

# Schlussbericht des Verbundes

- öffentlich einsehbar -

## Wandlungsfähige und flexible Produktionssysteme zur symbiotischen Herstellung elektrifizierter und konventioneller Lastkraftwagen – eTruckPro

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers (ZE) oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z. B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den Zuwendungsgeber (ZG) ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Zuwendungsempfänger: <ul style="list-style-type: none"><li>- MAN Truck &amp; Bus SE - München</li><li>- Fraunhofer IGCV - Augsburg</li><li>- ElringKlinger AG - Dettingen/Thale</li><li>- Hörmann Rawema Engineering &amp; Consulting GmbH - Chemnitz</li></ul>	Förderkennzeichen: 01MV19006A 01MV19006B 01MV19006C 01MV19006D
Kontakt Konsortialführer: Michael Neukam, MAN Truck & Bus SE	Tel.: +49 89 1580-2225  Email: michael.neukam@man.eu
Laufzeit des Vorhabens:  von: 01.01.2020                      bis: 30.06.2023	
Datum Bericht: 31.01.2024	

## Inhalt

1.	Kurzdarstellung.....	3
1.1.	Aufgabenstellung.....	3
1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	5
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	6
	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	6
	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste .....	6
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
2.	Eingehende Darstellung .....	8
2.1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	8
2.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	11
2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	12
2.4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	15
2.5.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	16
2.6.	Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 der Nebenbestimmungen.....	16

# 1. Kurzdarstellung

## 1.1. Aufgabenstellung

Um die klimapolitischen Ziele zu erfüllen, ist das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhaben eTruckPro die Herstellkosten für elektrifizierte LKW zu reduzieren. Um die Investitions- und Fertigungskosten gering zu halten und eine schnelle Markteinführung zu erreichen, wird eine Integration von elektrifizierten Lastkraftwagen auf konventionellen Linien angestrebt und in einem ersten Schritt auf einer bestehenden Fahrzeugstruktur (Konversionsmodell) aufgesetzt (KAMPKER 2014, KAMPKER ET AL. 2010).

Somit werden in eTruckPro folgende wirtschaftlichen und technologischen Ziele verfolgt:

- Entwicklung eines Vorgehen zur schnellen und systematischen Analyse des Adaptionsbedarfs von Prozessketten für eine Flexibilisierung der Produktion
- Entwicklung und Anpassung von Montagearbeitsstationen für die Symbiose von Arbeitsschritten konventioneller und elektrische Fahrzeuge
- Ausarbeitung eines Konzepts zur Austaktung der Produktionslinie trotz hoher Variantenvielfalt und starker Schwankungen im Mix zwischen konventionellen und elektrifizierten LKW
- Integration von geeigneten Assistenzsystemen in der Montage zur Verkürzung der Anlernzeit, Verbesserung der Arbeitssicherheit, Reduktion von Montagezeiten und zur Erhöhung der Produktqualität
- Flexibilisierung der vorgelagerten Batteriemodulfertigung, um trotz geringer Stückzahl und gleichzeitig hoher Variantenvielfalt der LKW, eine ganzheitliche wirtschaftliche Wertschöpfungskette zu gewährleisten
- Entwicklung eines adaptiven Produktionssystems, was durch eine Modularisierung auf die hohe Variantenvielfalt und langfristig auf ein veränderndes Nachfrageverhalten ausgerichtet ist
- Zweistufige Erprobung des adaptiven Produktionssystems zur Quantifizierung des wirtschaftlichen Nutzens
- Integrationskosten elektrifizierter LKW sollen möglichst gering ausfallen, um Mehrkosten im Material zu kompensieren.

Zusammenfassend können diese Ziele auch in vier SMARTe Ziele eingeordnet werden:

Die **MAN Truck & Bus SE** möchte mit Abschluss des Vorhabens 06/2023 sicherstellen, dass die Montage- und Herstellkosten zukünftiger elektrifizierter Fahrzeuge trotz neuer Montageprozesse und erheblich steigender Sicherheitsanforderungen nicht höher sind als die Montage konventioneller Fahrzeuge. Auch die Investitionskosten werden soweit wie möglich durch die entstehenden Produktionsstrukturen kompensiert. Dazu werden Integrationsszenarien erarbeitet und evaluiert. Daneben soll ein Batteriegehäuse entwickelt werden, das durch einen modularen Aufbau zukünftige und aktuelle Anforderungen gleichermaßen erfüllen kann und der hohen Weiterentwicklungsgeschwindigkeit in diesem Bereich Rechnung trägt.

Die **Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik** entwickelt bis 06/2023 eine zweiteilige Demonstrationsplattform, die einerseits zur kollaborativen digitalen Fabrikplanung und andererseits zur Schulung von Montagepersonal und Fehlerüberwachung von durchgeführten Montageschritten im Bereich der Batteriemontage eingesetzt werden kann. Dabei kommen

AR-Technologien zum Einsatz. Weiter steht ein Vorgehen zur Verfügung, das die Entwicklung und Anpassung von Montagearbeitsstationen zur Einführung einer Mischproduktion für konventionelle und elektrische Fahrzeuge beschreibt.

**Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH** erstellt bis 06/2023 ein auf Plant Simulation basierendes, konfigurierbares Tool zur Identifikation von Effekten auf flexible Parameter der Mixfertigung von konventionellen und elektrifizierten LKW.

Die **ElringKlinger AG** wird bis 12/2020 die Erhöhung der Energiedichte des Batteriesystems auf eine Referenzgeometrie (Dieseltank) besser als 280 Wh/l erreichen. Durch die Flexibilisierung der Produktion von konventionellen LKW zur Herstellung von elektrisch-betriebener LKW wird übergeordnet ein Beitrag zur Erreichung der Klimaziele geleistet und die Wertschöpfungsketten in der Elektromobilität sowie Wettbewerbsposition deutscher Unternehmen gestärkt.

## 1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Megatrends wie die Dynamisierung der Produktlebenszyklen sowie der Klimawandel verändern die Rahmenbedingungen und Märkte für die industrielle Produktion in Deutschland nachhaltig (ABELE & REINHART 2011). Selbst in stagnierenden Märkten ergab sich in den letzten Jahren ein starker Anstieg der Produktvarianten. Unternehmen können daher nur erfolgreich im internationalen Wettbewerb bestehen, wenn durch den Ausbau des Leistungsangebots eine marktrelevante Differenzierung gegenüber den Wettbewerbern erreicht werden kann (PORTER 1999, RÖHRIG 2002, PILLER & STOTKO 2003). In der Automobil- und Transportindustrie führen alle drei genannten Aspekte mit dem zunehmenden Bedarf von Elektrofahrzeugen zu einem tiefgreifenden Wandel, der nur durch die Einführung von flexiblen und wandlungsfähigen Produktionssystemen wirtschaftlich gelingen kann.

Der Verkehrssektor konnte als einziger Sektor in den vergangenen Jahrzehnten seine Treibhausgasemissionen nicht mindern. Das lag vor allem am stetig wachsenden Straßengüterverkehr, der aktuell im Wesentlichen mit Dieselkraftstoff betrieben wird. Die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb des Straßengüterverkehrs erhöhten sich zwischen 1995 und 2021 trotz technischer Verbesserungen der Motoren um 23 %. Im Jahr 2019 wurden 164 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen, was 19,4 % der jährlichen Treibhausgasemissionen in Deutschland ausmacht. [UBA]<sup>1</sup> EU-weit entfallen von insgesamt 740 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr 37 % auf Straßen-LKW, Busse und leichte Nutzfahrzeuge [destatis]<sup>2</sup>. Zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde in den vergangenen Jahren die Effizienz konventioneller Antriebe weiter verbessert. Allerdings ist der Güterverkehr aufgrund des zunehmenden Onlinehandels überproportional angestiegen. Um die gesetzlichen Anforderungen auf europäischer Ebene zu erfüllen, müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend gesenkt werden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2019). Die Effizienz in den konventionellen Antrieben der Nutzfahrzeugindustrie ist allerdings weitestgehend ausgereizt. Die Elektrifizierung der Nutzfahrzeugindustrie ist daher unumgänglich, um die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen (BUNDESREGIERUNG 2019). Auch laufende Technologieentwicklungen auf Produkt- und Prozessebene führen zu einem dynamischen Unternehmensumfeld. Um die 180.000 Arbeitsplätze in der Nutzfahrzeugindustrie zu sichern, sind geeignete

<sup>1</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#rolle> (Abgerufen, 14.11.2023)  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> (Abgerufen, 14.11.2023)

<sup>2</sup> [https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2\\_Strassenverkehr.html](https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Strassenverkehr.html) (Abgerufen, 14.11.2023)

Strategien zu entwickeln, um die Herstellung von Elektrofahrzeugen in der Nutzfahrzeugindustrie zu stärken (VDA 2019).

In Hinblick auf eine wirtschaftliche Herstellung und eine möglichst schnelle Markteinführung von elektrisch betriebenen LKW stehen produzierende Unternehmen vor ernstzunehmenden Herausforderungen. Die Nutzfahrzeugindustrie ist durch den intensiven internationalen Wettbewerb geprägt, neue Wettbewerber aus Asien und USA treten mit elektrifizierten Lkws in den Markt ein. Die Nachfrage nach Lkws ist stark beeinflusst durch die Konjunktur und ein grundsätzliches Wachstum ist mittelfristig nicht zu erwarten. Bei LKW handelt es sich um Investitionsgüter, die einem intensiven Kostendruck unterliegen, was auf die Nutzfahrzeugindustrie übertragen wird. Die Amortisation der einmaligen Investitionskosten ist abhängig vom Nutzungsgrad der Fahrzeuge, so dass vergleichsweise hohe Anforderungen an die Fahrzeugzuverlässigkeit gestellt werden. Dies erfordert wiederum eine hohe Prozessqualität, um die geforderte Verfügbarkeit der Lkws zu erreichen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine wirtschaftliche Herstellung von elektrisch betriebenen Lastkraftwagen nur durch eine Flexibilisierung der Produktionslinien erfolgen kann. Aufgrund der anfänglich geringen Stückzahlen und der gesetzlich geforderten schnellen Markteinführung ist eine Integration der Prozessschritte in bestehende Produktionslinien sehr vielversprechend. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist allerdings Erfahrung und Spezialwissen aus unterschiedlichen Themenbereichen erforderlich. Durch die Zusammensetzung des Konsortiums kann auf Expertise aus allen für das Vorhaben relevanten Bereichen, von der Batterietechnik über die LKW-Herstellung bis zur Fabrik- und Montageplanung zurückgegriffen werden. Die Bearbeitung des Projektgegenstandes wäre für ein einzelnes Unternehmen aufgrund des damit verbundenen inhaltlichen und finanziellen Risikos nicht möglich. Weiterhin ist der Einsatz von wissenschaftlichen Methoden erforderlich, um fundierte Lösungen für diesen Themenkomplex zu entwickeln. Für die Bearbeitung dieses Vorhabens ist daher ein schlagkräftiges Konsortium aus Wirtschaft und Wissenschaft vorgesehen.

### 1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei der Beantragung und zu Beginn des Projekts war eine wesentliche Annahme, dass sich die Montageprozesse zur Herstellung von elektrifizierten Lkws deutlich von denen konventioneller Lkws unterscheiden. Dementsprechend lag der Schwerpunkt zu Beginn des Projekts auf der Ermittlung des notwendigen Adaptionsbedarfs und im weiteren Verlauf auf der effizienten Integration der notwendigen Änderungen in die bestehenden Montagelinien.

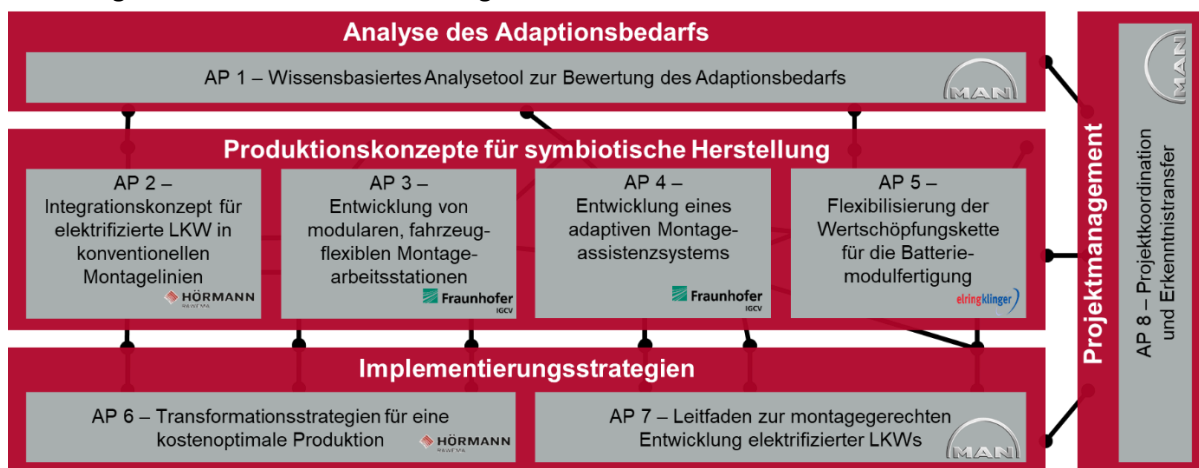


Abbildung 1: Übersicht der Projektstruktur eTruckPro und der beinhalteten Arbeitspakete

Im Verlauf des Produktentstehungsprojekts für elektrifizierte Lkws bei MAN haben sich entsprechend den Zielen des Projekts zusätzliche Möglichkeiten ergeben, die Integration des elektrifizierten Antriebsstrangs mit geringfügigeren Änderungen umzusetzen, als ursprünglich angenommen. Daher hat sich der Adaptionsbedarf der Montage und damit der Integrationsaufwand gegenüber der ursprünglichen Annahme deutlich reduziert. Mit den im Forschungsprojekt entwickelten Methoden und Werkzeugen wurden unter diesen neuen Rahmenbedingungen sogenannte Fokustakte identifiziert. Vorwiegend an diesen Takten ergeben sich große Auswirkungen durch die Integration eines elektrifizierten Antriebsstrangs.

Ein weiterer Schwerpunkt, der im Verlauf des Projekts entstanden ist, betrifft die verschiedenen Mischungsverhältnisse aus konventionellen und elektrifizierten Lkws in der Linie. Neben der technischen Befähigung der Montagelinie zur Herstellung elektrifizierter und konventioneller Lkws ist auch die kurzfristige, effiziente Umsetzung verschiedener Mischungsverhältnisse eine neue Anforderung. Dementsprechend stand in der zweiten Hälfte des Projekts die Bewertung der Fokustakte hinsichtlich der Auswirkung von unterschiedlichen Misch-Szenarien ebenfalls im Mittelpunkt.

Ein weiterer wesentlicher Einfluss auf den Projektverlauf hatte die Corona-Pandemie. Durch die damit verbundenen Unterbrechungen im parallellaufenden Entwicklungsprojekt bei MAN sowie den Auswirkungen auf physisch geplante Treffen zur Evaluierung von Projektergebnissen ergaben sich erhebliche Verzögerungen im Projektablauf. Dies hatte letztendlich zur Verlängerung des Projekts um weitere 6 Monate bis 06/2023 geführt.

## **1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

### **Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

Für den Bereich der variantenreichen und dynamischen Montage konnten durch das Fraunhofer IGCV auf die fundierten Kenntnisse und Erfahrungen aus der Lernfabrik für vernetzte Produktion (LVP) zurückgegriffen werden. Die LVP ist ein Demonstrations- und Trainingszentrum für kognitive Montageassistenten. Sie dient als Labor für die Entwicklung und Erprobung zukünftiger und maßgeschneiderter Technologien für kleine und mittlere Unternehmen bis hin zu großen Konzernen.

### **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Im Rahmen des Vorhabens wurden u.a. nachfolgende Fachliteratur und Informationsdienste verwendet:

Fink, K.; Ziegler A.; Härdtlein, C.; Berger, C.; Daub, R.: Assessing the Human Competence and Individual Support Level in Manual Assembly through Cognitive Assistance Systems. Neapel: 17<sup>th</sup> CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 2023.

Fink, K.; Riemensperger, T.; Brugger, M.; Berger, J.; Braunreuther S.: Konfigurator für kognitive Assistenzsysteme. In: wt Werkstattstechnik online 2021, S. 770-774, DOI 10.37544/1436-4980-2021-10-116.

Fink, K.: Cognitive Assistance Systems for the Manual Assembly in the German Manufacturing Industry. Kempten: Hochschulbibliothek der Hochschule Kempten 2021.

- Fink, K.; Rusch, T.; Merkel, L.; Sochor, R.; Kerber, F.; Reinhart, G.: Ein Vorgehensmodell zur Prozess-evaluierung zur Integration ausgewählter kognitiver und physischer Assistenzsysteme am Montage-arbeitsplatz 4.0 im Mittelstand. Berlin: GfA-Frühjahrskongress 2020
- Kampker, A.: Elektromobilproduktion. Heidelberg: Springer 2014
- Frost & Sullivan: Executive Analysis of Electric Truck Market, Forecast to 2025. Internet: [https://go.frost.com/EU\\_PR\\_MFord\\_K1CB\\_ElectricTruck\\_Mar18](https://go.frost.com/EU_PR_MFord_K1CB_ElectricTruck_Mar18). Zugriff 13.02.2020
- Kampker, A.; Burggräf, P.; Deutschens, C.: Produktionsstrukturen für Komponenten künftiger Elektro-fahrzeuge. ATZproduktion 3 (2010) 2, S. 48–53
- Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umset-zung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2014
- VDI: VDI-Richtlinie 5200: Fabrikplanung Planungsvorgehen. 2011
- VDI: VDI-Richtlinie 4499: Digitale Fabrik. 2011
- Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S.: Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer Vieweg 2018
- Zäh, M. F.; Möller, N.; Vogl, W. (Hrsg.): Symbiosis of Changeable and Virtual Production. The Em-peror's New Clothes or Key Factor for Future Success? International Conference on Changeable, Ag-ile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), München. 2005
- Nyhuis, P.; Reinhart, G.; Abele, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten. Garbsen: TEWISS 2008
- Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve P. et al.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunterneh-men. Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 1/2, S. 22–26. Internet: [www.werkstattstechnik.de](http://www.werkstattstechnik.de); Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag
- Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. München: Carl Han-ser Fachbuchverlag 2015
- Reinhart, G.; Berlak, J.; Effert, C. et al.: Wandlungsfähige Fabrikgestaltung. ZWF Zeitschrift für wirt-schaftlichen Fabrikbetrieb 97(2002) 1/2, S. 18–23
- Zäh, M. F.; Sudhoff, W.; Moeller, N. (Hrsg.): Evaluation of mobile production scenarios based on the Real Option Approach. Chemnitz: Vernetzt planen und produzieren (VPP) 2004
- Hernandez Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI Verlag 2002
- Abele, E.; Hohenstein, J.; Pfeiffer, P. et al.: Wandel im PKWAntriebsstrang. Auswirkungen auf zukünf-tige Produktionskonzepte. Maschinenbau und Metallbearbeitung (2009), S. 12–16
- Appel, W.; Brähler, H.; Breuer, S. et al.: Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag 2013

## 1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Schwerlastfrühstück wurde am 25.03.2022 ein Vortrag über eTruckPro abgehalten und die Projektinhalte anschließend mit den anderen Projektteams diskutiert. Der Vortrag umfasste dabei einen Projektüberblick über eTruckPro, die Ziele und Forschungsschwerpunkte des Projekts, die Herausforderungen des LKW-Herstellers MAN Truck & Bus, den Lösungsansatz in Form flexibler und wandlungsfähiger Montagen sowie den Modellierungsansatz und das Vorgehen mittels Makro- und Mikro-simulation in "eTruckPro".

Der Austausch bestand darin, die anderen Projekte zu diskutieren, wobei die Treffen im Rahmen des Schwerlastfrühstücks monatlich stattfanden, an welchen sich das Projektteam von eTruckPro regelmäßig vertreten war.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Unternehmen Fraunhofer und dem Unternehmen Ipolog konzentrierte sich auf die Optimierung der Montageprozesse für ausgewählte Fokusbereiche. Ipolog bot eine innovative Software-Lösung an, die es ermöglichte, Montagen digital zu planen. Angesichts der steigenden Variantenvielfalt und der damit verbundenen Komplexität in der Montageplanung war eine flexible und effiziente Lösung dringend erforderlich. Mit Ipolog konnten Montagelinien intuitiv und flexibel geplant werden, wobei der Layout-Editor und Drag & Drop-Funktionen eine einfache Gestaltung ermöglichten. Die Software ermöglichte auch die Berechnung optimaler Wege für Montagemitarbeiter und die Visualisierung des Taktablaufs in 3D. Dies trug dazu bei, Ressourcen und Mitarbeiter effizienter einzusetzen und Leerlaufzeiten zu vermeiden.

Fraunhofer brachte seine Expertise in der Analyse und Optimierung von Produktionsprozessen ein, insbesondere im Bereich der LKW-Montage. Sie stellten sich der Herausforderung einer hohen Anzahl verschiedener LKW-Typen und setzten auf eine Lösungsstrategie, die die Eingruppierung in Typenvertreter vorsah. Durch die Analyse von IST-Produktionsdaten wurde die Mengenverteilung pro Typenvertreter für ein Jahr hochgerechnet. Die Montagesystemplanung erfolgte auf Bandstrukturebene, wobei Einzelmontageprozesse in Montagemodule gruppiert wurden. Dabei wurden Einbaupositionen und der durchschnittliche Personalbedarf zwischen den verschiedenen LKW-Typen berücksichtigt. Die IST-Daten aus der Produktion, einschließlich der Montagezeiten der Bauteile, wurden ausgewertet und gewichtet. Die Zuordnung der Montagezeiten pro Takt und Typenvertreter erfolgte nach geschätztem Zeitbedarf.

Diese Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer und Ipolog vereinte das Know-how in der Softwareentwicklung und der Montageplanung, um den Unternehmen in der Fertigungsindustrie innovative Lösungen zur Verfügung zu stellen, die ihnen halfen, ihre Montageprozesse effizienter und flexibler zu gestalten und gleichzeitig Kosten zu reduzieren.

## 2. Eingehende Darstellung

### 2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Tabelle 2.1: Verwendung Teilvorhaben Konsortialführer MAN Truck & Bus SE

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
--------------------	--------------------



Integrationskonzept für elektrifizierte Lkws das bestehende Strukturen bestmöglich nutzt und den Investitionsbedarf minimiert.	Es wurden die für die Integration der elektrischen Lkws relevanten Takte identifiziert und entsprechend konzipiert.
Konzeption von modularen Montagestationen mit adaptiven Montageassistenzsystemen.	Speziell Montagestationen für elektrifizierte Lkws wurden identifiziert und verschiedene Konzepte für Montageassistenzsystemen wurden erprobt und in mehreren Piloten umgesetzt.
Erstellung eines Leitfadens für die Integration von elektrifizierten Lkws in bestehende Produktionslinien.	Die während der Erarbeitung der Integrationskonzepte und modularen Montagestationen erfolgreich eingesetzten Methoden wurden in einem Leitfaden zusammengeführt.
Entwicklung und Validierung von Simulationsmodellen zur Bewertung der Integrationskonzepte auf Linien und Arbeitsplatzebene	Es wurde ein Makromodell für die simulative Bewertung der Integrationskonzepte in die Montagelinien erarbeitet, sowie ein Mikromodell zur Bewertung der relevanten Takte (Fokustakte)
Konzeption eines modularen Batteriegehäusekonzepts zur Erfüllung zukünftiger Anforderungen	Auf Basis der Vorgaben von MAN entwickelte Elring Klinger ein Batteriegehäuse, dass sich auf verschiedene Batteriegrößen der Zukunft Modular anpassen lässt. Das Batteriegehäuse wurde prototypisch umgesetzt.

**Tabelle 2.2: Verwendung Teilvorhaben Fraunhofer IGCV**

<b>Geplantes Ergebnis</b>	<b>Erzieltes Ergebnis</b>
Entwicklung einer wissensbasierten Methode zur Analyse des technologie- und montagespezifischen Adaptionsbedarfs für die Integration von Elektrofahrzeugen in ein bestehendes Produktionssysteme.	Es wurden die essenziellen Grundlagen für die geometrische und produktionstechnische Datenerfassung und -analyse gebildet mittels Datentabellen und Laserscans sowie durch Literaturrecherchen erste Gestaltungsvorschlägen für eine symbiotische Montagestrukturen erarbeitet und geeignete Simulationswerkzeuge für die digitale Absicherung der zukünftigen Montagestruktur festgelegt.
Entwicklung eines adaptierten Montagekonzeptes zur Herstellung von konventionellen und elektrischen LKW auf einer bestehenden Montagelinie.	Mittels gemeinsamer Workshops zwischen MAN und IGCV wurden Montagevorranggraphen für elektrische und konventionelle LKW erstellt. Es fand eine Clusterung der zahlreichen LKW-Typen zu bauähnlichen übergeordneten Typenvertretern statt und es wurde festgelegt, welche Cluster zukünftig mit elektrischem Antrieb ausgestattet werden sollen und welche das Produktportfolio verlassen.
Entwickelte Montagekonzepte mittels physischer und virtueller Komponenten als Demonstrator abbilden.	Es wurde eine integrierte Demonstratorplattform in Form eines Fabrikplanungstisches sowie eines adaptiven Montagearbeitsplatzes (Montagedemonstrator) aufgebaut und innovative Ansätze in der Fabrikplanung und der Montageassistenz entwickelt.
Entwicklung eines adaptiven Montageassistenzsystems, um digitale Arbeitsanweisungen, die sich aus veränderten Produktstrukturen ergeben, aufwandsarm zu generieren und diese	Es wurde ein adaptives Montageassistenzsystem für die PowerPack-Vormontage am Montagedemonstrator entwickelt, die Leistungsfähigkeit verschiedener kognitiver Assistenzsysteme getestet und eine Methode zur aufwandarmen Konfiguration für verschiedene Anwendungsfälle entwickelt.

den Mitarbeitern der Montage über Smart Devices bereitzustellen.	
Entwicklung eines Produktionskonzepts mit <i>ElringKlinger</i> und <i>MAN</i> hinsichtlich einer zunehmenden Flexibilität in der vorgelagerten Batteriemodulfertigung, um innerhalb der Wertschöpfungskette schneller auf Veränderungen in der Produktgeometrie und im Produktmix reagieren zu können.	Durch Integration und Erprobung verschiedener Logistikkonzepte im Simulationsmodell, insbesondere der Just-in-Sequence (JIS) Lieferung von Batterien durch ElringKlinger an die Montagelinie in Zusammenarbeit mit Hörmann Rawema, wurde eine flexible und anpassungsfähige Wertschöpfungskette für die Batteriemodulfertigung geschaffen.
Integration der entwickelten Lösungen aus AP 2 bis 5 in ein wandlungsfähiges Gesamtkonzept, so dass die Fahrzeuge im kostenoptimalen Betriebspunkt produziert werden.	Es wurde ein simulationsgestütztes Vorgehen entwickelt, um kosteneffiziente Transformationsstrategien für Nutzfahrzeugmontagesysteme zu konzipieren, wobei verschiedene Ansätze für die Hybridisierung von Montagesystemen für elektrische und konventionelle Nutzfahrzeuge simuliert und bewertet wurden. Zudem wurde ein Unterstützungssystem zur Konfiguration kognitiver Assistenzsysteme gestaltet und die Untersuchung von Integrationskosten und Umstellungszeiten in der manuellen Montage zur Sicherstellung einer effizienten Implementierung durchgeführt.
Projektbegleitende Zusammenfassung von Gestaltungsmaßnahmen und -hemmnissen zur kostengünstigen Herstellung von elektrifizierten LKW.	Es wurde eine Zusammenfassung von praxisrelevanten Maßnahmen und Herausforderungen für die kosteneffiziente Herstellung von elektrischen LKW in der Montage erarbeitet und die Erkenntnisse zu deren montagegerechten Entwicklung gewonnen. Darunter waren die Methodik zur Integration elektrischer LKW auf bestehenden Linien sowie Gestaltungshemmnisse am Band, an Anstellflächen und angrenzenden Vormontagelinien.
Koordination des Projektes und dem Wissenstransfer der gewonnenen Erkenntnisse an die Öffentlichkeit.	Unterstützende Koordination des Projektes u.a. beim Projektmanagement. Umfassender Wissens- und Erkenntnistransfer der gewonnenen Erkenntnisse an die Öffentlichkeit bspw. mittels Veröffentlichungen, wie im Kapitel 2.6 aufgeführt.

Tabelle 2.3: Verwendung Teilvorhaben ElringKlinger AG

<b>Geplantes Ergebnis</b>	<b>Erzieltes Ergebnis</b>
Anforderungen an Batteriespeicher in der Nutzfahrzeugindustrie.	Besseres Verständnis für die Anforderungen an Batteriespeicher in der Nutzfahrzeugindustrie. Übersicht der Anforderungen MAN. Lastenheftanforderungen
Welche Bauräume für Batteriespeicher ergeben sich im Nutzfahrzeugbereich?	Es wurden verschiedenen Bauräume im Nutzfahrzeugbereich identifiziert und nach Nutzungsmöglichkeiten untersucht. Übersicht und Verständnis für die Bauräume.
Welche flexiblen Batteriespeicher-Lösungen lassen sich im Rahmen der Bauräume umsetzen?	Flexible Designlösung unter Einhaltung der Anforderung
Welche einfachen Fertigungstechnologie ermöglicht es uns die Anforderungen umzusetzen.	Auswahl von Fertigungstechnologien für den flexiblen Einsatz.
Erfahrungen aus der Prototypenfertigung	Sammlung von wertvollen Erfahrungen und Einbindung in das Design.

Industrialisierung	Industrialisierungskonzept für die flexible Fertigung.
--------------------	--

**Tabelle 2.4: Verwendung Teilvorhaben Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH**

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
Abweichungen zwischen elektrischen und konv. LKW	Montagevorranggraph ICE/BEV Montagezeit ICE/BEV
Simulationsmodell für die Mix-Produktion	3D-Modell zur Simulation der zahlreichen Produktionsszenarien
Flexibilisierung der Batteriemodulfertigung	Abbildung des Supply Chains zur Batterieversorgung (inkl. Batteriefertigung, Extern-Transport, Intern-Vormontage bis Versorgung an der Montagelinie)
Datenbank zur Ermittlung der Herstellkosten	Erstellung der Inputdatenbasis zur Definition der Produktionsszenarien / Kostenfaktor / technischen Daten
Erstellung der Innovationsplattform	Flexible Erweiterung des Modells „Digitaler Zwilling“: Datenaustauschen zwischen Datenbank und Modell

## 2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen der Projektbeantragung wurden vom Konsortialführer **MAN Truck & Bus** 1.021.620€ an Personalkosten in Form von Gehältern als Bedarf gemeldet und genehmigt. Inhaltlich stehen hinter dieser Kostenposition die Inhalte der Arbeitspakete. Zum Zeitpunkt der Beantragung war die Annahme, dass batterieelektrische Lkws erheblichen Neuentwicklungsaufwand erfordern, nicht nur bei Komponenten mit direkt Bezug zum Antriebsstrang sondern generell bei allen Komponenten des Fahrzeugs. Diese Annahme hat sich im Verlauf des Projekts jedoch nicht bestätigt, d.h. es war möglich einen großen Umfang des konventionell angetriebenen Lkws zu übernehmen, und die Änderungen lediglich auf den Antriebsstrang zu konzentrieren. Des Weiteren hatte die Corona-Pandemie die Möglichkeiten der Zusammenarbeit stark eingeschränkt, was letztendlich zu einer weiteren Reduzierung des Personalaufwands führte. Daher ist der Aufwand mit 201.922€ deutlich geringer ausgefallen.

Auch die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten sind aus demselben Grund deutlich geringer ausgefallen. Beantragt wurden 199.251€, aufgewendet 10.746€. Inhaltlich hatte es sich um Aufwände für Mitarbeiter der AutoVision GmbH gehandelt, die als Arbeitnehmerüberlassung für das Projekt arbeiten sollten.

Beim **Fraunhofer IGCV** entstanden Abweichungen zu Kostenpositionen. Diese Abweichungen wurden durch einen Antrag auf Umwidmung von Projektmitteln, am 19.08.2022 korrigiert. Konkret wurde die Umwidmung von nicht benötigten Sachkosten (ca. 12.000,00 EUR) und Investitionskosten (ca. 18.000,00 EUR) in Höhe von insgesamt 30.000,00 EUR auf Personalmittel beantragt. Zusammengefasst führten die Corona-Maßnahmen zu Verzögerungen aufgrund der Einschränkungen bei der Kommunikation zwischen den Projektpartnern und dem Wechsel auf Remote-Lösungen. Dieser Prozess erforderte erhöhte Personalkapazitäten. Aufgrund der Kontaktbeschränkungen wurden jedoch verplante Sach- und Investmittel für Reisen, Material und Investitionen in Höhe von 30.000,00 € eingespart, die kostenneutral umgewidmet wurden.

Im Rahmen des Projekts wurden von der **ElringKlinger AG** 2 Mittelumwidmungen beantragte. Zum einen sind Fremdleistungen in Höhe von 45.000€ im F&E Bereich erforderlich gewesen die auf Grund von Corona und dadurch erhöhten Krankstand nicht mit den stark limitierten eigenen Ressourcen umgesetzt werden konnten. Zum anderen sind Mittel in Höhe von 15.000€ zur Erstellung von Mustergehäusen erforderlich gewesen, um den praktikablen und flexiblen Ansatz im Herstellungsprozess besser zu verstellen.

Die avisierten Volumina konnte von **Hörmann Rawema Engineering & Consulting** mit Verzögerung ausgeschöpft werden. Lediglich die benötigte Umwidmung von Mitteln für Lizenzen in Arbeitsstunden wurde durch erhöhten Abstimmungsbedarf über die Projektlaufzeit kompensiert.

### 2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Konsortialführer MAN Truck & Bus SE:

Der wesentliche Beitrag des Forschungsprojekts bestand vor allem darin, die Veränderungen und Herausforderungen durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs mit neuen Methoden bereits in einer sehr frühen Phase der Produktentwicklung zu bewerten und damit auf eine investitionsarme Umsetzung in kurzer Zeit hinzuwirken. Ohne die Förderung und die Integration von Industrie- und Forschungspartner zu einem Konsortium wären die entsprechenden Aufwände zur Industrialisierung deutlich höher gewesen und damit auch die Umsetzungsdauer länger. Durch die Bewertung in der frühen Entwicklungsphase konnte auf Basis fundierten Prozesssimulationen die Auswirkungen der Produktkonzepte bewertet werden und hohe Aufwände und Probleme aufgezeigt werden. Diese wurden dann im Rahmen der weiteren Ausarbeitung der Konzepte berücksichtigt und durch Anpassung der Konzepte reduziert. Des Weiteren wurde früh identifiziert, wo Werkerassistenzsysteme notwendig sind. Diese können dann bereits mit Produktionsstart der elektrifizierten Lkws zum Einsatz kommen. Ohne das Projekt wären die Aufwände und der Assistenzbedarf erst später im Projekt entdeckt worden und hätten somit kaum noch beeinflusst werden können, was zu entsprechend höheren Aufwänden geführt hätte. Außerdem wurden Kompetenzen im Zusammenhang mit Simulationswerkzeugen, Werkerassistenzsystemen und Bewertungsmethoden aufgebaut, die sich ohne das Forschungsprojekt nicht entwickelt hätten.

Die notwendigen Mittel zur Bearbeitung des Vorhabens bei MAN wurden vor Vorhabensbeginn zu hoch eingeschätzt. Die Konzeption des elektrifizierten Lkws war zu diesem Zeitpunkt noch in einem sehr groben Konzeptstadium, so dass davon ausgegangen wurde, dass der Anpassungsbedarf in den Montagelinie erheblich sein würde. Im weiteren Verlauf der Produktentwicklung wurden jedoch aufgrund der Analyseergebnisse von eTruckPro Lösungen gefunden, die mit deutlich geringerem Aufwand integriert werden können. Daher konnten wir bei vielen Fragestellungen auf bereits existierende Analysen zurückgreifen bzw. konnten diese mit geringem Aufwand auf den benötigten Bedarf anpassen. Zusätzlich fiel der Aufwand zur Bearbeitung bei diversen Themen tatsächlich wesentlich geringer aus, als bei der Antragsstellung abgeschätzt.

Des Weiteren gestaltete sich Pandemie-bedingt die Arbeitsweise im Projekt derart, dass zum Einen beabsichtigte Workshops in viel kleinerem Rahmen stattfanden oder auf mehrtägige Reisen für das Projekt ganz verzichtet werden musste.

Die komplexe Unternehmensstruktur mit einer Vielzahl einzubeziehenden Mitarbeitern führt zusätzlich dazu, dass nicht alle geleisteten Arbeitsstunden auch zur Abrechnung gebracht werden können, da der organisatorische Aufwand nicht leistbar ist.

#### Teilvorhaben Fraunhofer IGCV:

Für das Fraunhofer IGCV erforderte die Entwicklung von modularen Montagestationen mit implementierter AR/VR-Anwendung und deren Piloterprobung einen hohen Entwicklungsaufwand, der mit einem erheblichen technischen und finanziellen Risiko verbunden war. Durch die Reduktion des Konfigurationsaufwands kognitiver Assistenzsysteme wurden entscheidende Faktoren abgebaut, die gegen den steigenden Einsatz von IT-Systemen in der manuellen Montage standen. Die in eTruckPro geleisteten Arbeiten können mittel- bis langfristig zu einem steigenden Einsatz von kognitiven Assistenzsystemen in der manuellen Montage führen. Die entwickelte Methode zur aufwandsarmen Konfiguration kognitiver Assistenzsysteme wird am Fraunhofer IGCV in der Lernfabrik für vernetzte Produktion (LVP) über das Projektende hinaus gelehrt. Des Weiteren steht das entwickelte Softwaresystem und der digitale Montagetisch in der LVP für interessierte Unternehmen sowie der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Durch die Einbeziehung bestehender Infrastruktur, insbesondere im Bereich der Demonstrationsplattform, brachte das Fraunhofer IGCV eigene Mittel in das Projekt ein, sodass eine Förderung für Sachmittel lediglich für die projektspezifische technische Umsetzung anfiel. Eine eigenfinanzierte Ermittlung von Adaptionsbedarfen oder der Entwicklung von Integrationsmethoden wäre darüber hinaus ohne den konkreten Anwendungsfall der MAN Truck & Bus nicht zielführend gewesen.

Durch den Aufbau des softwarebasierten „Mikro-Simulationsmodells“ konnten Arbeitsplätze konzipiert und hinsichtlich der Arbeitsumfänge, Layout und Laufwegen bewertet werden, um sie zu optimieren. Die im Rahmen der Einführung von elektrischen LKW neuen Arbeitsumfänge für die Arbeitsplätze konnten somit zusammen mit dem Anwender MAN konzipiert werden. Die Erhebung der erforderlichen Daten aus der Produktion, die für eine Nutzung digitaler Softwaretools zwingend benötigt werden, hätte ohne staatliche Förderung nicht durchgeführt werden können. Bei Projektbeginn hat kein entsprechendes Vorgehen hierfür existiert und aufgrund der Komplexität der Daten und deren sehr aufwändige Strukturierung waren sehr hohe zeitliche und finanzielle Aufwände notwendig.

Gleichermaßen wäre die in eTruckPro entwickelte simulationsgestützte Vorgehensweise zur Einführung einer Mischproduktion mit elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen in bestehenden Montagelinien ohne die finanzielle Zuwendung und ohne Projektkonsortium nicht möglich gewesen. Dank der Bereitstellung der Fördermittel trägt das Vorgehen nun dazu bei, die industrielle Produktion im Kontext der Elektromobilität effizienter, flexibler und nachhaltiger zu gestalten.

Ohne staatliche Förderung durch das BMWi hätte dieses Vorhaben beim Fraunhofer IGCV nicht durchgeführt werden können. Fördermittel aus anderen Programmen oder dem EU-Forschungsrahmenprogramm standen nicht zur Verfügung. Am Fraunhofer IGCV ist die langfristige Fortführung der erarbeiteten Grundlagen im Bereich der Umgestaltung bestehender Montagesysteme für elektrische Nutzfahrzeuge in Anschlussprojekten vorgesehen.

#### Teilvorhaben ElringKlinger AG:

Ziel des Projekts war es eine flexible Wertschöpfungskette für die Batteriemodulfertigung zu entwickeln, um schneller auf Veränderungen in der Produktgeometrie reagieren zu können. Hier zeigte sich in den ersten Arbeitsschritten auf Grund der sehr groben ursprünglichen Abschätzung, worauf der Fo-

kus im Projekt gelegt werden muss. Damit verbunden sind deutlich geringere Aufwendungen gegenüber der ursprünglichen Abschätzung des Projekts. Einher erfolgte dies auch mit der Abschätzung unseres Konsortialführers MAN, der von einem größeren Anpassungsbedarf ausgegangen war.

Die erforderlichen Mittel waren sehr wesentlich, um gemeinsam mit MAN eine tiefgreifende Analyse der Geometrie und Bauräume durchführen zu können. Die Ergebnisse daraus gaben uns ein gutes Verständnis für die Anforderung. Erst dadurch gelang es uns flexible und skalierbare Lösungen zu erarbeiten.

Auf Grund der rasanten Entwicklung im Bereich der Batterietechnologie und der damit verbunden hohen Entwicklungskosten, ist es immens wichtig dort auch schnelle und Kostenoptimierte Lösungen anzubieten. Wir können daher auf Grund sehr ähnlicher Anforderungen im Nutzfahrzeugbereich dort schneller und flexiblere Lösungen erarbeiten. Dabei ist es für uns von immensem Vorteil ein tiefes Verständnis für die Anforderungen und Abläufe eines Nutzfahrzeugherstellers zu bekommen.

Im Rahmen der praktischen Umsetzung der beiden Prototypen konnten auch erste Erfahrungen mit den ausgewählten Fertigungstechnologien unter Einhaltung der Bauteilgeometrie gesammelt werden. Wichtig ist dies vor allem da sehr einfache Technologien gewählt wurden, um dem flexiblen Ansatz zu gewährleisten.

Hervorzuheben bleibt dabei das man sich gezielt auf ein Design mit einer Fertigungslosgröße kleiner 1000 Batteriespeicher pro Jahr konzentriert hat. Hier ist vor allem in der Nutzfahrzeugindustrie ein sehr großer Bedarf zu sehen da sehr individuelle Lösungen am Markt gefragt sind.

Des Weiteren bittet sich ein weiterer großer Vorteil da auch in dem Design und Prototypenphase sehr schnell, flexibel und mit großen Kostenvorteilen Batteriespeichergehäuse hergestellt werden können. Den wir nun zukünftig für uns nutzen können.

Ohne die Mittel und der direkten Verbindung zum Projektpartner wäre es nicht möglich gewesen dort die verschiedenen Designlösungen zu erarbeiten und durch den Bau der Prototypen die Erfahrungen in die Entwicklung mit einfließen zu lassen. Damit verbunden war ein deutlich schnellerer Aufbau von Kompetenzen möglich.

Teilvorhaben Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH:

Während der Durchführung des Vorhabens konnte Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH sich vertieft um die Möglichkeiten des Supports von Entscheidungsträgern während vergleichbarer Transformationsprozesse wie der Elektrifizierung der Montage von LKW durch Simulation kümmern. Es wurde z.B. im, durch das Projekt entwickelten, Leitfaden auch für andere sich in ähnlichen Situationen befindlichen Unternehmen die Möglichkeit geschaffen, basierend auf Erkenntnissen und Fehlern aus dem Projekt schneller & effizienter diese Transformationsprozesse zu begleiten. Diese Erkenntnisse besitzen auch insofern eine Allgemeingültigkeit z.B. für KMU da es hier nur bezüglich möglicher Skalierung Abweichungen gibt.

Für die Hörmann Rawema Engineering & Consulting war es weiterhin wichtig auch auf der Ebene der Projektpartner und u.a. über die Veröffentlichungen auf allen Seiten Planern & Anwendern die Relevanz der benötigten Datenqualität sowie die Möglichkeiten der daraus resultierenden Modelle & Aussagen aufzuzeigen. Die Förderung ermöglichte es uns im Bereich der Elektrifizierung der Mobilität auch

bei den Mitarbeitern Kompetenzen aufzubauen sowohl die Schlüsselspieler des Wandels der Mobilität z.B. bei den Veranstaltungen wie dem Schwerlastfrühstück des DLR kennenzulernen. Ohne die Förderung wäre zudem die grundlegende Betrachtung der Prozesse, wie sie innerhalb dieses Projektes erfolgte und für eine zielgerichtete lösungsorientierte Bearbeitung notwendig ist, nicht möglich gewesen, da operative Zwänge bei allen Projektbeteiligten dem im Weg stehen.

## 2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

**Tabelle 2.5: Verwertung Teilvorhaben Konsortialführer MAN Truck & Bus SE**

<b>Projektergebnis/ Inhalt</b>	<b>Nutzen/ Verwertung</b>
Integrationskonzept für elektrifizierte Lkws	Das im Rahmen des Projekts erarbeitete Konzept wird aktuell im Werk München umgesetzt.
Konzeption von modularen Montagestationen mit adaptiven Montageassistenzsystemen.	Die bewerteten Montageassistenzsysteme und deren Kombination werden im Rahmen des Aufbaus der Vormontagen im Lieferwerk für die wesentlichen Komponenten aktuell umgesetzt.
Erstellung eines Leitfadens für die Integration von elektrifizierten Lkws in bestehende Produktionslinien.	Die eingesetzten Methoden wurden in einem Leitfaden zusammengeführt und in die Schulungsunterlagen für Mitarbeiter in Entwicklungs- und Industrialisierungsprojekte integriert.
Entwicklung und Validierung von Simulationsmodellen zur Bewertung der Integrationskonzepte auf Linien und Arbeitsplatzebene	Die entwickelten Modelle bilden die Montagelinien bei MAN nach Integration der elektrifizierten Lkw ab. Die Modelle sind damit die Grundlage für die Erarbeitung weiterer Integrationskonzepte für neue Produkte.
Konzeption eines modularen Batteriegehäusekonzepts zur Erfüllung zukünftiger Anforderungen	Das erarbeitete Konzept für ein modulares Batteriegehäuse ist Bestandteil der zukünftiger Entwicklungsprojekte für Batterien.
Identifikation aktueller Limitationen	Ableiten von Folgeprojekten

**Tabelle 2.6: Verwertung Teilvorhaben Fraunhofer IGCV**

<b>Projektergebnis/ Inhalt</b>	<b>Nutzen/ Verwertung</b>
Generelles Vorgehen zur Integration von elektrischen LKW in bestehende Produktionssysteme	Veröffentlichung Digitale Planung symbiotischer Montagesysteme in wt Werkstatttechnik online Ausgabe 03/2020
Generelles Vorgehen einer komplexen fabrikplanerischen Darstellung anhand eines Anwendungsbeispiels	Transfer innerhalb einer Vorlesung an der TU München zur intelligent vernetzten Produktion
Entwicklung und Umsetzung eines Demonstratorkonzepts zur kollaborativen Planung von Montagesystemen	Physische Demonstratorplattform
Aufbau einer eigenen Projekthomepage	<a href="http://www.etruckpro.de">www.etruckpro.de</a>

Vorgehen zur Hybridisierung eines bestehenden Montagesystems mit virtueller Absicherung über Simulationsmodelle	Veröffentlichung von Projektergebnissen über Pressemitteilung des IGCV, zu sehen bei Printmedien wie Konstruktion+Entwicklung <sup>3</sup> , Verkehrsrundschau <sup>4</sup> und Springerprofessional <sup>5</sup>
Virtuelle Absicherung von symbiotischen Montagesystemen	Veröffentlichung Virtuelle Absicherung symbiotischer Montagesysteme in wt Werkstatttechnik online Ausgabe 03/2022
Simulationsgestütztes Vorgehen für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen	Veröffentlichung eines Vorgehens für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen in der wt Werkstatttechnik online Ausgabe 03/2023 <sup>6</sup>

**Tabelle 2.7: Verwertung Teilvorhaben ElringKlinger AG**

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Verständnis für die Anforderung an Batteriespeicher in der Nutzfahrzeugindustrie.	Entwicklung von weiteren Produkten für den Nutzfahrzeugbereich rund um die Batterietechnologie. Bsp.: Zellkontaktiersysteme
Flexible Designlösung	Ideen für die Umsetzung in weiteren Projekten.
Erfahrung Prototypenbau	Einfluss und Optimierung zukünftiger Designs.
Industrialisierungskonzept	Aufbau Prototypencenter für Batteriespeichergehäuse.

**Tabelle 2.8: Verwertung Teilvorhaben Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH**

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Flexible Simulationseinsatz	Unterstützung und Erweiterung für die Folgeprojekte
Datenaustauschen in der Simulation	Entwicklung in der Richtung „Digitaler Zwilling“

## 2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Den Konsortialpartnern sind keine, mit dem Projekt unmittelbar verknüpfbare Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen bekannt geworden.

## 2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 der Nebenbestimmungen

**Tabelle 2.9: Veröffentlichungen Teilvorhaben Konsortialführer MAN Truck & Bus SE**

Titel	Datum	Ort (Zeitungsname, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Hybridisierung bestehender Montagesysteme	03/2023	WT WERKSTATTS-TECHNIK BD. 113 (2023) NR. 3	Infolge verschärfter Klimaziele stehen Hersteller von Nutzfahrzeugen vor der Herausforderung, neben dem bestehenden Portfolio zusätzlich elektrisch angetriebene Fahrzeuge zu produzieren. Aufgrund der

<sup>3</sup> <https://www.konstruktion-entwicklung.de/hybride-montage-fuer-lkw-mit-diesel-oder-e-antrieb>

<sup>4</sup> <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/nfz-fuhrpark/wenn-elektro-lkw-virtuell-vom-band-rollen-2969169>

<sup>5</sup> <https://www.springerprofessional.de/automobilproduktion/nutzfahrzeuge/fraunhofer-forscht-mit-man-an-hybrider-produktion-von-lkw/19385234>

<sup>6</sup> VDI wt Werkstatttechnik online: DOI:10.37544/1436-4980-2023-03-35



			ungewissen Nachfrage gilt eine Mischproduktion verschiedener Antriebsarten als wirtschaftliche Lösung. Um bestehende Montagelinien dafür zu befähigen, wird ein simulationsgestütztes Vorgehensmodell vorgestellt, welches die Planungsdauer und -kosten für hybride Montagesysteme reduzieren soll.
Virtuelle Absicherung von symbiotischen Montagesystemen	03/2022	VDI wt Werkstattstechnik online, DOI: 10.37544/1436-4980-2022-03-6	Veröffentlichung Virtuelle Absicherung symbiotischer Montagesysteme in wt Werkstattstechnik online Ausgabe 03/2022

Tabelle 2.10: Veröffentlichungen Teilvorhaben Fraunhofer IGCV

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Generelles Vorgehen zur Integration von elektrischen LKW in bestehende Produktionssysteme	2020	VDI wt Werkstattstechnik online, DOI 10.37544/1436-4980-2020-03-35	Veröffentlichung Digitale Planung symbiotischer Montagesysteme in wt Werkstattstechnik online Ausgabe 03/2020
Vorgehen zur Hybridisierung eines bestehenden Montagesystems mit virtueller Absicherung über Simulationsmodelle	2021	Online abrufbar unter: <a href="https://www.konstruktion-entwicklung.de/hybride-montage-fuer-lkw-mit-diesel-oder-e-antrieb">https://www.konstruktion-entwicklung.de/hybride-montage-fuer-lkw-mit-diesel-oder-e-antrieb</a> <a href="https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/nfz-fuhrpark/wenn-elektro-lkw-virtuell-vom-band-rollen-2969169">https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/nfz-fuhrpark/wenn-elektro-lkw-virtuell-vom-band-rollen-2969169</a> <a href="https://www.springerprofessional.de/automobilproduktion/nutzfahrzeuge/fraunhofer-forscht-mit-man-anhybrider-produktion-von-lkw/19385234">https://www.springerprofessional.de/automobilproduktion/nutzfahrzeuge/fraunhofer-forscht-mit-man-anhybrider-produktion-von-lkw/19385234</a>	Veröffentlichung von Projektergebnissen über Pressemeldung des IGCV, zu sehen bei Printmedien wie Konstruktion + Entwicklung, Verkehrsrundschau und Springerprofessional
Virtuelle Absicherung von symbiotischen Montagesystemen	2022	VDI wt Werkstattstechnik online, DOI: 10.37544/1436-4980-2022-03-6	Veröffentlichung Virtuelle Absicherung symbiotischer Montagesysteme in wt Werkstattstechnik online Ausgabe 03/2022
Simulationsgestütztes Vorgehen für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen	2023	VDI wt Werkstattstechnik online, DOI:10.37544/1436-4980-2023-03-35	Veröffentlichung eines Vorgehens für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen in der wt Werkstattstechnik online Ausgabe 03/2023

Tabelle 2.11: Veröffentlichungen Teilvorhaben ErlingKlinger AG

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
keine			

Tabelle 2.12: Veröffentlichungen Teilvorhaben Hörmann Rawema Engineering &amp; Consulting GmbH

Titel	Datum	Ort	Inhalt (kurz)
-------	-------	-----	---------------

		(Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	
Simulations-gestütztes Vorgehen für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen	2023	VDI wt Werkstattstechnik online, DOI:10.37544/1436-4980-2023-03-35	Veröffentlichung eines Vorgehens für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen in der wt Werkstattstechnik online Ausgabe 03/2023

## Literatur

- Abele, E.; Reinhart, G. (2011).: *Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen*. In: Carl Hanser Fachbuchverlag.
- Bundesregierung (2019): *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. Unter Mitarbeit von Bundesregierung. Berlin.
- Europäische Kommission (2019): *Saubere Mobilität: Schluss mit umweltschädigenden Lastkraftwagen* (online). [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-19-1071\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1071_de.htm) (Abgerufen, 14.11.2023).
- Kampker, A. (2014): *Elektromobilproduktion*. In: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kampker, A; Burggräf, P.; Deutskens, C. (2010): *Produktionsstrukturen für Komponenten künftiger Elektrofahrzeuge*. In: ATZ Produktion, Jahrgang 03 (2010), Ausgabe 02, S. 48-53.
- Piller, F. T.; Stotko, C. M. (2003): *Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zum innovativen Produkt*. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion-Verl.
- Porter, M. E. (1999): *Wettbewerbsstrategie. Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten = (Competitive strategy)*. 10., durchges. und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Campus-Verl.
- Röhrig, M. (2002): *Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen*. Dissertation Universität Hannover.
- VDA (2019): *Die Nutzfahrzeug-Branche im Überblick*. Berlin. (online), <https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie-und-maerkte/markt-nutzfahrzeuge-anhaenger-aufbauten-und-busse/die-nutzfahrzeug-branche-im-ueberblick.html> (Abgerufen, 14.11.2023).
- UBA (2023): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#rolle> (Abgerufen, 14.11.2023); <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> (Abgerufen, 14.11.2023).
- destatis (2023): [https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2\\_Strassenverkehr.html](https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Strassenverkehr.html) (Abgerufen, 14.11.2023).