Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35

Simulationsgestütztes Vorgehen für eine Mischproduktion mit elektrischen Nutzfahrzeugen

Hybridisierung bestehender Montagesysteme

D. Ott, B. Voringer, F. Brungs, B. Bielefeld, F. Bermpohl

Infolge verschärfter Klimaziele stehen Hersteller von Nutzfahrzeugen vor der Herausforderung, neben dem bestehenden Portfolio zusätzlich elektrisch angetriebene Fahrzeuge zu produzieren. Aufgrund der 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.

STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Simulation, Fahrzeugbau

Hybridization of existing assembly systems – Simulation-based method for mixed production with electric trucks

Due to climate goals, manufacturers of commercial vehicles are facing the challenge of manufacturing electric vehicles in addition to their existing portfolio. As a result of uncertain demand, a mixed production of different drive types is considered an economical solution. To enable existing assembly lines, this paper presents a simulation-based process model to reduce the planning period and costs for hybrid assembly systems.

1 Einführung

Die weltweiten Treibhausgasemissionen steigen seit Jahren stark an [1]. Wurden im Jahr 1995 noch 23 Milliarden Tonnen CO_2 ausgestoßen, waren es 2020 bereits 35 Milliarden Tonnen [2]. Die Transportindustrie verursacht mit circa 8 Milliarden Tonnen weltweit ausgestoßenem CO_2 pro Jahr einen Anteil von knapp 22 % [3]. Die Europäische Union hat im „European Green Deal“ das Ziel definiert, bis 2050 klimaneutral zu werden [4]. Die Bundesrepublik Deutschland setzt sich im Bundes-Klimaschutzgesetz noch ehrgeizigere Ziele. Im Vergleich zu 1990 soll eine Reduktion von CO_2-Äquivalenten (Treibhausgasen) um 65 % bis 2030, um 88 % bis 2040 und die Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden [5].

Einen wichtigen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele kann die klimafreundliche Wandlung des Verkehrssektors leisten, der mit 148 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten der drittgrößte Emittent Deutschlands ist [6]. Der Gütertransport, welcher mit 30 % zweitgrößter Emittent von CO_2 im Verkehrsbereich ist [7], wird durch straßenbasierte Nutzfahrzeuge (NFZ), mit einem Anteil von 73 %, dominiert [8]. Um diese Emissionen zu reduzieren, gelten batterie- und H_2-elektrische Nutzfahrzeuge (eNFZ) als vielversprechende Lösung. Es wird prognostiziert, dass der Bedarf an Batterien für eNFZ von 2019 bis 2030 um den Faktor 18 steigen wird (**Bild 1**, [9]).

Die Absatzprognosen für eNFZ unterliegen großen Unsicherheiten. Für NFZ-Hersteller ist schwer abzusehen, wie sich die Nachfrage zukünftiger Antriebsarten entwickeln wird. Um wirtschaftliche Risiken zu reduzieren, kann in der Übergangsphase die Befähigung von Montagesysteme für die parallele Produktion zweier Fahrzeugvarianten (konventionell und elektrisch) eine sinnvolle Lösung sein [10]. Bislang fehlt den Herstellern jedoch eine konkrete Vorgehensweise, wie eine solche Umgestaltung zu Mischproduktionen erfolgen kann.

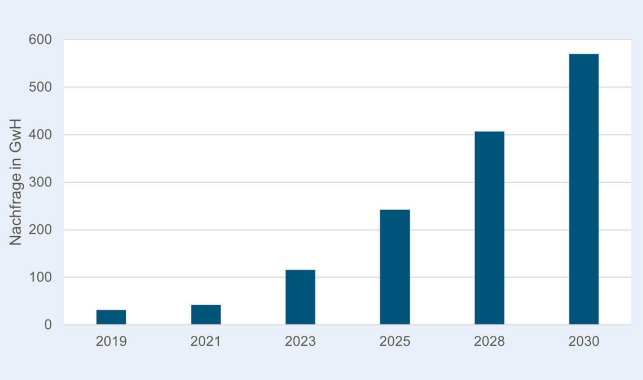

Bild 1. Prognostizierte weltweite Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien in der NFZ (Nutzfahrzeug)-Branche. *Grafik: eigene Darstellung nach [9]*

2 Grundlagen

Produktionssysteme für NFZ weisen gegenüber der Serienproduktion von PKW mehrere Unterschiede auf. Zum einen sind das Absatzvolumen und die Verkaufsmargen deutlich geringer, was investitionsintensive Vorhaben ausschließt [11]. Aufgrund der unsicheren Nachfrageentwicklung nach elektrischen Antrieben gilt daher die Investition in separate Produktionslinien für eNFZ meist als zu hohes wirtschaftliches Risiko. Zum anderen ist

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

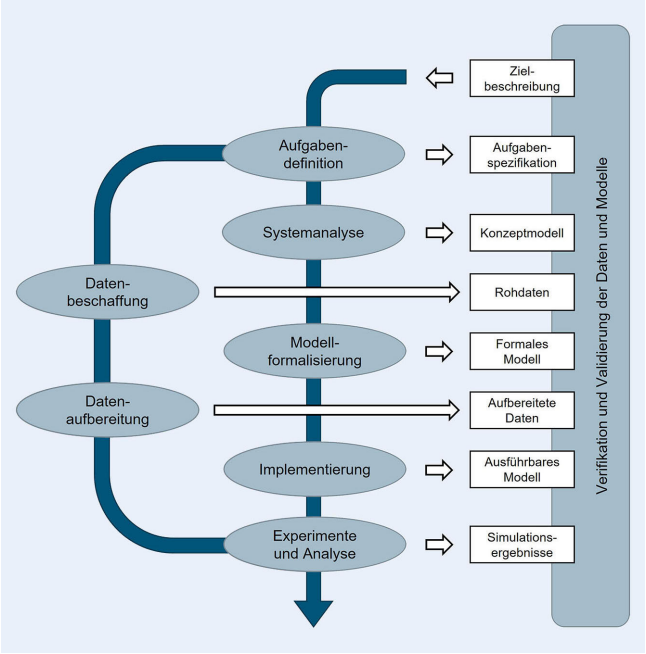

Bild 2. Vorgehensweise bei der Erstellung einer Simulationsstudie.
Grafik: eigene Darstellung nach [12]

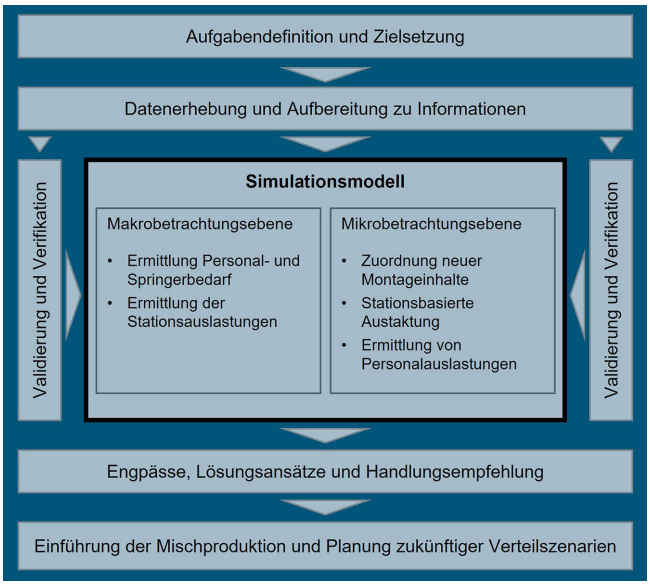

Bild 3. Vorgehensweise zur Einführung einer Mischproduktion mit eNFZ.
Grafik: Fraunhofer IGCV

die Variantenvielfalt bei NFZ deutlich größer als beim PKW. Die Fahrzeugtypen unterscheiden sich in Achsanzahl, Ausführung der Federung, Fahrzeuglänge und Anzahl gewünschter Nebenantriebe. Folglich treten größere Schwankungen bei Montageinhalten auf. Dies erfordert den verstärkten Einsatz von Montagepersonal, wohingegen automatisierte Montagevorgänge, etwa mit Industrierobotern, kaum eine Rolle spielen.

Produktionssysteme mit hoher Variantenvielfalt weisen aufgrund ihrer hohen Anzahl an Einflussfaktoren, Restriktionen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Montageschritten eine große Komplexität auf. Eine exakte analytische Lösung einzelner Planungsprobleme ist daher nur schwer möglich, weshalb die Verwendung von Simulationsmodellen in diesen Fällen von Vorteil ist. Eine allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung von Simulationsstudien wird in der VDI-Richtlinie 3633 beschrieben (**Bild 2**) [12]. Diese Richtlinie sowie erste in [13] beschriebene Grundlagen bilden die Basis für die Vorgehensweise zur simulationsgestützten Umgestaltung bestehender Montagelinien.

Um das Know-how optimal zu nutzen, das in Simulation und Modellbildung gesteckt wird, soll die Vorgehensweise nicht nur in einer frühen Planungsphase eingesetzt, sondern auch langfristig genutzt werden. Entsprechend flexibel ausgelegte Modelle können helfen, zukünftige Anpassungsmaßnahmen an Mischproduktionen vorzeitig zu planen und zu bewerten. Auch bieten solche Systeme die Möglichkeit, über Standardschnittstellen weitergehende Funktionen, wie einen digitalen Zwilling, zu realisieren.

3 Vorgehensweise zur Einführung einer Mischproduktion

Die Umstellung einer bestehenden Montagelinie auf eine Mischproduktion mit eNFZ erfordert einen erheblichen Eingriff in das Gesamtsystem, da eine Vielzahl an neu hinzukommenden Montageinhalten berücksichtigt sowie Änderungen an den Logistikprozessen durchgeführt werden müssen. Um die Komplexität, Dauer und Kosten solcher Planungsvorhaben zu verringern, wurde eine simulationsgestützte Vorgehensweise zur Einführung einer Mischproduktion mit eNFZ entwickelt (**Bild 3**).

Die Vorgehensweise beginnt mit der Phase der Aufgabendefinition und Zielsetzung. Dabei wird abgeschätzt in welchen Bereichen der Montagelinie Änderungen durch die Integration der eNFZ erwartet und genauer untersucht werden sollen. Hinzukommende oder wegfallende Montageinhalte beeinflussen vor allem die Personaleinsatz- und Materialbereitstellungsplanung. Um die Auswirkungen der Änderungen bewerten zu können, sind erwartete Variantenverteilungsszenarien aus NFZ und eNFZ in der Hochlaufphase festzulegen und geeignete Bewertungskennzahlen, etwa für Auslastung und Personenbedarf, zu definieren. Zudem ist zu entscheiden, in welchem Detaillierungsgrad die Montagelinie simulativ nachgebildet werden soll, um darauf basierend die Simulationssoftware auszuwählen.

Anschließend werden Daten erhoben und die nötigen Informationen aufbereitet. Als tiefste Betrachtungsebene bieten sich aus mehreren Elementartätigkeiten zusammengefasste Arbeitsvorgänge (AVOs) an [14]. Benötigt werden sowohl alle AVOs der konventionellen NFZ-Typen, als auch alle hinzukommenden AVOs zukünftiger eNFZ-Typen. Darzustellen sind außerdem zu beachtende Montagereihenfolgen und der Personalbedarf pro AVO. Sofern im Produktionssystem eine sehr hohe Zahl unterschiedlicher NFZ-Typen mit stark abweichenden Montageinhalten vorkommt, sollte eine Untergliederung nach Typenvertretern erfolgen. Für jeden AVO ist die Montagezeit aus realen Produktionsdaten zu ermitteln oder repräsentativ abzuschätzen und sind die zu verbauenden Teile zuzuordnen. Zudem müssen mögliche Restriktionen zur Einplanung der NFZ-Typen auf das Band, einzuhaltende Montagereihenfolgen und deren Arbeitspositionen am Fahrzeug vorliegen.

Die Datenbasis dient dem Aufbau des Simulationsmodells, das zwei Betrachtungsebenen aufweist. Auf der übergeordneten Makroebene erfolgt die Simulation der gesamten Montagelinie und ausgewählter Vormontagen bei unterschiedlichen Produkti-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

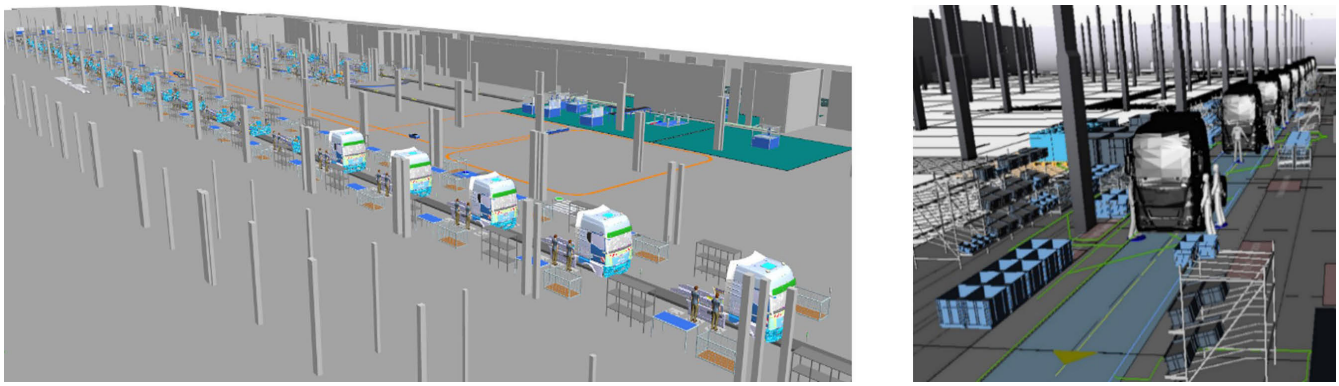

Bild 4. Links: Simulationsmodell der Montagelinie auf Makroebene. Rechts: Simulationsmodell ausgewählter Stationen auf Mikroebene.
Grafik: Hörmann Rawema (links), Fraunhofer IGCV (rechts)

onsprogrammen. Diese Programme basieren auf den Einplanungsrestriktionen und den vordefinierten Mischszenarien. Die Montagezeiten werden dabei je Taktstation aufsummiert und der Personal- und Springerbedarf am Band ermittelt sowie Engpässe identifiziert. Zudem sind Analysen zum Verhalten von Montage- und Pufferstationen, Montagepersonal, NFZ-Typen oder wechselseitige Abhängigkeiten zu externen Montagestandorten möglich. Auf der Mikroebene werden die Bandabschnitte mit dem größten zu erwarteten Änderungsbedarf virtuell nachgebildet und anschließend stationsbasiert untersucht und optimiert. Dabei können auch mit Laserscannern aufgenommene 3D-Modelle der realen Montagelinie zum Einsatz kommen. Für jede Station erfolgt die Verteilung der AVOs auf Basis der aus der Makroebene ermittelten Personenzahl. Über die Analyse der Personenauslastungen, resultierender Laufwege, Taktzeiterreichung und verfügbarer Materialbereitstellungsflächen kann untersucht werden, in welchen Taktstationen die neuen Montageinhalte integriert werden können.

Durch Verifikation und Validierung ist sicherzustellen, dass das reale System hinreichend genau durch das Modell abgebildet wird. Hierfür werden alle Parameter in der Simulation auf den Istzustand des realen Montagebandes eingestellt und im anschließenden Vergleich Abweichungen identifiziert und iterativ behoben.

Nach den Simulationsläufen erfolgt die Darstellung der ermittelten Engpässe, die durch die Mischproduktion auftreten. So ist vor der Umgestaltung bestehender Linien erkennbar, in welchen Stationen und bei welchen Verteilungsszenarien strukturelle Änderungen notwendig werden. Dies erlaubt die Identifikation von Handlungsfeldern und die Erarbeitung geeigneter Lösungsansätze. Diese Ansätze können erneut virtuell erprobt und weiter optimiert werden, ohne in das bestehende Produktionssystem eingreifen zu müssen. Nach Einführung der Mischproduktion können zudem vor einem Eingriff in die Montagelinie auch zukünftige Verteilszenarien zunächst virtuell abgesichert werden, die infolge der sich zeitlich ändernden Kundennachfrage nach bestimmten elektrischen oder konventionellen NFZ-Typen auftreten werden.

4 Umsetzungsbeispiel anhand einer bestehenden Montagelinie

Mit der dargestellten Vorgehensweise wurde der strukturelle Änderungsbedarf beim Personaleinsatz untersucht, der sich durch die Integration von elektrischen Lastkraftwagen (eLKW) in eine bestehende Montagelinie des LKW-Herstellers MAN Truck & Bus SE (MAN) ergibt. Dabei waren Mischszenarien aus verschiedenen LKW-Typen mit sukzessiv steigendem Anteil an eLKW-Typen zu berücksichtigen.

Die Daten stammten weitgehend aus der realen Produktion der LKW-Montage. Durch Auswertung dieser Daten konnten erforderliche Informationen, wie die vorhandenen LKW-Typen und deren Mengenverteilung oder die zu verbauenden Teile und deren Montagezeiten, ermittelt werden. Zudem kamen Dokumente zum Einsatz, welche die AVOs, die Einbauorte sowie den Personalbedarf pro AVO und pro Station beschreiben. Weitere Informationen zu Montagezeiten und Bauteilen der hinzukommenden eLKW ergaben sich aus Experteneinschätzungen und prototypischen Montageversuchen bei MAN. Zur Darstellung einzuhaltender Montagereihenfolgen wurde ein Montagevorranggraph erarbeitet. Die sehr hohe Anzahl an LKW-Typen ließ sich durch ihre Achsformeln in elf Typenvertreter von ICE (internal combustion engine) untergliedern. Davon sollen zukünftig sechs Vertreter als BEV (battery electric vehicle) produziert werden, wohingegen die verbleibenden fünf ICE-Vertreter sukzessive auslaufen. Die Zusammenführung aller Informationen bildete die zentrale Basis für den Aufbau der Simulationsmodelle.

Das Simulationsmodell auf Makroebene sollte den Personalbedarf des gesamten Montagebands mit circa 50 Taktstationen untersuchen. Dagegen sollten auf Mikroebene an 13 ausgewählten Stationen die Montageinhalte auf einzelne Personen verteilt und deren Auslastung untersucht werden. Aufgrund der verschiedenen Anforderungen kamen separate Softwareprodukte zum Einsatz. Auf der Makroebene wurde „Tecnomatix Plant Simulation“ und auf der Mikroebene „ipolog“ eingesetzt (**Bild 4**). Die Verifizierung und Validierung beider Modelle erfolgte im Rahmen von Expertenworkshops mit den Fachabteilungen von MAN.

Auf Makroebene erfolgten nach Aufbau des Modells mehrere Simulationsläufe zur Ermittlung des globalen Personalbedarfs für die gesamte Montagelinie. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Verteilszenarien zwischen BEV- und ICE-Typenvertretern wurde jeweils der minimale, maximale und der zusätzlich benötigte Personalbedarf (Springer) pro Station ermittelt. Da sich die Montageinhalte je nach Typenvertreter stark unterscheiden, zeigte sich eine hohe Schwankungsbreite. **Bild 5** veranschaulicht die Auswertung beispielhaft anhand des Verteilszenarios 10 % BEV- und 90 % ICE-Typenvertreter.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

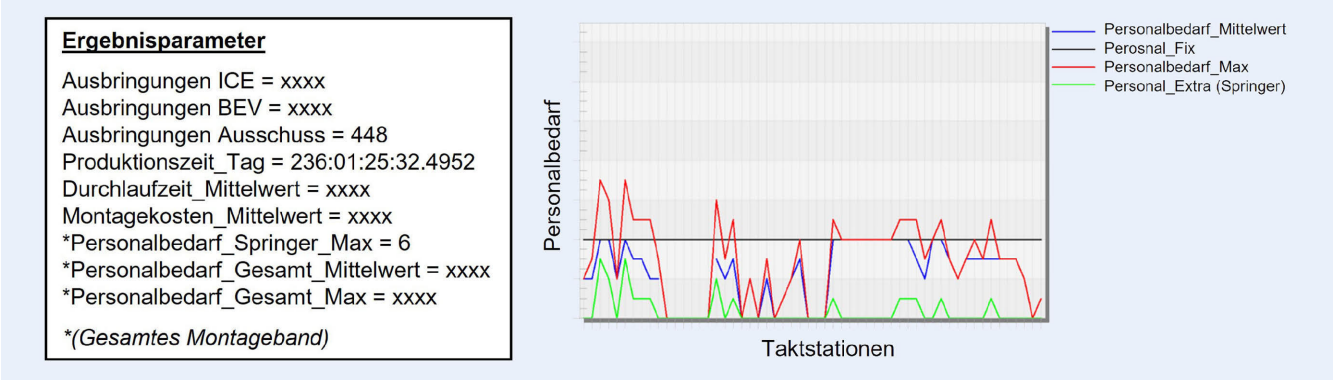

Bild 5. Analyse des minimalen und maximalen Personalbedarfs sowie zusätzlich benötigter Personen (Springer) für das Verteilszenario 10 % BEV (battery electric vehicle)- und 90 % ICE (internal combustion engine)-Typenvertreter. *Grafik: Hörmann Rawema*

	Typ_A_ICE	Typ_B_ICE	Typ_C_ICE	Typ_D_ICE	Typ_E_ICE	Typ_F_ICE	Typ_G_CE	Typ_H_ICE	Typ_I_ICE	Typ_J_ICE	Typ_K_ICE	Typ_A_BEV	Typ_B_BEV	Typ_D_BEV	Typ_G_BEV	Typ_I_BEV	Typ_J_BEV
Station_13	71%	78%	89%	82%	89%	80%	78%	73%	73%	89%	75%	65%	63%	65%	76%	66%	73%
Station_12	83%	78%	89%	82%	89%	80%	78%	73%	73%	89%	75%	61%	59%	60%	42%	61%	39%
Station_11	81%	77%	87%	80%	87%	78%	78%	90%	90%	87%	92%	79%	75%	79%	93%	81%	86%
Station_10	83%	78%	89%	82%	89%	80%	78%	73%	73%	89%	75%	75%	71%	75%	88%	76%	81%
Station_9	80%	90%	90%	78%	79%	86%	79%	90%	90%	93%	82%	54%	60%	52%	66%	56%	62%
Station_8	80%	72%	72%	78%	79%	69%	79%	72%	90%	74%	82%	58%	65%	56%	71%	60%	67%
Station_7	80%	90%	90%	78%	79%	86%	79%	90%	90%	93%	82%	20%	23%	20%	25%	21%	23%
Station_6	80%	90%	90%	78%	70%	86%	79%	90%	90%	93%	82%	49%	49%	49%	49%	49%	49%
Station_5	59%	55%	71%	58%	79%	65%	60%	71%	71%	57%	58%	72%	72%	72%	73%	72%	70%
Station_4	64%	64%	74%	64%	80%	64%	63%	67%	67%	70%	66%	68%	68%	68%	68%	68%	68%
Station_3	82%	70%	88%	82%	77%	68%	84%	71%	71%	83%	77%	88%	80%	87%	89%	89%	88%
Station_2	92%	82%	83%	78%	83%	89%	85%	74%	74%	81%	82%	77%	72%	81%	74%	75%	71%
Station_1	85%	72%	67%	78%	78%	66%	75%	71%	71%	69%	81%	72%	87%	91%	89%	77%	85%

Personenauslastung	> 90 %	hoch	90% bis 75%	ideal	74% bis 60%	gering	< 60%	sehr gering

Bild 6. Stationsbezogene Personenauslastung für die BEV- und ICE-Typenvertreter. *Grafik: Fraunhofer IGCV*

In der Mikroebene wurde unter Berücksichtigung der Restriktionen (wie Montagereihenfolge, Montagezeit, Einbauort, Laufwege) die Auslastung der global ermittelten Personenanzahlen untersucht. Dazu fand für die 13 Stationen simulationsgestützt die Zuordnung der AVOs auf die Personen statt. Daraus ergaben sich die stationsbezogenen Personenauslastungen, die in **Bild 6** für jeden Typenvertreter dargestellt sind.

Wie zu erkennen, war die ideale Personenauslastung von 90 % bis 75 % aufgrund der Restriktionen auch nach erfolgter Optimierung nicht immer erreichbar. Vor allem bei den BEV-Vertretern zeigte sich eine deutliche Unterauslastung. Dies ist auf die in Summe um circa 40 % reduzierten Montageinhalte bei BEV-Vertretern zurückzuführen. An den Stationen 6 und 7 konnte zum Beispiel die Auslastung nicht weiter erhöht werden, da dort nur noch eine Person benötigt wird.

Die Herausforderung der unterschiedlichen Montageinhalte zwischen ICE- und BEV-Typenvertretern verdeutlicht **Bild** 7.

Wie sich zeigt, fallen im Anwendungsbeispiel „MAN“ die Inhalte vor allem in den Stationen 6 bis 12 deutlich geringer aus. In den Stationen 4 und 5 überwiegen dagegen die Inhalte beim ICE. Daher ist es gerade für diese Stationen relevant, den Veränderungen des Personenbedarfs durch verschiedene Mischszenarien besondere Beachtung zu geben. Dies ist nötig, um bei zukünftigen Umstellungsphasen des Mischverhältnisses das bestehende Personal frühzeitig auf andere Tätigkeiten umzuschulen. Zudem sollte zukünftig weniger auf Stammpersonal, sondern stärker auf speziell geschultes Springerpersonal gesetzt werden, welches flexibel und stationsübergreifend arbeiten kann.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das simulationsgestützte Vorgehen zeigt auf, wie bestehende Montagesysteme von NFZ-Herstellern zu Mischproduktionen mit elektrischen und konventionellen Nutzfahrzeugen hybridisiert werden können. Durch den simulationsbasierten Ansatz werden die Auswirkungen bei Einführung einer Mischproduktion und der jeweilige Handlungsbedarf für sich ändernde Verteilszenarien virtuell abgesichert und für die Montagesystemplaner greifbarer. Dabei liefert die Makroebene szenarienbasiert den Personalbedarf auf einer globalen Ebene, die auf der Mikroebene typen- und personenbasiert für relevante Montagestationen feingeplant werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht bereits in einer frühen Phase der Planung die Ermittlung von Kennzahlen zur Bewertung des Montagesystems, welche in klassischen Planungs-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

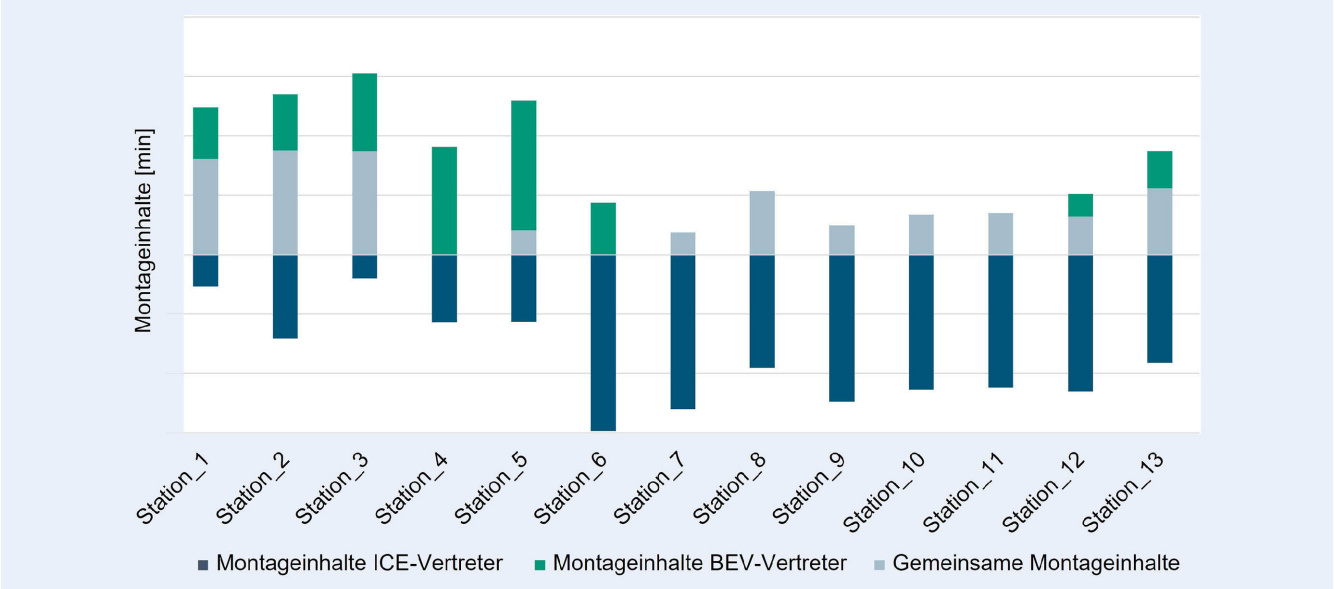

Bild 7. Darstellung der spezifischen Arbeitsinhalte von ICE- und BEV-Typenvertretern. *Grafik: Fraunhofer IGCV*

ansätzen erst zu späteren Zeitpunkten im Planungsprozess ermittelt werden können.

Wenngleich das Montagesystem das Kernstück der Fabrik darstellt, ist es erforderlich neben den Montageprozessen auch die Produktionslogistik frühzeitig zu planen. Diese steht vor einer Herausforderung, die sich aus dem sprunghaften Anstieg von eNFZ-Anteilen am Produktionsmix ergebenden. Bei der Planung von Lagern, Transportprozessen sowie Kommissionier- und Materialbereitstellungsstrategien muss demnach die Wandlungsfähigkeit als wichtiges Kriterium berücksichtigt werden.

Im nächsten Schritt wird simulationsgestützt eine Auswahlmethodik entwickelt, die es ermöglicht, auf Basis relevanter Eingangsparameter die Produktionslogistik sowohl wirtschaftlich als auch langfristig wandlungsfähig auszulegen.

Literatur

[1] Statista GmbH: Höhe der weltweiten Treibhausgasemissionen in den Jahren 1990 bis 2019. Stand: 2022. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/311924/umfrage/treibhausgasemissionen-weltweit/. Zugriff am 28.02.2023

[2] Statista GmbH: Entwicklung des weltweiten CO2-Ausstoßes. Stand: 2021. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/208750/umfrage/weltweiter-co2-ausstoss/. Zugriff am 28.02.2023

[3] Statista GmbH: Verteilung der CO2-Emissionen weltweit nach Sektor bis 2020. Stand: 2021. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/167957/umfrage/verteilung-der-co-emissionen-weltweit-nach-bereich/. Zugriff am 28.02.2023

[4] Europäische Kommission: Europäischer Grüner Deal. Erster klimaneutraler Kontinent werden. Internet: ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019–2024/european-green-deal_de?gclid=EAIaIQobChMI6uC537fl-gIVKo9oCR3X7woBEAAYASAAEgL1sPD_BwE. Zugriff am 28.02.2023

[5] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Deutsche Klimaschutzpolitik. Stand: 2023. Internet: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html. Zugriff am 28.02.2023

[6] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Klimaschutzbericht 2022. Stand: 2022. Internet: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/klimaschutzbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Zugriff am 28.02.2023

[7] Statista GmbH: Verteilung der CO2-Emissionen durch den deutschen Verkehr im Jahr 2013 nach Verkehrsträgern. Stand: 2013. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/13150/umfrage/co2-emissionen-im-deutschen-personenverkehr/. Zugriff am 28.02.2023

[8] [8] Statista GmbH: Modal-Split im deutschen Güterverkehr im Zeitraum von 2013 bis 2025 nach Landverkehrsträgern. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/12149/umfrage/gueteraufkommen-nach-verkehrstraegern-in-deutschland/. Zugriff am 28.02.2023

[9] Statista GmbH.: Lithium-Ionen-Batterien: Prognostizierte, globale Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien. Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/1324056/umfrage/nachfrage-nach-lithium-ion-batterien/. Stand: 2023. Zugriff am 28.02.2023

[10] [Kampker, A.; Burggräf, P.; Deutskens, C.: Produktionsstrukturen Für Komponenten Künftiger Elektrofahrzeuge. ATZproduktion 3 (2010) 2, S. 48–53

[11] Umweltbundesamt: Entwicklung des Kraftfahrzeugbestands. Stand: 2022. Internet: www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeugbestand#entwicklung-des-kraftfahrzeugbestands. Zugriff am 28.02.2023

[12] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI 3633 Blatt 1. Simulation von Logistik-, Materialfluss und Produktionssystemen Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag 2014

[13] Neuhäuser, T.; Ott, D. M.; Hohmann, A. et al.: Virtuelle Absicherung symbiotischer Montagesysteme. wt Werkstattstechnik online 112 (2022) 03, S. 108–113. Internet: www.werkstattstechnik.de. Düsseldorf: VDI Fachmedien

[14] Pröbster, M.: Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus. Dissertation, Technische Universität, 2015

Bernhard Voringer, M.Eng.
Foto: Fraunhofer IGCV

Dominik Ott, M.Sc.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

Fabian Bermpohl, M. Sc.

Fraunhofer-Institut für Gießerei-,
Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
Am Technologiezentrum 10, 86159 Augsburg
Tel. +49 821 90678 215
bernhard.voringer@igcv.fraunhofer.de
www.igcv.fraunhofer.de

Dr.-Ing. **Felix Brungs**

MAN Truck & Bus SE
Dachauer Str. 667, 80995 München
felix.brungs@man.eu
www.mantruckandbus.com

Dipl.-Ing. **Benjamin Bielefeld**

Hörmann Rawema Engineering & Consulting GmbH
Brückenstr. 8, 09111 Chemnitz
benjamin.bielefeld@hoermann-rawema.de
www.hoermann-rawema.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-03-35 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY