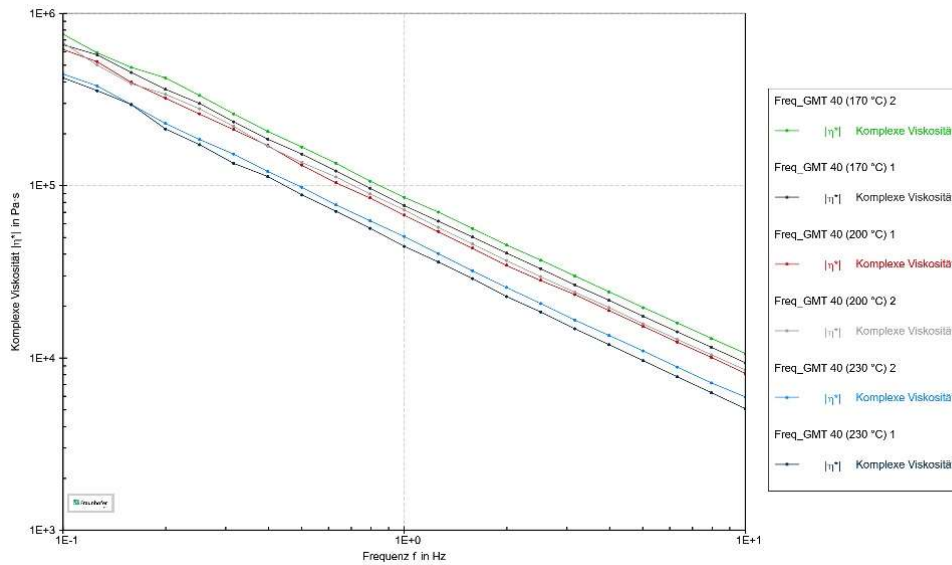


Abbildung 4: Komplexe Viskosität über Frequenz bei unterschiedlichen Temperaturen

### pVT-Messung

Das pVT-Verhalten des GMT-Materials (Zusammenhang von Druck, spez.Volumen und Temperatur) wurde mittels isobarer Messung im HKV (Hochdruck-Kapillar-Viskosimeter) untersucht. Das GMT-Material wurde für die Messung zu Pulver vermahlen.

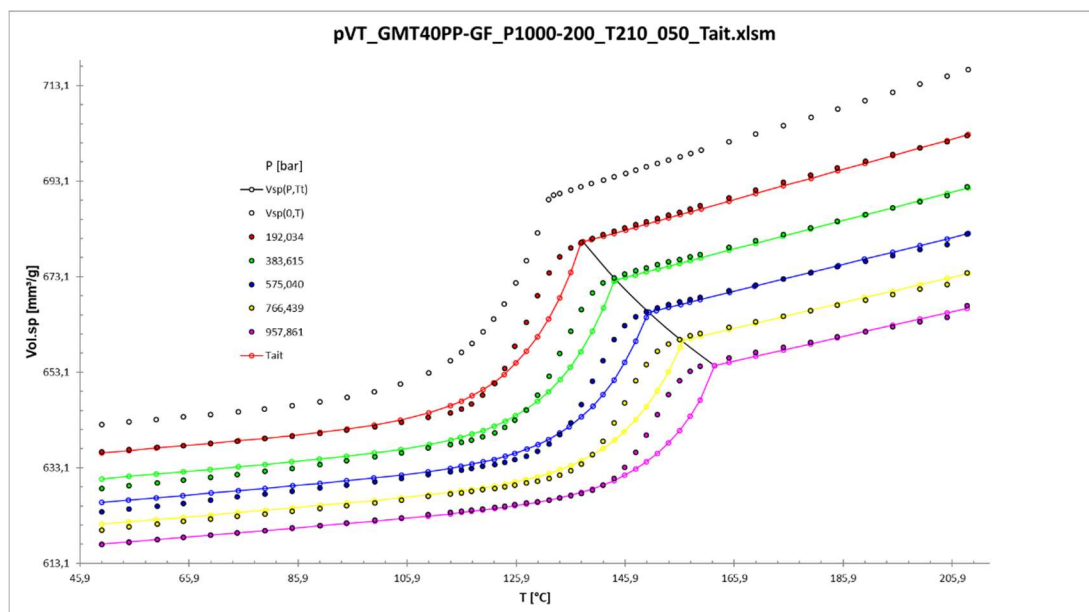


Abbildung 5: pVT-Kurven mit Tait-Fitting

### Wärmeleitfähigkeit der Schmelze

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte bei 200 bar Druck und 3 unterschiedlichen Temperaturen oberhalb der Kristallisation im HKV-Gerät. Das GMT-Material wurde für diese Messung ebenfalls zu Pulver vermahlen.

			Messwert
Ausgangstemperatur (°C)	Druck (bar)	Wiederholung	Wärmewiderstand $\lambda$ (W/mK)
170	200	1	0,262
170	200	2	0,256
170	200	3	0,259
		Mittelwert	<b>0,259</b>
		Standardabw.	<b>0,002</b>
190	200	1	0,260
190	200	2	0,256
190	200	3	0,261
		Mittelwert	<b>0,259</b>
		Standardabw.	<b>0,002</b>
210	200	1	0,261
210	200	2	0,256
210	200	3	0,258
		Mittelwert	<b>0,258</b>
		Standardabw.	<b>0,002</b>

Tabelle 6: Wärmeleitfähigkeit in der Schmelze

### Wärmeleitfähigkeit Festkörper

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit am Festkörper wurde mittels eines Transient-Hot-Bridge Sensors ermittelt. Dazu wird der Sensor zwischen 2 Platten des Materials platziert. Die Messungen erfolgten bei RT, 50°C und 80°C.

	Temp. T	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$
Probe	(°C)	(W/m*K)
GMT 40_RT	19,3	0,225
	19,4	0,242
	19,3	0,234
	19,4	0,234
<b>MW:</b>	19,4	<b>0,234</b>
<b>STABW:</b>	0,058	<b>0,005</b>
GMT 40_50°C	49,2	0,234
	49,4	0,227

	48,9	0,227
	51,0	0,197
<b>MW:</b>	49,6	<b>0,221</b>
<b>STABW:</b>	0,939	<b>0,017</b>
GMT 40_80°C	80,0	0,208
	80,0	0,208
	80,2	0,225
	80,4	0,232
<b>MW:</b>	80,2	<b>0,218</b>
<b>STABW:</b>	0,191	<b>0,012</b>

Tabelle 7: Wärmeleitfähigkeit Festkörper

## Wärmekapazität

Die Wärmekapazität wurde mittels temperaturmodulierter DSC bestimmt.

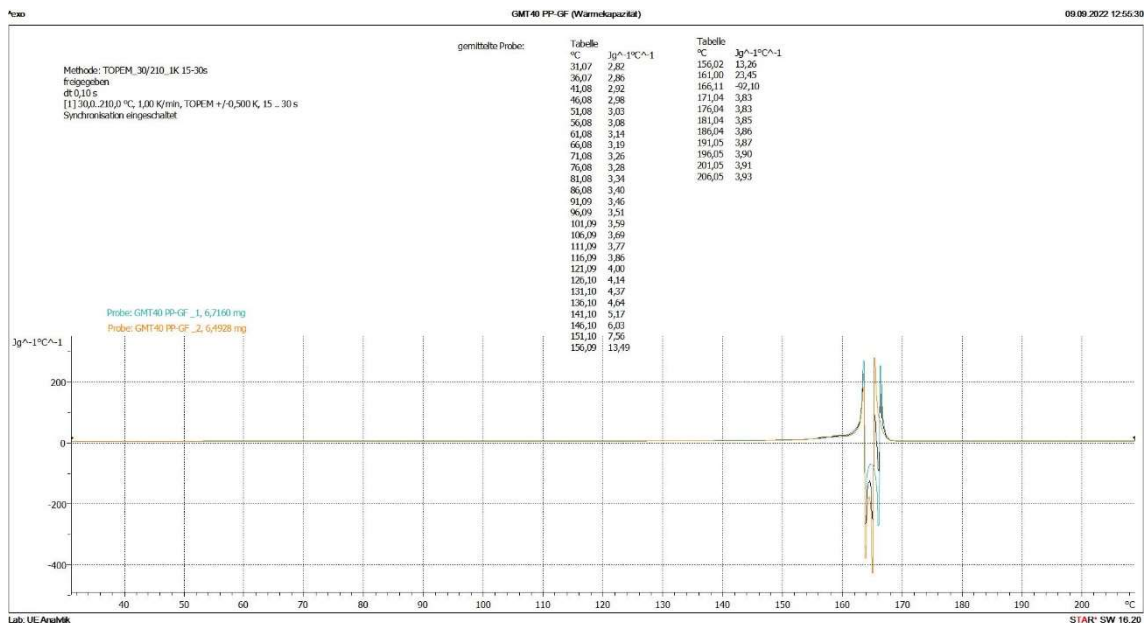


Abbildung 6: Wärmekapazität über Temperatur

## DSC-Messungen zur Kristallisationskinetik

Zur Identifikation der temperatur-transienten Kristallisationskinetik wurden Messungen mit unterschiedlichen Abkühlraten (5 – 50 °C/min) durchgeführt. Zur Charakterisierung der isothermen Kristallisation erfolgten isotherme Messungen bei 4 unterschiedlichen Temperaturen.

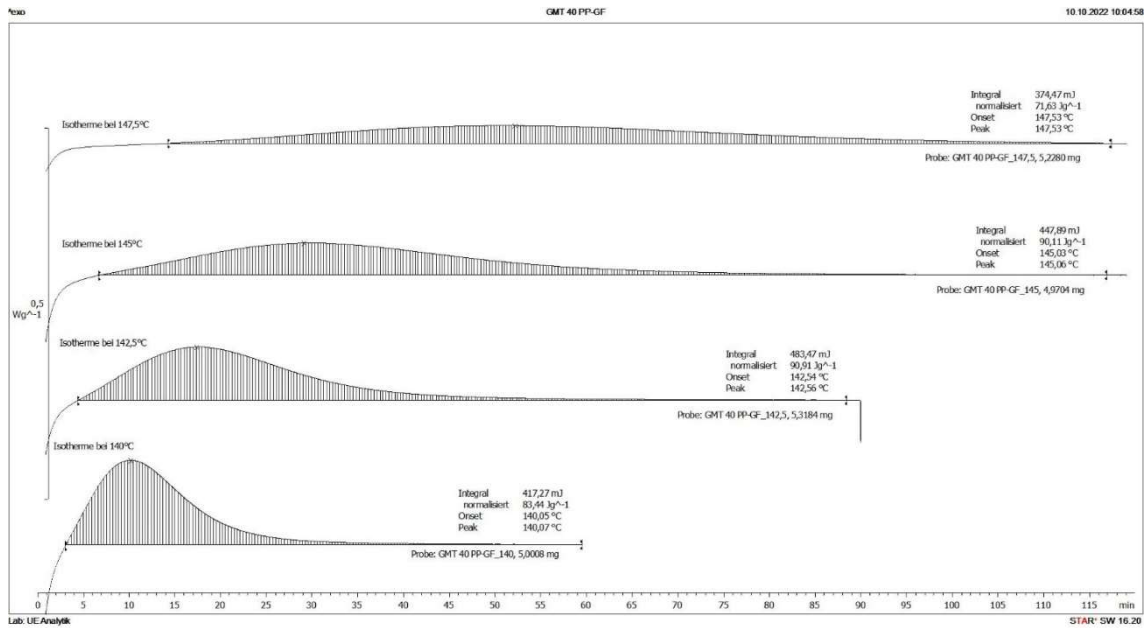


Abbildung 7: Isotherme Kristallisation

**DMA (dynamisch-mechanische Analyse)**

Die DMA-Untersuchungen dienen zur Charakterisierung des zeit- und temperaturabhängigen Materialverhaltens. Die Messungen erfolgten richtungsabhängig bei 1 Hz im Zugmodus über einen breiten Temperaturbereich (-80°C - 150°C).

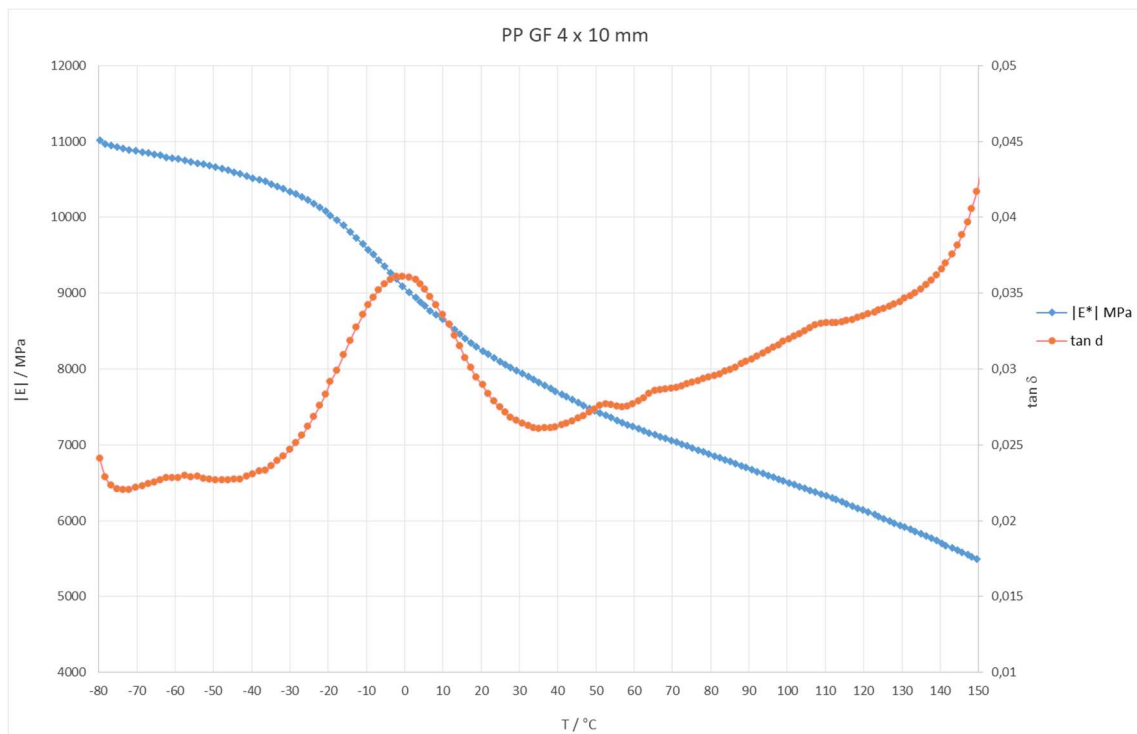


Abbildung 8: Temperatursweep 90°-Probe

### pVT-Messung

Das pVT-Verhalten des Tapematerials (Zusammenhang von Druck, spez. Volumen und Temperatur) wurde mittels isobarer Messung im HKV (Hochdruck-Kapillar-Viskosimeter) untersucht.

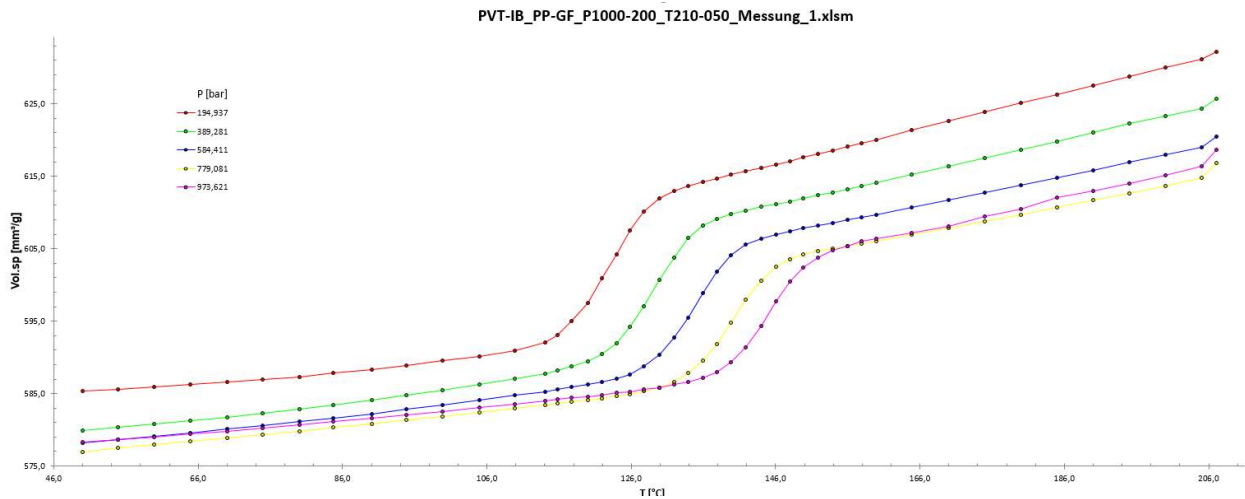


Abbildung 9: pVT-Kurven 200 – 1000 bar

### Biegeverhalten

Charakterisierung des isothermen Biegeverhaltens von UD-Tapes bei Prozessbedingungen zur Verwendung der Messdaten für die Prozesssimulation. Messung an einzelner Tapelage.

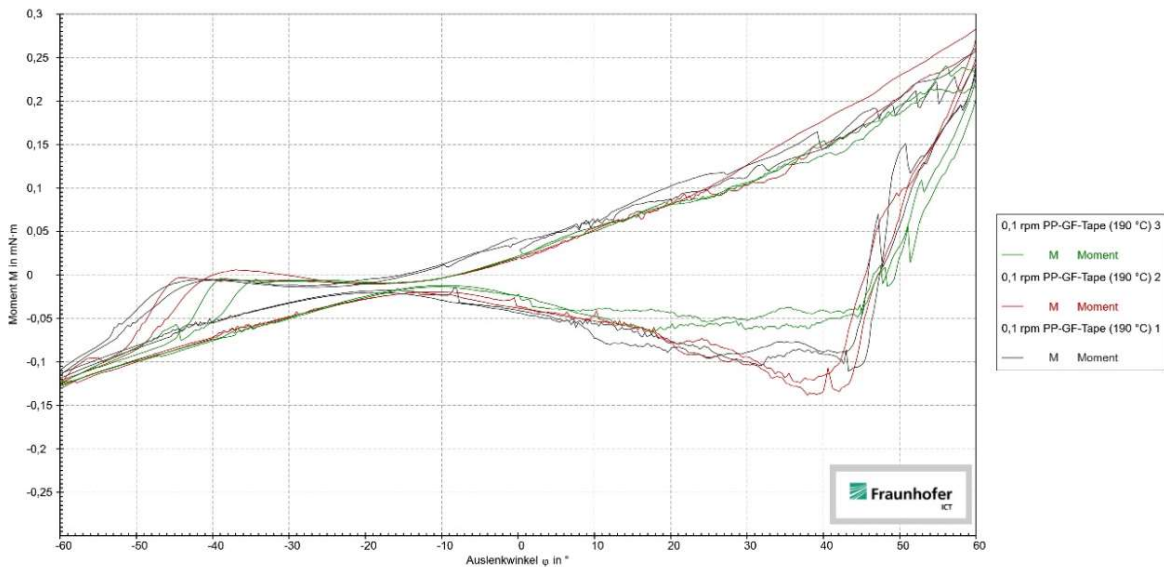


Abbildung 10: Messkurve des Biegeverhaltens Moment [mN\*m] über Auslenkung [°] bei 0,1rpm und 190°C

### Membranverhalten

Charakterisierung des isothermen Scherverhaltens von UD-Tapes bei Prozessbedingungen zur Verwendung der Messdaten für die Prozesssimulation. Messung an Torsionsstäben.

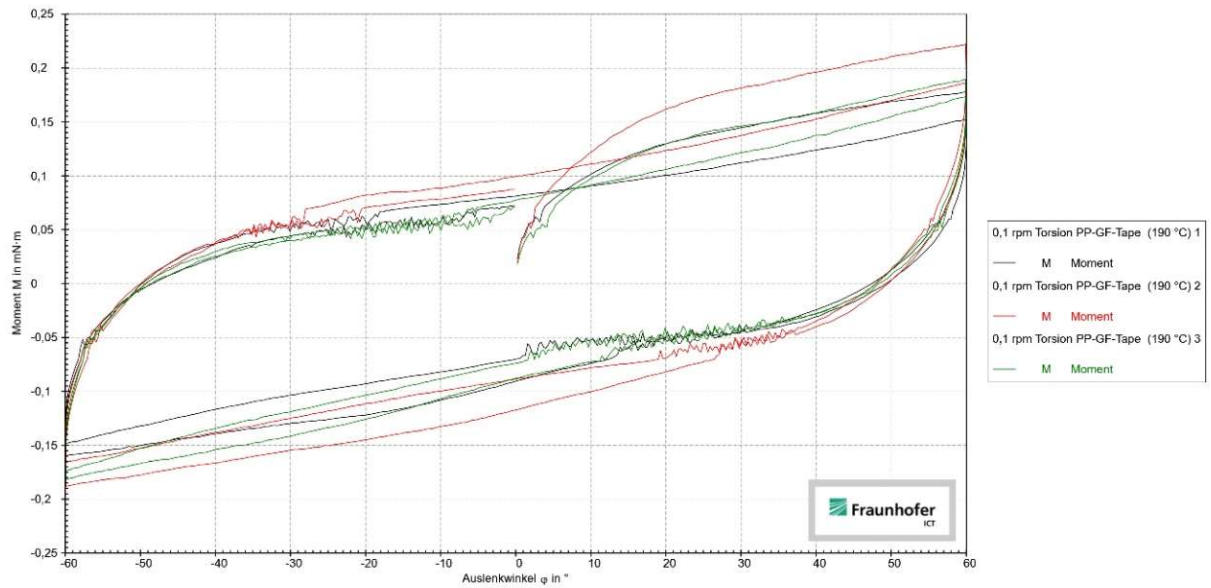


Abbildung 11: Messkurve des Membranverhaltens Moment [mN\*m] über Auslenkung [°] bei 0,1rpm und 190°C

### Wärmekapazität

Die Wärmekapazität wurde über den gesamten verarbeitungsrelevanten Temperaturbereich mittels Saphirmethode in der DSC bestimmt.

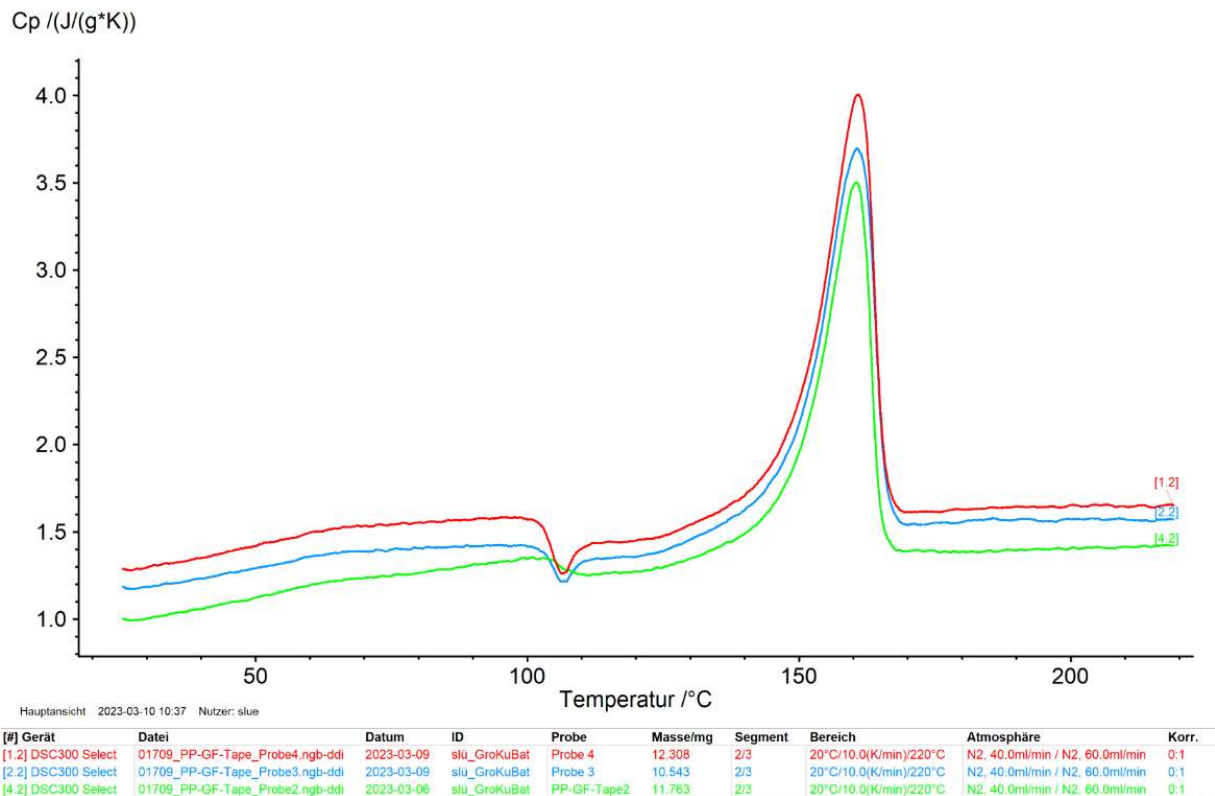


Abbildung 12: Wärmekapazität über Temperatur Probe PP-GF-Tape

### DSC-Messungen zur Kristallisationskinetik

Zur Identifikation der temperatur-transienten Kristallisationskinetik wurden Messungen mit unterschiedlichen Abkühlraten (5 – 50 °C/min) durchgeführt.

Zur Charakterisierung der isothermen Kristallisation erfolgten isotherme Messungen bei 4 unterschiedlichen Temperaturen.

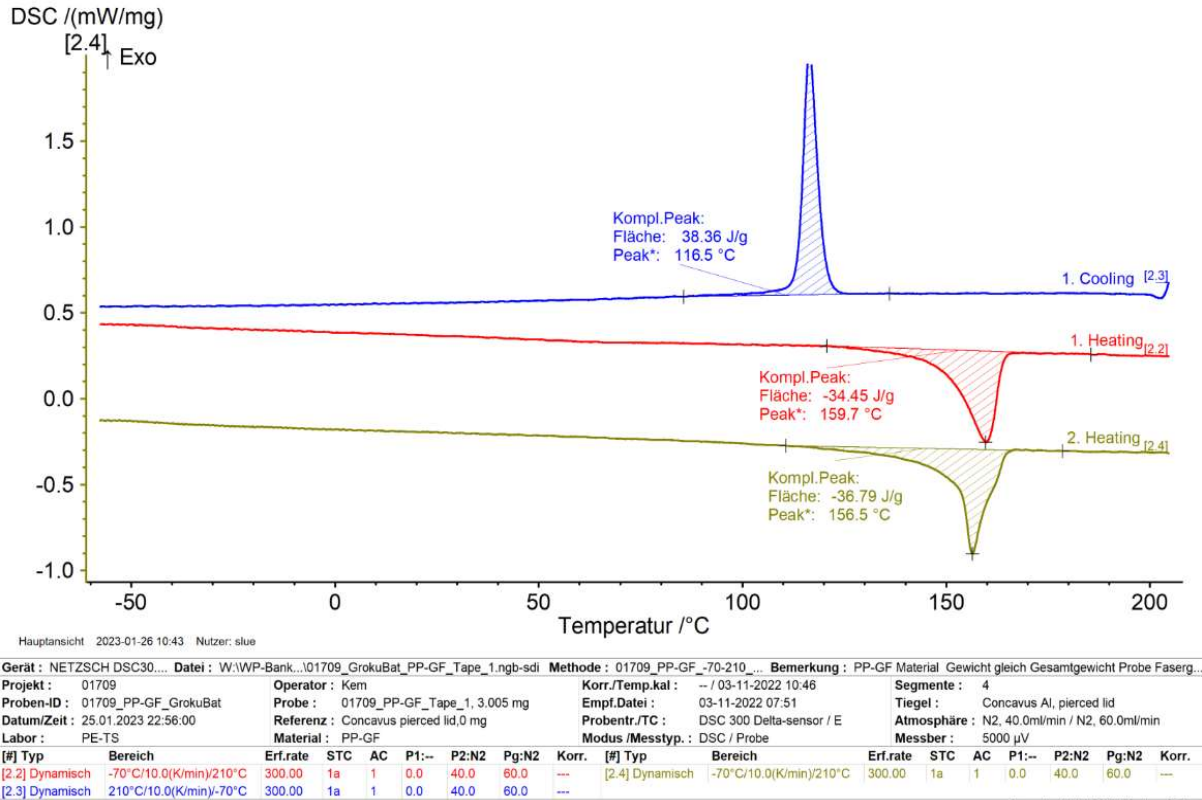
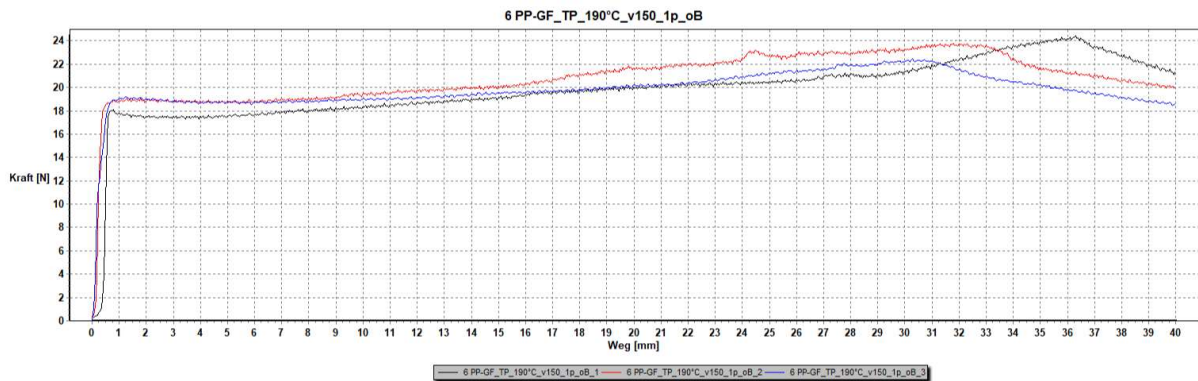


Abbildung 13: 6 Kristallisation unter konstanter Abkühlrate von 10 K/min

Reibung tool / ply

Charakterisierung des Reibungsverhaltens Tape / Werkzeugaußenwand für das Tapematerial bei Prozessbedingungen zur Verwendung der Messdaten für die Prozesssimulation.



Reibung ply / ply

Charakterisierung des Reibungsverhaltens Tape / Tape für das Tapematerial bei Prozessbedingungen zur Verwendung der Messdaten für die Prozesssimulation.

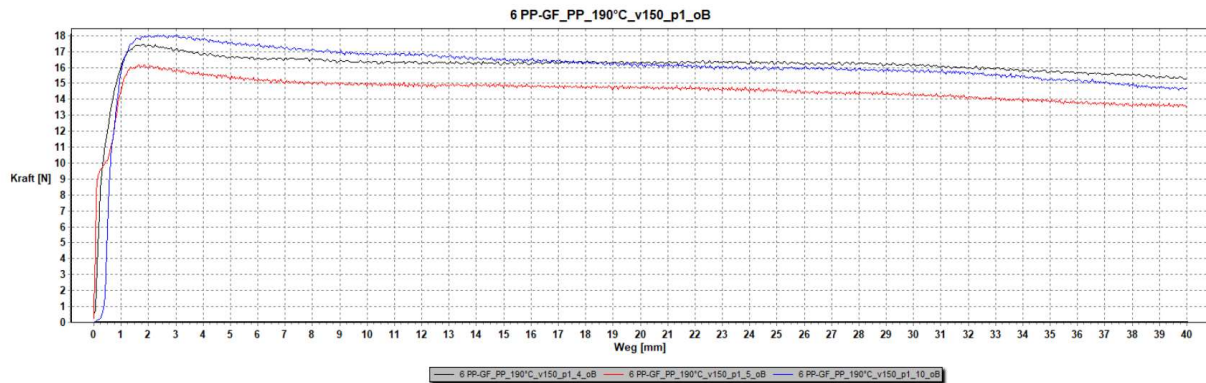


Abbildung 15: Kraft/Weg Diagramm Reibung ply/ply bei 190°C und mittlerer Abzugsgeschwindigkeit

Neben der Materialcharakterisierung im UAP 4.3, war das Fraunhofer ICT für das AP 9 zuständig. Ziel der Arbeiten des AP 9 waren die Beantwortung der Fragestellungen aus Abb. 17 des Projektantrages wie folgt:

- Welche potenziellen Umweltwirkungen gehen mit der Entwicklung des Kunststoffbatteriegehäuses entlang des Lebenszyklus einher?
- Welche Verbesserungspotenziale bestehen aus einer Lebenszyklusperspektive?
- Welche Verbesserungspotenziale bestehen aus einer Kreislaufwirtschaftsperspektive?
- Leistet die Neuentwicklung im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik einen positiven Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird eine Lebenszyklusanalyse, wie in Kapitel 1.1 beschrieben, durchgeführt. Beginnend mit der Definition des Ziele- und Untersuchungsrahmens, gefolgt von der Erstellung der Sachbilanz, Durchführung der Wirkungsabschätzung und anschließende Interpretation der Ergebnisse. Dabei waren folgende Ergebnisse erwartet.

- Erstellung einer Ökobilanz mit Fokus auf das Erderwärmungspotential für das neu entwickelte Gehäuse nach ISO-Norm [ISO 14040:2006; ISO 14044:2006], einschließlich des Vergleichs zum Stand der Technik in Aluminiumbauweise.
- Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der ökologischen Produkteigenschaften für weitere Entwicklungsvorhaben unterstützen.

Die Arbeiten des AP 9 gliedern sich in vier Unterarbeitspakete beginnend mit:

### UAP 9.1

Das Arbeitspaket 9.1 stellt das Fundament der Bilanzierung dar. Es definiert den Ziel- und Untersuchungsrahmen, begründet die Durchführung, beschreibt das Produktsystem sowie die funktionelle Einheit und die gezogene Systemgrenze. Anschließend werden die Wirkungskategorien, sprich den Einfluss, wie beispielsweise CO<sub>2</sub>-Äquivalente, Landnutzung oder Biotoxizität definiert, welche man untersuchen möchte, und Annahmen und Einschränkungen der Studie werden definiert.

Das Ziel ist wie folgt definiert worden: Das mögliche Treibhausgaseinsparpotential für die im Projektvorhaben GroKuBat angestrebten Prozess- und Produktinnovationen entlang des vollständigen Lebenszyklus, von der Herstellung, über die Nutzung, bis hin zum Lebensende zu bewerten. Hierfür wird das neu zu entwickelnde großserienfähige Kunststoff-Batteriegehäuse für E-Fahrzeuge

(Gesamtgewicht > 2.200 kg) mit dem anzunehmenden Stand der Technik (Gehäuse aus Aluminium) verglichen. Zusätzlich sollen durch eine entwicklungsbegleitende Bewertung im Zuge des Projektvorhabens mögliche (weitere) Verbesserungspotentiale identifiziert werden.

Der Untersuchungsrahmen, die Definition des Produktsystems und die Systemgrenze wurden eingangs wie in Abbildung 16 definiert, im Verlauf des Projektes, um die exakten Materialien, konkretisiert wie in Abbildung 22 dargestellt.

Die funktionelle Einheit wurde eingangs, nach Rücksprache mit MAHLE und in2p, wie folgt definiert:

- What does it do & how much?  
*Ein Batteriegehäuse für Li-Ion Zellen (Zelltyp 2170) einschl. Bodengruppe eines E-Fahrzeugs mit einem Gesamtgewicht > 2.200kg,*
- How well?  
*welches die Mindestanforderungen an die Crash-Performance nach ECE-R100 bzw. im asiatischen Raum nach GB 38031-2020 erfüllt (Kraftanforderung (Stauchkraft) bei Crush mindestens 100 kN (erhöht auf 120 kN Zugabe)),*
- How long?  
*über eine zu erwartende Lebensdauer von 10 Jahren bzw. 200.000 km.*

Im weiteren Verlauf wurde die Lebensdauer, da 200.000km für zu kurzfristig und damit nicht realitätsnah beurteilt und daher auf 300.000 km angehoben.

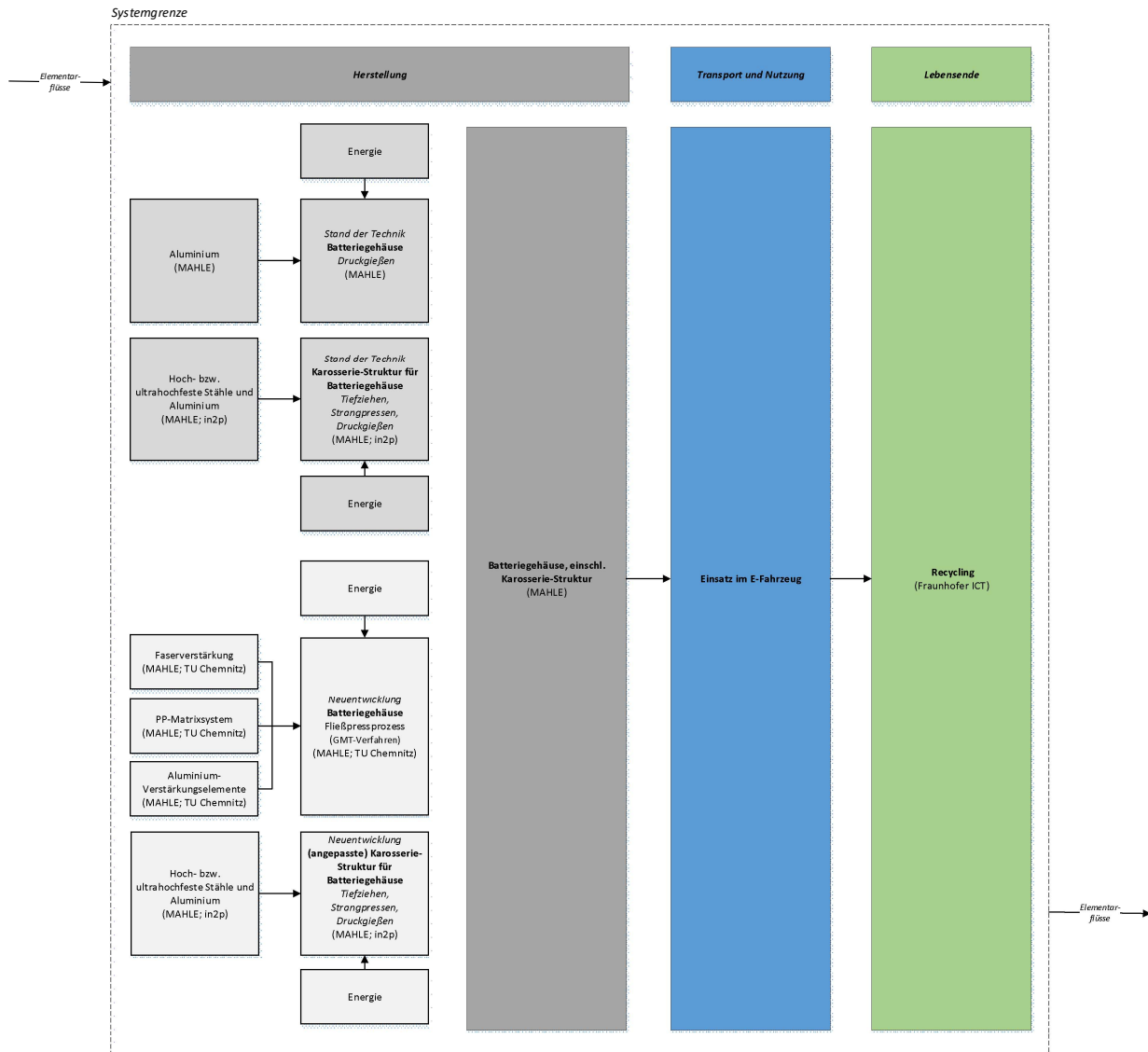


Abbildung 16: Anfänglicher Untersuchungsrahmen, Produktsystem und Systemgrenze der ökobilanziellen Untersuchung

## UAP 9.2

UAP 9.2 umfasst die Erhebung und Sammlung aller relevanten Stoff- und Energieströme. Hierbei wurden über den gesamten Projektverlauf mehrere Schleifen durchlaufen, da es fortlaufend zu Änderungen und Anpassungen des Gehäuselayouts und Variation des Faseranteils kam. Zur Erhebung

der notwendigen Daten wurden Stücklisten analysiert und CAD-Konstruktionen (wie beispielhaft in Abbildung 17 dargestellt) der Aluminiumbauweise ausgewertet.

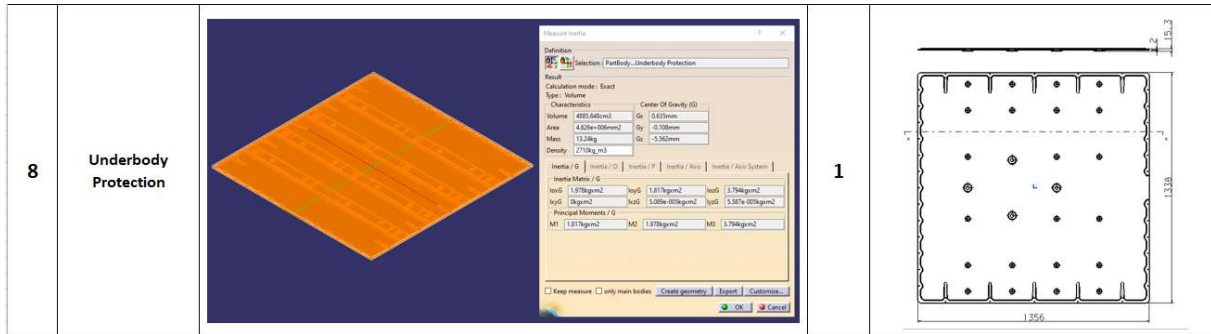


Abbildung 17; Auswertung der CAD-Daten des Unterfahrsschutzes der Aluminiumbauweise

Die vollständigen LCI-Daten zur Aluminium- und GroKuBatbauweise finden sich in Kapitel 3.2.2 Sachbilanz in Tabelle 8 und Tabelle 9 des Erfolgskontrollberichts, da es sich teilweise um nicht öffentliche Konstruktionsdaten des Projektpartners handelt.

Neben der Erfassung gravimetrischer Daten zu den Bauteilen wurden auch Verbrauchsmessungen an der Pilotanlage durchgeführt. Dabei wurde mit dem Energiemessgerät Fluke Energy Analyzer 1730 der Strombedarf für verschiedene Prozessschritte gemessen: der Stromverbrauch des Handlingsgreifers, der die Platinen vom Materialmagazin auf den Ofenrost legt, der Energiebedarf zum Aufheizen des Ofens sowie zur Erwärmung der Platine, der Stromverbrauch des Transferegreifers, der die Platine vom Ofenrost zur Presse transportiert, der Energiebedarf zum Aufheizen der Presswerkzeuge sowie der Energieverbrauch während des abschließenden Pressvorgangs.

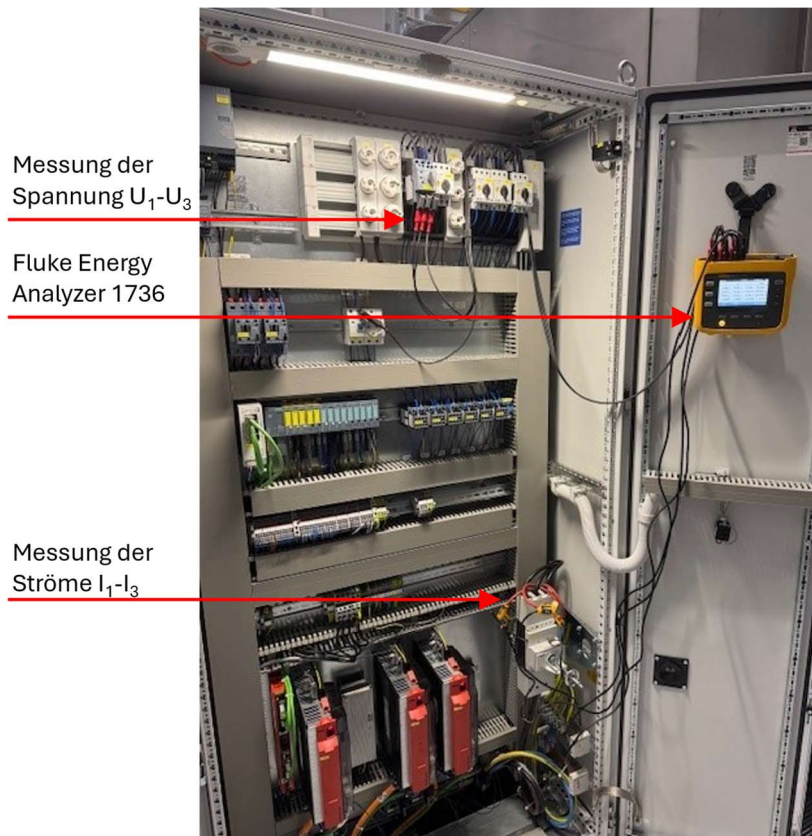


Abbildung 18; Messung des Strombedarfs vom Handlingsgreifer an der TU-Chemnitz

Die Messwerte der Prozessschritte finden sich im Erfolgskontrollbericht in Tabelle 10. Für die Berechnung des anteiligen Aufheizstromes für den Ofen sowie des Presswerkzeugs wurde folgende Annahmen getroffen: Der Ofen ist Taktgeber des gesamten vorliegenden Produktionsprozesses. Die Bestückung der Roste erfolgt sequenziell durch einen Portalroboter, wobei jede Pick-and-Place-Bewegung etwa eine Minute in Anspruch nimmt. Anschließend werden die Platinen im Ofen für eine konstante Haltedauer von 30 Minuten erhitzt. Die nachgelagerte Verarbeitung der erhitzten Platinen nimmt pro Einheit circa zwei Minuten in Anspruch, wodurch sich ein vollständiger Zyklus – bestehend aus Bestückung, Erhitzung und Verarbeitung – auf eine Gesamtdauer von 39 Minuten beläuft ( $3 \times 1 \text{ min} + 30 \text{ min} + 3 \times 2 \text{ min}$ ). In diesem Zeitraum können drei Gehäuseeinheiten fertiggestellt werden. Basierend auf dieser Zykluszeit ergeben sich in einer 8-stündigen Schicht maximal 12,3 Produktionszyklen bzw. 36,9 Gehäuse. Bei Betrieb im Zwei-Schicht-Modus (16 Stunden) steigt die theoretische Produktionskapazität auf 73,8 Gehäuse pro Tag. Dieser Wert wurde zur Umlegung des Aufheizstromes für den Ofen sowie des Presswerkzeugs, welcher als eine Art „Overhead“ gesehen werden kann, verwendet. Parallel zur Datensammlung und Erhebung wurden beide Bauvarianten in Sphera LCA For Experts modelliert. Hierzu wurde der Lebenszyklus von Rohmaterialakquisition über Herstellung, Nutzungsphase, Demontage und Kreislaufführung abgebildet. Die verwendeten Datensätze der Aluminiumbauweise können Tabelle 8 sowie der Modellierungsgrafik in Abbildung 23 entnommen werden. Die Datensätze für die Neuentwicklung Tabelle 9 und der Modellierungsgrafik in Abbildung 24.

### AP 9.3

Das UAP startete planmäßig, gemäß dem Zeitplan Abbildung 2, und beinhaltet die Auswahl der Wirkungskategorien und -indikatoren im Rahmen des Ziel- und Untersuchungsrahmens. Für das Projekt wurde die Wirkungskategorie Klimawandel (englisch Global Warming) gewählt. Der Klimawandel, zählt zu den wichtigsten Umweltwirkungen in einer Ökobilanz. Er entsteht durch Emissionen von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Methan oder Lachgas, die sich in der Atmosphäre anreichern und dort Wärme zurückhalten. Um die Wirkung dieser Gase vergleichbar zu machen, rechnet man sie in CO<sub>2</sub>-Äquivalente um. Die Bedeutung dieser Kategorie liegt vor allem in den weitreichenden Konsequenzen: steigende Temperaturen, veränderte Wetterverhältnisse, schmelzende Gletscher und Risiken für Mensch und Natur. Deshalb steht der Klimawandel bei der Bewertung von Produkten und Prozessen, wie im vorliegenden Fall, im Mittelpunkt der Betrachtung. Die tabellarische Dokumentation der Wirkungskategorien und -indikatoren finden sich in Tabelle 11. Die Verknüpfung der und die damit einhergehende Berechnung der potenziellen Umwelteinwirkungen für die beiden Bauvarianten erfolgte unter Zuhilfenahme der LCA Software Sphera LCA For Experts, früher auch als Gabi bezeichnet, automatisiert und per Knopfdruck.

#### AP 9.4

Im finalen Schritt der LCA – der Auswertung – erfolgt die Zusammenführung aller erhobenen Daten sowie die Berechnung der resultierenden Umweltauswirkungen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abbildung 19 dargestellt.

Für die Herstellungsphase des Gehäuses zeigt sich, dass die Aluminiumbauweise mit 630,9 kg CO<sub>2</sub>eq einen signifikant höheren Umwelteinfluss aufweist als die GroKuBat-Bauweise, die lediglich 170,2 kg CO<sub>2</sub>eq verursacht. Dies entspricht einer Reduktion um 73 % durch die Neuentwicklung im betrachteten Gehäusebereich. Die Kühlplatte der Neuentwicklung weist hingegen mit 139,0 kg CO<sub>2</sub>eq einen 13 % höheren Umwelteinfluss auf als das entsprechende Bauteil in der Referenzbauweise. Das notwendige Verschraubungsmaterial konnte in der Neuentwicklung signifikant reduziert werden. Mit einem Wert von 18,3 kg CO<sub>2</sub>eq ergibt sich hier ein um 87 % geringerer Umweltfußabdruck, was auf eine effizientere konstruktive Auslegung, mit weniger Fügstellen, hindeutet. Die Gesamtdifferenz in der Herstellungsphase ergibt sich im Wesentlichen durch den reduzierten Einsatz von Aluminium sowie die geringere Anzahl an Verschraubungskomponenten. Diese beiden Faktoren tragen entscheidend zur verbesserten Umweltbilanz der GroKuBat-Bauweise in der Herstellungsphase bei.

Auch während der Nutzungsphase ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Bauweisen. Die Aluminiumbauweise verursacht, bedingt durch ihr höheres Systemgewicht von 120 kg, insgesamt 891,8 kg CO<sub>2</sub>eq. Die GroKuBat-Bauweise weist hingegen mit einem Gewicht von 90 kg lediglich 326,6 kg CO<sub>2</sub>eq auf und schneidet damit deutlich emissionsärmer ab. Diese Reduktion ergibt sich hauptsächlich durch die geringere Masse, die während der Nutzung weniger Energieaufwand verursacht.

Am Ende des Produktlebens zeigt die Aluminiumbauweise Vorteile im Hinblick auf die Kreislauffähigkeit. Durch eine etablierte und effiziente Rückführung in den Materialkreislauf erreicht sie eine Gutschrift von -746,4 kg CO<sub>2</sub>eq, was einer Substitutionsquote von 83,7 % der in der Herstellung eingesetzten Ressourcen entspricht. Die dabei anfallenden Recyclingaufwände betragen lediglich 15,0 kg CO<sub>2</sub>eq. Dieser geringe Wert lässt sich auf die hochentwickelte industrielle Infrastruktur im Bereich des Aluminiumrecyclings zurückführen. Die GroKuBat-Bauweise erzielt im Vergleich eine Substitutionsquote von 80 %, was auf einer Annahme beruht, da keine Recyclingversuche und -

untersuchungen durchgeführt wurden. Die Substitutionsquote führt zu einer Gutschrift von -263,8 kg CO<sub>2</sub>eq. Jedoch ergeben sich hier verschiedene Einschränkungen. Besonders negativ wirkt sich die Fasereinkürzung im Rahmen des mechanischen Recyclings am Lebensende aus. Diese verkürzten Fasern können nicht vollständig wiederverwertet werden, was die Substitutionsquote reduziert. Zudem sind die Recyclingaufwände mit 60,1 kg CO<sub>2</sub>eq deutlich höher als bei der Aluminiumbauweise. Ein wesentlicher Grund hierfür sind Ausschüsse mit Glasfaseranteilen (GF), die im Recyclingprozess entstehen und aufgrund ihrer Materialzusammensetzung nur eingeschränkt einer weiteren stofflichen Verwertung zugeführt werden können.

Die GroKuBat-Bauweise zeigt über den gesamten Lebenszyklus hinweg eine deutlich geringere Klimawirkung. Die größten Vorteile ergeben sich in der Herstellungs- und Nutzungsphase, insbesondere durch den geringeren Materialeinsatz und das niedrigere Systemgewicht. Zwar weist die Aluminiumbauweise Vorteile im End-of-Life durch ein etabliertes Recycling auf, diese können jedoch die insgesamt höhere Belastung in den vorangegangenen Lebensphasen nicht kompensieren. Aus ökologischer Sicht stellt die GroKuBat-Bauweise somit die nachhaltigere Alternative dar. Unter Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen ergibt sich eine Gesamtumweltwirkung von 584,7 kg CO<sub>2</sub>eq für die Aluminiumbauweise. Die GroKuBat-Bauweise erreicht demgegenüber eine deutlich geringere Gesamtemission von 444,3 kg CO<sub>2</sub>eq. Damit bestätigt sich der bereits im Rahmen des Screening Assessments erwartete positive Einfluss der Neuentwicklung auch im Rahmen der vollständigen und detaillierten Lebenszyklusanalyse.

### Aluminiumbauweise

Extrusionsprofile Aluminium  
Druckgussprofile Aluminium  
Bleche Aluminium  
Befestigungsmaterialien Eisen

Σ 120 kg

### GroKuBat-Bauweise

Gehäusewanne GMT PP GF50  
Einleger PP GF30  
Gehäusedeckel GMT PP GF50  
Kühlplatte Aluminium  
Extrusionsprofil Aluminium  
Befestigungsmaterialien Eisen

Σ 90,9 kg

Stromverbrauch in der Nutzungsphase: 300.000 km; Pro 100 kg und 100 km 0,76 kWh; Deutscher Strommix

Produktlebensende: Demontage und mechanisches Recycling

Life cycle stages	Komponente	Environmental Impact (kgCO <sub>2</sub> eq/system)	
		Aluminiumbauweise	GroKuBat-Bauweise
Manufacturing	Gehäuseteile	630,9	170,2
	Kühlplatte	121,8	138,0
	Verschraubungsmaterial	139,1	18,3
	<b>Summe Herstellung</b>	<b>891,8</b>	<b>326,6</b>
USE	<b>DE: Strommix über 300.000km</b>	<b>424,3</b>	<b>321,5</b>
End of life	Recycling Aufwände	15,0	60,1
	Gutschrift für Recycling Material	-746,4	-263,8
	<b>Summe Produktlebensende</b>	<b>-731,4</b>	<b>-203,7</b>
<b>Total Environmental Impact (kgCO<sub>2</sub>eq/system)</b>		<b>584,7</b>	<b>444,3</b>

← - 24% Emissionen

Abbildung 19; Ergebnisse des LCA

Neben der Betrachtung der Umweltbilanz wurde im Projekt auch die zirkuläre Lücke analysiert und in Abbildung 20; Ergebnisse der LCGA dargestellt. Hierzu werden die Gutschriften (engl. *credits*) von den Aufwänden der Herstellungsphase abgezogen. Die daraus resultierende Differenz wird als *Life Cycle Gap* bezeichnet. Diese Lücke kann als Wertschöpfungsverlust interpretiert werden. Das heißt, all die Aufwände aus der Herstellungsphase die nicht in den Kreislauf zurückgeführt werden können. Im vorliegenden Projekt zeigt sich, dass zwar die Umweltbilanz (LCA), mit Fokus auf Erderwärmung, der Neuentwicklung verbessert werden konnte, die zirkuläre Lücke jedoch größer geworden ist. Zwar liegen die absoluten Werte (145,4 kg CO<sub>2</sub>eq Gap bei der Aluminiumbauweise gegenüber 62,7 kg CO<sub>2</sub>eq Gap bei der GroKuBat-Variante) zugunsten der Neuentwicklung, entscheidend ist jedoch das Verhältnis zur eingesetzten Ressourcennutzung in der Herstellung (siehe Abbildung 20). Daraus ergibt sich eine zirkuläre Lücke von 16,3 % bei der Aluminiumbauweise und 19,2 % bei der GroKuBat-Bauweise.

Die Neuentwicklung weist eine deutlich verbesserte Umweltbilanz auf. Diese resultiert zum einen aus der Gewichtsreduktion in der Nutzungsphase, vor allem jedoch aus einer signifikanten Verbesserung in der Herstellungsphase. Die Zirkularität ist zwar um 3 % geringer, dieser Nachteil fällt jedoch in der Gesamtbilanz nicht ins Gewicht, da die positiven Effekte überwiegen.

Auf Basis der durchgeführten Life Cycle Assessment (LCA) und Life Cycle Gap Analyse ergeben sich für zukünftige Entwicklungen folgende Potenziale:

1. Weitere Gewichtsreduktion durch den Einsatz von Leichtbaustrukturen in strukturell wenig beanspruchten Bereichen des Gehäuses.
2. Prüfung des Einsatzes biobasierter Kunststoffe als Alternative zu den bislang verwendeten fossilbasierten Polymeren.
3. Verringerung des Faseranteils in Bereichen mit geringen mechanischen Anforderungen.
4. Einsatz von kurzfaserverstärkten Kunststoffen sowie gezielte lokale Verstärkungen anstelle einer vollflächigen Faserverstärkung.

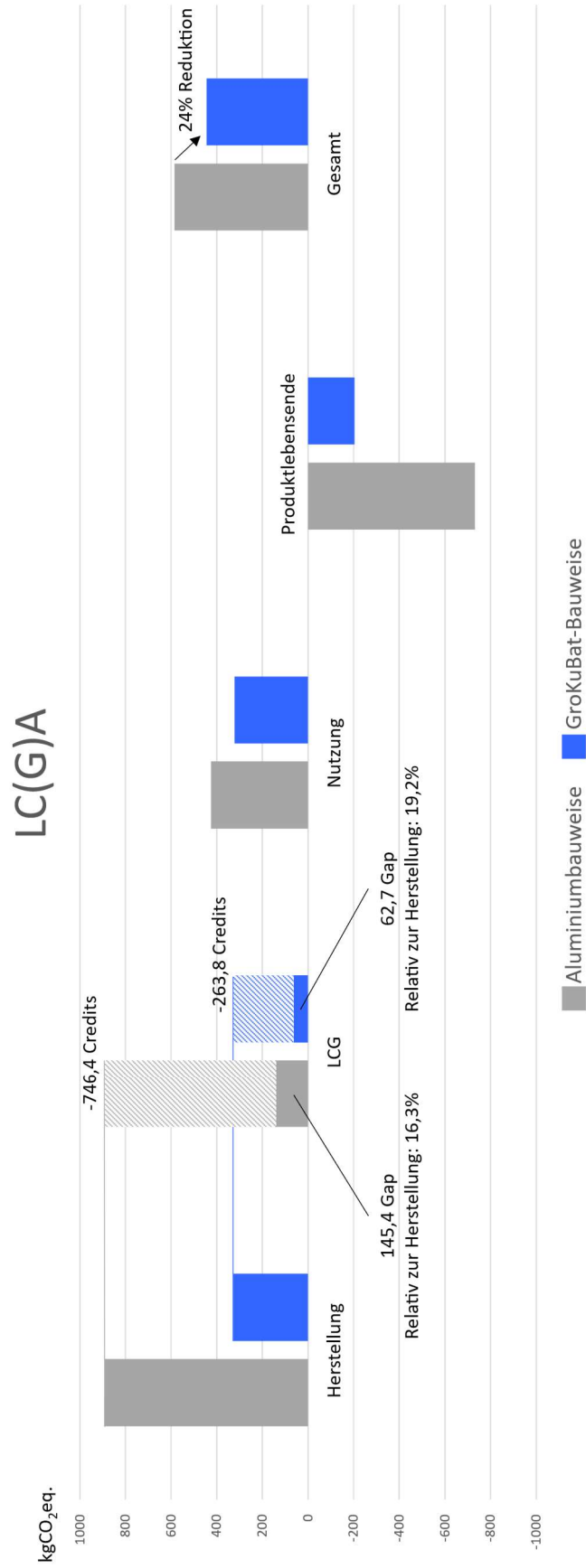


Abbildung 20; Ergebnisse der LCGA

## 2.2. Wichte Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Über die Laufzeit von 36 Monaten 01.01.2022 bis 31.12.2024 inklusive einer kostenneutralen Verlängerung um 3 Monate. Sind für den Projektpartner

**Fraunhofer ICT [ICT], Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7 D-76327 Pfinztal**

Gesamtmittel i.H.v. 204.176,47€ verwendet worden. Der Schlussverwendungsnachweis wurde erstellt. Gemäß des Schlussverwendungsnachweis wurden 202.146,42 € an Personalkosten und 2030,05€ für Reisekosten verausgabt wurden. Der Verwendungsnachweis wurde/wird von der Fraunhofer-Zentrale direkt befüllt und dem PT zugesandt.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Ca. 23 % der weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen auf den Verkehrssektor zurück [10]. Zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele wie der angestrebten Treibhausgasneutralität bis 2045 in Deutschland [11] ist die Elektromobilität ein zentrales Schlüsselement. Zum einen sind vollständige Neuentwicklungen bisheriger Fahrzeugkonstruktionen notwendig, da diese bislang auf den Einsatz von Verbrennungsmotoren ausgelegt waren. Es bedarf neuartiger Komponenten im Antriebsstrang, welche im Rahmen dieses Projekts entwickelt wurden. Dabei handelt es sich insbesondere um Leichtbaulösungen, um die Nachteile der Elektromobilität in Bezug auf Reichweite und Leistungsgewicht zu kompensieren. Zum anderen ist ein grundlegendes Umdenken in der Produktentwicklung erforderlich – weg von linearen Produkten hin zu kreislauffähigen Lösungen. Das Produktlebensende markiert dabei zugleich den Beginn eines neuen Lebenszyklus. Ziel ist es, Materialien im Kreislauf zu führen und dadurch die Nutzung natürlicher Ressourcen zu verlangsamen. Die geleisteten Arbeiten zur Quantifizierung des Umwelteinflusses verschiedener Konstruktionen dienen somit direkt der Erreichung umweltpolitischer Ziele durch die Schaffung einer messbar verbesserten Umweltbilanz. Gleichzeitig stärken sie die wirtschaftliche Position im international kompetitiven Automobilmarkt.

Das Fraunhofer ICT unterstützte im Projekt mit dem Kompetenzbereich Umweltengineering insbesondere bei der Quantifizierung des Umwelteinflusses im Rahmen der Entwicklung einer nachhaltigen, kreislauffähigen Neuentwicklung. Projektbegleitend wurde eine Lebenszyklusanalyse (LCA) durchgeführt, deren Ergebnisse kontinuierlich in den Konstruktionsprozess integriert wurden. Bereits im Screening Assessment (siehe Zwischenbericht 5) konnte die Bedeutung des Leichtbaus aufgrund des gewichtsabhängigen Energieverbrauchs quantifiziert werden. Bei der Materialauswahl wurde daher gezielt auf einen einheitlichen Matrixwerkstoff geachtet. Entwicklungsbegleitend wurden Materialdaten und -massen gesammelt, laufend aktualisiert und in die mehrfachen Screening-Assessments eingebunden.

[10] CO<sub>2</sub> emissions in 2023 [Internet]. IEA. 2024 [zitiert 2025 Mai 21].  
<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023> (zugegriffen 2025 Mai 21)

[11] Bundesumweltministeriums. Bundes-Klimaschutzgesetz [Internet]. bmu.de. 2021 [zitiert 2025 Mai 21]. <https://www.bmu.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz#:~:text=Das%20ge%C3%A4nderte%20Bundes%2DKlimaschutzgesetz%20wurde,20er%20und%2030er%20Jahre%20festgelegt.> (zugegriffen 2025 Mai 21)

## 2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung der Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse zur Materialcharakterisierung fließen in zukünftige Konstruktionen und Modellierungen von GMT- sowie Tapeverstärkten Bauteilen innerhalb neuer Forschungsprojekte bei Fraunhofer ein. Die von Mahle erstellte Materialdatenkarte unterstützt zudem die Auswahl alternativer Werkstoffe in künftigen Projekten und Arbeiten. Auch Ergebnisse aus Industrieprojekten werden berücksichtigt und integriert. Die gewonnenen Datensätze zu den Verarbeitungsschritten des GroKuBat-Prozesses dienen als Grundlage für Screening- und vollständige Life Cycle Assessments. Sie ergänzen und erweitern bestehende Datengrundlagen. Die daraus aufgebaute LCA-Datenbank wird die Aussagekraft künftiger Nachhaltigkeits- und Kreislauffähigkeitsbewertungen von faserverstärkten Kunststoffen deutlich steigern.

## 2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt geworden Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens

Aus Sicht des Fraunhofer ICT sowie der durch uns zu bearbeitenden Arbeitspakete und Inhalte traten während der Projektlaufzeit keine qualitativ neuen Aspekte auf, die nicht bereits zum Zeitpunkt der Antragstellung zu erwarten gewesen wären. Neu sind insbesondere die Messwerte (siehe Tabelle 10), die während des Versuchslaufs an der TU Chemnitz erfasst wurden und künftig in die Datenbank einfließen werden. Aus Sicht des Arbeitspakets 9 wurden alle Arbeiten und Ergebnisse wie geplant umgesetzt. Die qualitativen Messdaten sind selbstverständlich neu, stellen jedoch keinen unerwarteten Fortschritt im Sinne eines nicht antizipierten Ergebnisses dar.

## 2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die Ergebnisse der LCA stehen allen Projektpartnern zur Verfügung, um mit diesen für Vertrieb und möglichen Weiterentwicklungen zu werben. Das Fraunhofer ICT selbst, publiziert das Projekt über die Webseite des Instituts. Eigenständige Veröffentlichungen zur LCA sind nicht geplant.

The screenshot shows the website interface for the GroKuBat project. At the top, there is a navigation menu with options like 'ÜBER UNS', 'FORSCHUNG', 'PROJEKTE', 'TERMINE', and 'MEDIATHEK'. The main content area features a title 'GroKuBat – Großserienfähiges Kunststoff-Batteriegehäuse zum Einsatz in batterieelektrisch betriebenen PKW' and a sub-image of a battery housing prototype. Below the image, there is a detailed text description of the project's goals and challenges. To the right, there is a 'Kontakt' section with contact details for Sebastian Zürn, including an email address and phone number. At the bottom, there are three columns of information: 'Projektpartner' (listing Mahle, Gebroder, InZu, Gerlinger, Technische Universität Chemnitz, and Wickert), 'Fördergeber/Programm' (listing the BMW Group and the Federal Government), and 'Laufzeit' (01.2022 – 09.2024).

Abbildung 21; Online Veröffentlichung zum Projekt auf der Webseite des Fraunhofer ICT