

# Neuartige Produktionslogistik für eine wandelbare und flexible Automobilproduktion

Innovative production logistics for convertible and flexible automobile production

*Julian Popp  
Karl-Heinz Wehking*

*Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)  
Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
Universität Stuttgart*

**I**n diesem Beitrag werden die notwendigen Änderungen in der Produktionslogistik der Automobilindustrie für die nächsten Jahre beschrieben. Durch die steigende Anzahl an Automobilmodellen und eine gleichzeitig wachsende Variantenzahl, ist es heute kaum noch möglich Automobile wirtschaftlich auf Montageanlagen mit starrer Fördertechnik zu produzieren. Im Großprojekt ARENA2036 (Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles) werden aus diesem Grund neue Montage- und Bereitstellungskonzepte sowie Technologien zur Flexibilisierung der zukünftigen Produktion entwickelt. Dieser Artikel beschreibt die aktuellen Forschungsergebnisse des Projekts in Bezug auf neue und innovative Produktionslogistik im Umfeld der Automobilindustrie.

*[Schlüsselwörter: Flexibilität, Produktionslogistik, ARENA2036]*

**T**his article presents the necessary changes in production logistics of automobile manufacturing for the upcoming years. Due to the higher amount of car models and continuing growth of variations, it became nearly impossible to produce vehicles economically using rigid conveyor techniques. In the context of the research project ARENA2036 (Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles), new concepts for assembly and logistics including new technologies are being developed to make production flexible for the future. This paper describes the current results of the project in terms of new and innovative production logistics for the automobile industry.

*[Keywords: flexibility, Production Logistics, ARENA2036]*

## 1 EINLEITUNG

Die Automobilproduktion bewegt sich aktuell auf ihre größte Änderung in den letzten 80 Jahren zu. Die Einführung der Fließbandfertigung für das Ford T-Modell von Henry Ford war zu seiner Zeit eine Revolution. Durch die damalige Homogenität der Modellvarianten war die

Massenproduktion mittels Fließbandfertigung der effektivste Weg Automobile in Masse herzustellen. Nach einigen Jahren stellten die Automobilfirmen aber fest, dass die Kunden sehr daran interessiert waren, bestimmte Spezifikationen selbst wählen zu können. Beispiele hierzu sind die Farbe des Autos oder der Einbau von bestimmten technischen Elementen. Dies führte zu einer komplexeren Situation für die Produktionslogistik. Bei niedriger Variantenzahl konnte die Logistik die zusätzlichen Anforderungen noch wirtschaftlich ausführen. Aber gerade in den letzten zehn Jahren wurde die Situation in Bezug auf weitere Variantensteigerungen immer komplexer. Nicht nur das immer mehr Optionen auf den Markt kamen aus denen der Kunde wählen konnte, es kamen auch ständig mehr Automodelle hinzu [SCH12]. Vor ungefähr zehn Jahren hatten Premiummarken, wie z.B. Mercedes-Benz 15 verschiedene Fahrzeugtypen im Angebot (Zählung ohne LKWs). Diese Anzahl wuchs in den letzten Jahren auf 32 verschiedene Fahrzeugtypen an, aus denen heute gewählt werden kann. Daraus ergibt sich eine theoretisch sehr hohe Anzahl von Fahrzeugvarianten, die ein Automobilhersteller seinen Kunden anbietet. Zum Beispiel liegt diese beim letzten VW Golf bei  $10^{23}$  [Klu10]. Obwohl es einen Unterschied zwischen der theoretischen und der bestellten Anzahl von Fahrzeugvarianten gibt, sind nur zwei von 1,1 Mio. produzierten Mercedes A-Klassen während der Bauzeit von 5 Jahren identisch [Sch05]. Dies führt dazu, dass die Logistik für jedes Fahrzeug unterschiedliche Teile in der Produktion oder Montage bereitstellen muss. Aktuell können diese Herausforderungen noch mit den vorherrschenden Produktionsprozessen abgehandelt werden. Jedoch lässt ein weiterer Anstieg der Variantenanzahl die Logistikkosten voraussichtlich exponentiell steigen. Aus diesem Grund hat das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) in Stuttgart zusammen mit dem Ministerium für Wirtschaft Baden-Württemberg ein Projekt initialisiert um neue Ideen im Bereich der Logistikprozesse zu verwirklichen und eine neue Montageplattform für Automobile zu entwickeln. [Kro08]

## 2 NEUE LOGISTISCHE KONZEPTE FÜR DIE PRODUKTIONSLOGISTIK

### 2.1 DATENERHEBUNG UND KONZEPTENTWICKLUNG

Der erste Schritt bestand aus der Analyse der aktuell vorherrschenden Situation und die Festlegung der Nachteile. Dazu wurden in unterschiedlichen Montagewerken logistische Vorgänge analysiert und bewertet. Es stellte sich heraus, dass die meisten Bauteile zwischen dem Versand beim jeweiligen Zulieferer und der Verwendung im passenden Werk des Automobilherstellers bis zu sieben Handlingsstufen durchlaufen. Die Vermutung liegt nahe, dass diese große Anzahl an Zwischenlagerungen im Logistikprozess hohe Kosten im Bereich der Beschaffungslogistik zur Folge haben. Dementsprechend folgte im nächsten Schritt die Erstellung einer Liste mit präferierten neuen Logistikprozessen. In dieser Liste wurden von unterschiedlichen Logistikexperten, welche alle in der Automobilbranche tätig sind, unterschiedliche Ideen zur Logistik der Zukunft niedergeschrieben. Als Output ergab sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Ideen mit Fokussierungen auf jeweils andere Bereiche der Inbound Supply Chain. Um einen sinnvollen Nutzen aus dieser Liste zu

generieren wurden zehn unterschiedliche Logistikkonzepte entwickelt, siehe hierzu Abbildung 1. Jedes dieser Konzepte beinhaltet einen oder mehrere Punkte aus der vorher beschriebenen Liste mit den bevorzugten Prozessen. Als Resultat ergaben sich fünf Hauptkonzepte welche sich in zehn individuelle Konzepte verzweigten. Alle Konzepte betrachten nur den Weg zwischen dem Werkstor des Automobilwerks bis zum Ort der Montage durch den Mitarbeiter. Die vorgelagerte Anlieferung soll im weiteren Verlauf des Projekts in Form von neuen Konzepten optimiert werden. Dazu sind jedoch Voruntersuchungen bei Zulieferern, Dienstleistern und Spediteuren notwendig, die augenblicklich durchgeführt werden.

### 2.2 BEWERTUNG UND DETAILIERTE KONZEPTBESCHREIBUNG

Der nächste Schritt fokussierte sich auf die Bewertung der Konzepte. Um die unterschiedlichen Konzepte zu prüfen, wurde ein Fragenkatalog erarbeitet. Dieser Katalog beinhaltet unterschiedliche Elemente und Aspekte, wie beispielsweise die Länge der Transportwege in der Montage, die Anzahl der notwendigen technischen Betriebsmittel, die Ausfallsicherheit, die Reaktionsfähigkeit

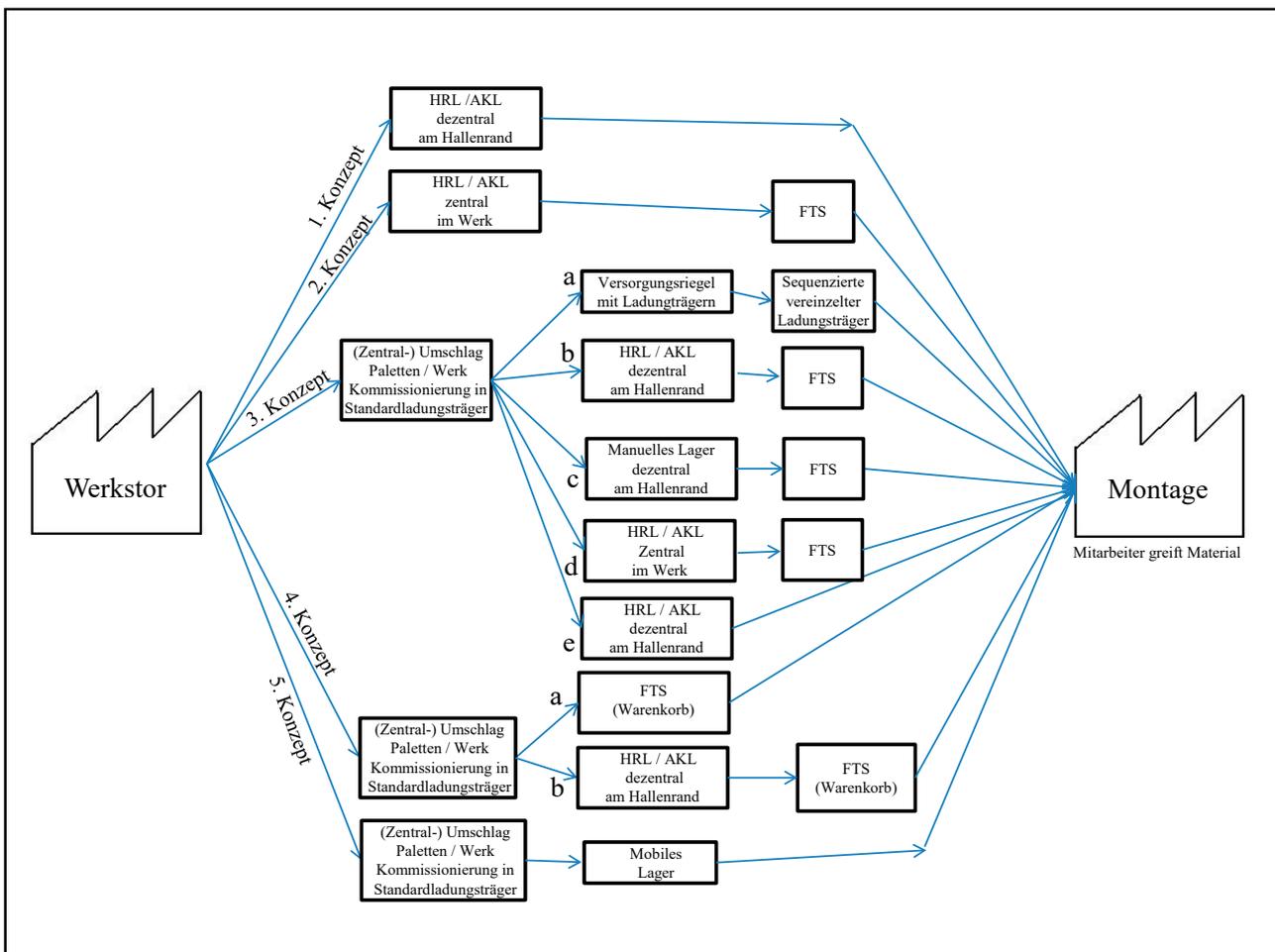


Abbildung 1: Logistikkonzepte

bei defekten Betriebsmitteln und einige mehr. Nachdem dieser Katalog bei allen Konzepten zur Bewertung angewandt wurde, war es möglich, ein erstes Ranking aufzustellen. Durch dieses Ranking konnten drei Konzepte ausgewählt werden, die besonders wirtschaftlich erscheinen und mittels Simulation näher betrachtet werden sollten. Die Simulationen wurden mit der Software „Plant Simulation“ aufgebaut. Reale Produktionsdaten aus einem Automobilwerk für eine Tagesproduktion von insgesamt 400 Autos in 2 Schichten wurden für die Simulationsläufe verwendet. Durch eine Vielzahl von Simulationen konnte die Realisierbarkeit aller drei Konzepte nachgewiesen werden. Im Weiteren werden diese drei Konzepte näher beschrieben.

Das erste Konzept mit dem Namen „mobiles Regal“ besteht aus einem Regal, welches auf ein FTS (Fahrerloses Transportsystem) verladen wird. Das Regal fasst eine festgelegte Anzahl an Kleinladungsträgern (KLT), die unter Verwendung eines innovativen Betriebsmittels ein- und ausgeladen werden. Das Regal fährt nach der Beladung mittels FTS vom Wareneingang des Werkes zum zugeordneten Montagebereich des Verbauorts, siehe hierzu Abbildung 2. Nach der Ankunft in der Montage, wird das Regal automatisiert entladen. Zur Übergabe des Materials an den Mitarbeiter wird der KLT durch das Betriebsmittel auf einer ergonomischen Höhe angereicht. Der Mitarbeiter greift das Material aus dem KLT und dieser wird zurück in das Regal geschoben. Wenn alle (oder ein Großteil) der KLT des Regals entleert worden sind, fährt dieses zurück zum Wareneingangsbereich und wird mit neuen KLT beladen. Anschließend startet der Zyklus von vorn.

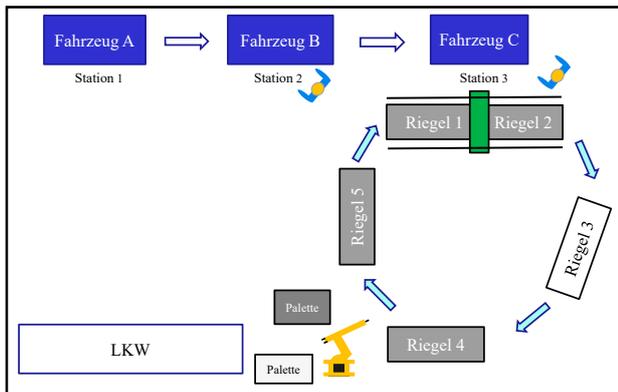


Abbildung 2: Regal-Konzept

Durch das zweite Konzept mit dem Namen „FTS-Konzept“ werden die Bauteile direkt aus dem Lager mittels low cost FTS zum jeweiligen Montagebereich transportiert, siehe hierzu Abbildung 3. Der KLT wird dabei aus einem automatischen Kleinteilelager (AKL) direkt auf das FTS geladen. Die Entnahme der KLTs aus dem Lager kann dabei manuell oder automatisiert durch ein Regalbediengerät erfolgen. Die Fahrzeuge fahren nach der Beladung einzeln und mittels freier Navigation zur Montage-

station und übergeben die Bauteile an den Mitarbeiter, dank ihres Aufbaus in einer ergonomischen Höhe. Nachdem der Mitarbeiter die erfolgreiche Bauteilübergabe bestätigt hat, fährt das FTS zurück zum Lager. Da die Routen der FTS zwischen den Lagern und den Montagestationen nicht fixiert sind, werden diese einerseits von den FTS selbst ausgesucht aber gleichzeitig auch durch eine übergeordnete Steuerung kontrolliert. Die freie Navigation der FTS soll durch In-Vehicle Location Systems und Agent Technology ermöglicht werden. Dies soll Kollisionen verhindern und führt zu einer reduzierten Anzahl an FTS, da alle FTS alle Stationen beliefern können. Gleichzeitig soll sich das System somit auch sehr rasch Vergrößern oder Verkleinern lassen, da zusätzliche FTS in das System eingesetzt oder entnommen werden können. In der Simulation konnte gezeigt werden, dass eine Montageanlage, welche mittels 15 Montagestationen 400 Fahrzeuge fertigt durch die Verwendung von 150 low cost FTS versorgt werden kann.

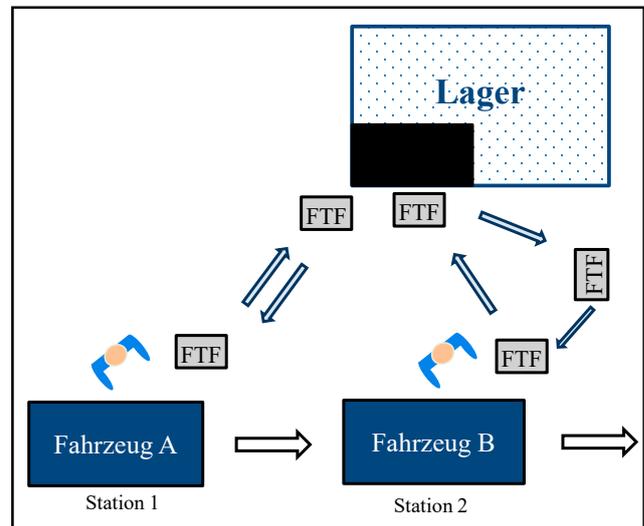


Abbildung 3: FTS-Konzept

Im dritten Konzept mit dem Namen „Warenkorb-Konzept“ werden gemäß der Konfiguration eines bestimmten Autos unterschiedliche Bauteile zu einem fahrzeugspezifischen Warenkorb vorkommissioniert. Diese Sammlung beinhaltet Bauteile für eine definierte Anzahl von Montagestationen (beispielsweise die Stationen 3-7). Die Kommissionierung kann dabei entweder manuell oder automatisiert erfolgen. Die zusammengestellten Warenkörbe werden dann per FTS an die erste zugeordnete Montagestation (im Beispielsfall Station 3) verfahren, siehe hierzu Abbildung 4. Dort warten sie in Reichweite des Montagemitarbeiters, bis dieser das jeweilige Material entnimmt. Die Warenkörbe folgen dem Fahrzeug anschließend entlang des Montagebandes, entweder durch eine manuelle Verbindung zum aufzubauenden Fahrzeug oder durch automatischen Weitertransport durch das FTS. Der jeweilige Montagemitarbeiter entnimmt an jeder Station das entsprechende Teil aus dem Warenkorb und ver-

baut es am Fahrzeug. Nachdem der Mitarbeiter an der letzten zugeordneten Montagestation das Material entnommen hat (im Beispiel an Station 7), transportiert das FTS den Warenkorb wieder zurück zum Kommissionierbereich. Dort wird der Warenkorb, falls notwendig, entleert und gereinigt und steht dann für die nächste Beladung zur Verfügung.

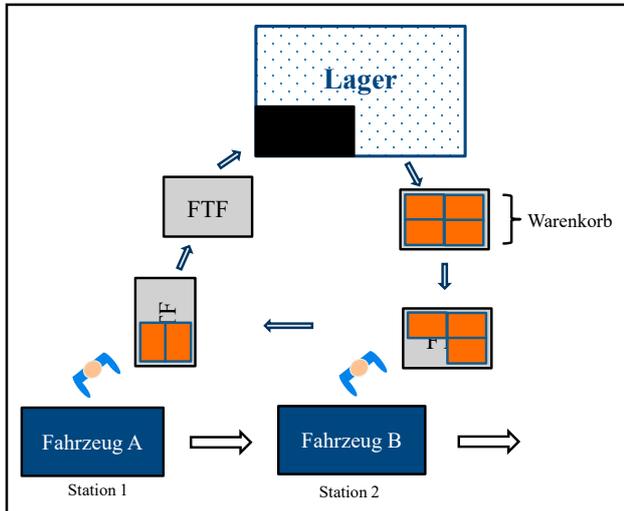


Abbildung 4: Warenkorb-Konzept

Der nächste Schritt im Rahmen des Forschungsprojekts beinhaltet die simulative Analyse der drei vorgestellten Logistikkonzepte in Bezug auf Änderungen des Produktionsprogramms bzw. Montageablaufs. Dazu werden augenblicklich bestimmte Wandlungsszenarien aufgestellt, die Anwendung finden sollen. Es ist anzunehmen, dass sich ein Konzept als besonders effektiv zur Warenbereitstellung und ein weiteres als besonders geeignet bei Änderungen im Produktionsprogramm herausstellen werden.

## 2.3 INNOVATIVE TRANSPORT- UND MONTAGEPLATTFORM

Eine wandelbare und flexible Fertigung wird sich voraussichtlich nur durch Verwendung von modularer Fördertechnik erreichen lassen. Aus diesem Grund wurde am IFT eine neuartige Transport- und Montageplattform entwickelt, die Fahrzeuge durch bestimmte Bereiche der Montage transportiert, siehe hierzu Abbildung 5. Durch Hebe-, Schwenk und Drehbewegungen des Aufbaus kann das aufzubauende Fahrzeug jeweils in eine passende Montageposition gebracht werden. In einer ersten Ausbaustufe soll der Prototyp dieses FTS den Unterbau eines Fahrzeugs transportieren können. Weiterhin wird die Plattform Platz für den Montagemitarbeiter und für KLTs sowie Andockplätze für mobile Roboter und verschiedene FTS beinhalten. Ein erstes Konzept ist auf der Abbildung dargestellt. Der größte Teil (gelb-grün dargestellt) ist die neue Transportplattform. Die Grundmaße werden ungefähr 5,5 x 3,5 Meter betragen. Die Fahrzeugaufnahme wird in der Mitte der Plattform platziert. Durch vier elektrisch betriebene Räder kann die Plattform omnidirektional in der Produktion verfahren werden. Die benötigten Montagebauteile werden, je nach Größe, Varianz und Menge durch unterschiedlichen Betriebsmittel für der Montage bereitgestellt. Wie in der Abbildung zu sehen ist, könnten beispielsweise Motoren per Doppelkufen-FTS bereitgestellt werden. Kleinere Bauteile würden in KLT verpackt und mit kleinen autonomen Transporteinheiten (KATE) angeliefert. Angedacht ist weiterhin die Integration einer großen Batterie, die andockende Betriebsmittel mit Energie versorgt, was die Anzahl von starren Installationen in der Montagehalle weiter reduzieren würde.

## 3 FAZIT UND AUSBLICK

Die Änderungen in den Montagesystemen hin zu mehr Flexibilität und Wandlungsfähigkeit werden nur erfolgreich sein, wenn gleichzeitig grundlegende Änderun-

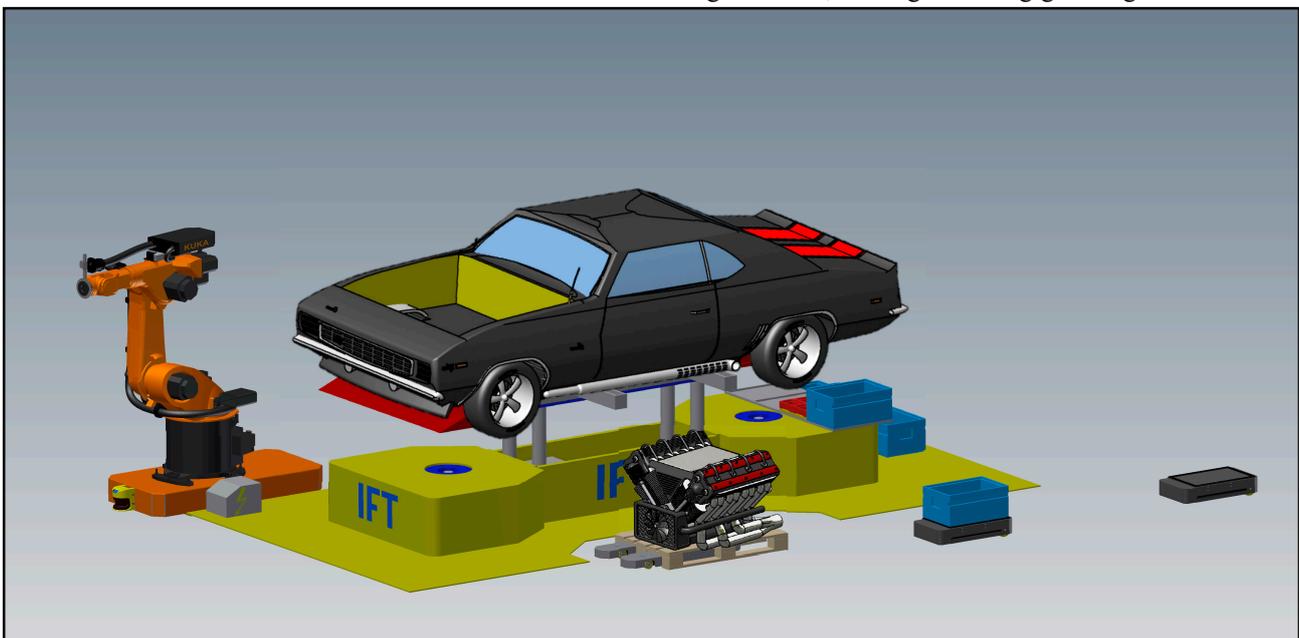


Abbildung 5: Montage-Plattform

gen in den Logistiksystemen vorgenommen werden. Sowohl der physische Warenfluss als auch der Informationsfluss müssen dazu verändert werden. Fahrzeuge, die gerade gebaut werden, bestellen dazu möglicherweise selbstständig ihr benötigtes Material. Damit die Bereitstellung dieser Materialien zielgerichtet für das jeweilige Fahrzeug stattfinden kann, werden neue Logistikkonzepte benötigt. In diesem Artikel haben deshalb drei neuartige Logistikkonzepte vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt und untersucht worden sind. Die beschriebenen Konzepte konzentrieren sich auf die Reduzierung der Handhabungsstufen, um die Montageversorgung effizienter zu gestalten. Wie oben beschrieben, konnte in Untersuchungen festgestellt werden, dass heutige Materialkonzepte zwischen Werkstor und Montageplatz bis zu sieben Lagerstufen durchlaufen, an denen das Material häufig umgeschlagen wird. Mit den neuen Konzepten soll die Anzahl der Lagerstufen auf vier reduziert werden. Dies wird wiederum die Logistikkosten reduzieren und gleichzeitig die Flexibilität in der Produktionslogistik erhöhen. Alle Konzepte zielen darüber hinaus darauf ab, die Anzahl der Entscheidungen des Montagepersonals während der Bauteilaufnahme zu reduzieren. Durch Simulation und Verwendung realer Produktionsdaten wurde die Realisierbarkeit aller drei Konzepte nachgewiesen. Im nächsten Schritt soll eine Bewertung der Konzepte in Bezug auf deren Reaktionszeit bei Änderungen des Produktionsprogramms stattfinden. Die Änderungen können dabei Anpassungen des Produktionsprogramms oder Änderungen im Montageablauf umfassen. Es wird erwartet, dass eine eindeutige Aussage über das effektivste Logistikkonzept in Bezug auf Änderungen des Produktionsprogramms getätigt werden kann. Damit die Auswahl des optimalen Konzepts unterstützt werden kann, soll in den nächsten Monaten eine Kostenanalyse der drei Logistikkonzepte durchgeführt werden. Das wandlungsfähigste und effizienteste Konzept soll anschließend in der ARENA2036 Forschungsfabrik umgesetzt werden. Die neue Montageplattform legt dabei den Grundstein für die Erprobung der neuen Montage- und Logistikabläufe in der Forschungsfabrik. Sie wird es erlauben einfache Layout-änderungen in relativ kurzer Zeit durchzuführen und neue Montagebetriebsmittel schneller in den Montageprozess zu implementieren.

## LITERATUR

- [Klu10] Klug, F. (2010). Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Heidelberg: Springer.
- [Kro08] Krog, E.-H., & Statkevich, K. (2008). Kundenorientierung und Integrationsfunktion der Logistik in der Supply Chain der Automobilindustrie. In H.

Baumgarten (Hrsg.), Das Beste der Logistik: Innovationen, Strategien, Umsetzungen (S. 185-196). Berlin: Springer.

- [Sch12] Schade, W., Zanker, C., Kühn, A., Kinkel, S., Hettesheimer, T., & Schmall, T. (September 2012). Zukunft der Automobilindustrie. Innovationsreport
- [Sch05] Schlott, S. (2005). Wahnsinn mit Methode. Automobil-Produktion( 1-2), S. 38-42.

---

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Julian Popp**, research assistant at the Institute for Material Handling and Logistics (IFT), University of Stuttgart.

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K.-H. Wehking**, director of the Institute for Material Handling and Logistics (IFT), University of Stuttgart.

**Address:** Institut für Fördertechnik und Logistik, Universität Stuttgart, Holzgartenstr. 15B, D-70174 Stuttgart. Phone: +49 711 685-83770, Fax: +49 711 685-83769

**E-Mail:** julian.popp@ift.uni-stuttgart.de

karl-heinz.wehking@ift.uni-stuttgart.de