

# Entwicklung eines modularen Ladungsträgers für Euronormbehälter für die Flugzeugproduktion

Conception of a modular load carrier for the transportation of Euro containers for the aircraft production

*Martin Sliwinski  
Corin Raabe  
Marko Thiel  
Johannes Hinckeldeyn  
Jochen Kreuzfeldt*

*Institut für Technische Logistik  
Technische Universität Hamburg*

**E**uronormbehälter haben sich in vielen Industriezweigen als Standard für den Transport und die Lagerung von Kleinteilen jeglicher Art durchgesetzt. Ein vollständig automatisierter Transport zwischen Lagerplatz und Bauplatz ist in der Regel jedoch nicht möglich und wird zumindest teilweise manuell über Rollcontainer o.ä. umgesetzt. Bisherige Ladungsträgerkonzepte für Euronormbehälter sind allerdings nicht skalierbar und bedingen ein häufiges Umpacken und Verdichten der Euronormbehälter. Dieser Beitrag stellt ein Konzept eines modularen Ladungsträgers für Euronormbehälter vor, welches sich durch koppelbare Ladungsträgermodule, die sich zu größeren Verbunden kombinieren lassen, auszeichnet. Hierdurch werden der Volumennutzungsgrad und die Flexibilität verbessert und schlankere Logistikprozesse erreicht.

*[Schlüsselwörter: Koppelbare Ladungsträger, Euronormbehälter, skalierbar, modular]*

**E**uro containers are established in almost every industry for the transport and storage of small-parts. However, a fully automated transport between storage location and point-of-use is not always possible and instead realized by manual transport with rollable load carriers. State of the art load carrier concepts for containers are not scalable and need to be repacked and densified very often. In order to encounter this problem, this article deals with connectable load carrier modules which can be combined to individual load carrier units. This improves the volume efficiency and flexibility and enables leaner logistics processes.

*[Keywords: connectable load carrier, Euro container, scalable, modular]*

## 1 EINLEITUNG

Der Einsatz manueller Transport- und Lagertechniken ist auch in Zukunft nicht aus der Inter- und Intralogistik wegzudenken. Zwar spielen hochautomatisierte Systeme vor allem in der Materialversorgung von Großserienproduktionen mit hohem Materialdurchsatz eine zunehmend wichtige Rolle, um den Personaleinsatz und die laufenden Kosten zu reduzieren, doch eine vollständige Automatisierung der gesamten Materialversorgung ist mit dem derzeitigen Stand der Technik oft nicht wirtschaftlich zu realisieren. Aufgrund fehlender Flexibilität und der Forderung nach kurzen Reaktionszeiten kommen insbesondere in dynamischen Produktionsstrukturen mit niedrigen Produktionsraten häufig manuelle Transportmittel zum Einsatz [WIL06], [GÜN06]. Dies trifft gerade auf die Kleinserien- und Einzelfertigung zu, da sich teure Automatisierungstechnik durch den geringen Materialdurchsatz selten amortisiert.

Insbesondere an manuell betriebenen Produktions- und Logistikstandorten stellen Ladungsträger für den Transport von Euronormbehältern und losen Bauteilen einen großen Flächentreiber dar und besitzen aufgrund der zahlreichen Handhabungsschritte einen hohen Einfluss auf die Personalkosten. Doch die Anforderungen an Ladungsträger seitens Logistik und Produktion lassen sich nur schwierig vereinen. Während die Logistik möglichst standardisierte Ladungsträger mit hoher Kapazität und Packungsdichte fordert, um so die erforderlichen Flächen und Handhabungsaufwände gering zu halten, ist von der Produktion oft ein flexibler und auf den Arbeitsplatz zugeschnittener Sonderladungsträger mit hoher Ergonomie gewünscht. Diese gegensätzlichen Anforderungen lassen sich häufig nicht vereinen. Deshalb werden meist unterschiedliche Ladungsträger für Logistik und Produktion verwendet, die allerdings das Umpacken der Materialien erfordern.

In diesem Beitrag wird die Verwendung von Ladungsträgern für den Transport von Euronormbehältern und losen Bauteilen betrachtet und die damit verbundenen Probleme und Optimierungspotentiale aufgezeigt. Dabei wird auf die konstruktiven Defizite derzeitiger Ladungsträger vor dem Hintergrund einer effizienten Auslastung und Flexibilität eingegangen und optimiertes Ladungsträgerkonzept vorgestellt.

## **2 VERWENDUNG UND OPTIMIERUNGSPOTENTIALE AKTUELLER LADUNGSTRÄGER**

Ladungsträger spielen in der Produktion von komplexen Großstrukturen in Einzel- oder Kleinserienfertigung eine wichtige Rolle. Dies ist beispielsweise bei Flugzeugen, Schiffen oder im Energieanlagenbau der Fall. Die gefertigten Produkte besitzen oft eine Vielzahl zu montierender Teile, die sich abhängig vom Fertigungsauftrag stark in Form und Größe unterscheiden. Dies macht sowohl den Logistik- als auch den Montageprozess komplex und aufwändig. Eine Automatisierung der Logistikprozesse ist deshalb nur schwer möglich. Stattdessen werden die Logistikprozesse manuell mit einer Vielzahl unterschiedlicher Ladungsträger umgesetzt.

Der manuelle Transport von Behältern und losen Teilen erfolgt in der Regel in einem Transportladungsträger. Hierfür wird oft auf Rollcontainer oder -wagen zurückgegriffen, die sich händisch verfahren lassen. Diese Ladungsträger werden auf maximale Kapazität ausgelegt, um große Transporteinheiten bilden zu können und so den Transportaufwand zu minimieren. Dies geschieht zu Lasten der Produktion, denn die Größe der Ladungsträger reduziert die Ergonomie und entspricht nicht der Forderung nach einer fertigungsgerechten Materialbereitstellung. Hinzukommt die fehlende Skalierbarkeit üblicher Ladungsträgerkonzepte, die des Öfteren zu einem schlechten Volumennutzungsgrad führt. Der Umfang der Materialtransporte hängt vom jeweiligen Fertigungsauftrag ab und unterscheidet sich teilweise stark. Da sich momentan gebräuchliche Ladungsträger nicht an das Transportvolumen adaptieren lassen, ergibt sich vor allem bei kleinem Transportvolumen ein schlechter Volumennutzungsgrad.

Ein hoher Anteil an manuellen Logistikprozessen erfordert zugleich einen hohen Personalaufwand und damit hohe Personalkosten. Neben den eigentlichen Materialtransporten sind die Kommissionier- und Konsolidiertätigkeiten die personalintensiven Arbeiten in der Intralogistik. Selbst in der teilweise hochautomatisierten Behälterlogistik werden diese Tätigkeiten fast ausschließlich manuell abgewickelt, da das umfangreiche und komplexe Teilespektrum sich momentan nur durch teure Kommissionierroboter abwickeln lässt. Die Komplexität des Teilespektrums erzeugt zudem immer wieder die Notwendigkeit zum Zusammenführen, Sortieren und (Wieder-)Verpacken von Teilen. Die so entstehenden Konsolidierschritte stehen in engem Zusammenhang mit

der Größe des Lagers und der Anzahl abgetrennter Lagerbereiche. Mehrfaches Konsolidieren ist insbesondere dann erforderlich, wenn aus verschiedenen Lagerbereichen Material zusammengeführt werden muss.

Die Zusammenführung von Material unterschiedlicher Lagerbereiche ist in der Regel mit dem Umladen auf einen neuen Transport-Ladungsträger verbunden. Üblicherweise werden als Ladungsträger standardisierte Rollcontainer eingesetzt, die in großer Anzahl vorhanden sind und durchgängig verwendet werden. Um die Zahl der Transporte zu reduzieren steht hierbei insbesondere der Volumennutzungsgrad der Ladungsträger im Vordergrund. Übliche Ladungsträger bieten keine Möglichkeit der Variation von Größe und Geometrie, folgend als Skalierung bezeichnet, um sich dem jeweiligen Platzbedarf anpassen zu lassen. Häufig führt dies zu einer schlechten Ausnutzung der Ladungsträger und damit verbundenen Flächenverschwendung. Eine Anpassung auf die gegebenen Anforderungen des gesamten Prozesses erfolgt bisher nicht. Somit werden Materialien immer wieder neu verpackt, konsolidiert und sortiert und zusätzlicher manueller Aufwand erzeugt.

Die Materialbereitstellung unterschiedlicher Artikel wie Behälterwaren, Langgut und sperriger Güter erfordert unterschiedliche Ladungsträger oder Ladungsträger die spezifisch für den Transport unterschiedlicher Artikel entwickelt wurden. Die Modularisierung von Ladungsträgern ist ein Ansatz für die Lösung dieser Herausforderung, da sie die Umkonfiguration und Anpassung an den jeweiligen Gesamtprozess ermöglicht. Damit ließen sich Ladungsträger flexibel an die anspruchsvollen Bedürfnisse der Logistikprozesse für die komplexe Einzel- und Kleinserienproduktion anpassen.

## **3 KLEINTEILELOGISTIK AM AIRBUS-STANDORT HAMBURG**

Im Rahmen des DEPOT-Projektes (Digitale Entwicklung, Produktion, Logistik und Transport) des Luftfahrtforschungsprogramms mit dem Kooperationspartner Airbus wird die Kleinteilelogistik mit Euronormbehältern für die Flugzeugproduktion am Standort Hamburg-Finkenwerder betrachtet. Der Standort ist mit über 12.000 Beschäftigten der drittgrößte Luftfahrtstandort weltweit [AIR19]. Durch den steigenden Bedarf an Verkehrsflugzeugen und den stetigen Produktionshochlauf in Hamburg besteht ein ständiger Flächendruck innerhalb der Produktion und Logistik. Der steigende Materialdurchsatz erfordert einen wirtschaftlichen Umgang mit Logistikflächen und schlankere Prozesse. Das Produktionsprogramm bildet mit seinem Schwerpunkt des Innenausbaus von Kabinen ein gutes Beispiel für die Herstellung komplexer Großstrukturen in Einzel- und Kleinserienfertigung. In besonderem Maße spielen deshalb Ladungsträger eine Rolle, da diese durch die Vielfalt der Bauteile die Kom-

plexität der Logistikprozesse beeinflussen und große Logistikflächen in Anspruch nehmen.

Die im vorherigen Abschnitt identifizierten Probleme bestätigen sich weitgehend bei der Betrachtung des Airbus-Standortes Hamburg. Aufgrund der Größe des Produktionsstandortes von mehreren Quadratkilometern, der großen Entfernungen zwischen Bauplätzen und Logistikflächen und des großen Teilespektrums ist die automatisierte Materialversorgung bis zum Bauplatz nicht sinnvoll realisierbar. Auch die im Vergleich zu anderen Industrien niedrigen Produktionszahlen und damit verbundenen niedrigen Pickraten sprechen gegen eine Automatisierung. Stattdessen erfolgt der Transport von Kleinteilen mit einem rollbaren Gitterwagen (siehe Abbildung 1), der sowohl manuell als auch mit dem Gabelstapler verfahren werden kann. Er besitzt eine Grundfläche von 120 cm x 70 cm und bietet in bis zu fünf Ebenen, getrennt durch Gittereinlegeböden, Platz für Behälter, Langteile und lose Kartons. Aufgrund der enthaltenen Rahmenstruktur ergibt sich allerdings ein geringeres Innenmaß, sodass pro Ebene maximal zwei der üblichen 60 cm x 40 cm Behälter aufgenommen werden können. Zwar lässt sich der Freiraum durch kleinere Behälter nutzen, dies ist jedoch nur in begrenztem Maße möglich, was letztendlich dazu führt, dass der Gitterwagen auch bei Vollbeladung meist nicht vollständig ausgelastet ist. Daraus folgt eine höhere Anzahl benötigter Ladungsträger mit den entsprechend erhöhten Flächenbedarfen und Transportaufwänden.

Für die Kommissionierung der Artikel aus den Fachbodenanlagen wird ein spezieller Kommissionierwagen verwendet. Dieser besitzt Auszüge für bis zu neun Euro-normbehälter und verfügt über eine zusätzliche Arbeitsfläche mit Verpackungsmaterial. Hier finden die zur Kommissionierung nötigen Arbeitsschritte statt, wie z.B. das Zählen, Verpacken und Labeln der Bauteile und das anschließende Verstauen in den Behältern. Der Gitterwagen kann für das Kommissionieren nicht verwendet werden, da er weder Stauflächen für Verpackungsmaterial noch Auszüge für die Behälter besitzt, die für das Kommissionieren erforderlich sind. Im Anschluss an die Kommissionierung müssen die Behälter deshalb auf einem Umlagerplatz vom Kommissionierwagen auf den Gitterwagen umgepackt werden.

Anschließend an den Kommissioniervorgang wird der Gitterwagen zur Auftragszusammenführung transportiert, wo Material aus unterschiedlichen Lagerbereichen zwischengelagert wird, um anschließend gemäß dem Fertigungsauftrag zusammengeführt zu werden. Hierbei werden zusammengehörige Materialien auf einen neuen Gitterwagen gestellt. Insbesondere große Lager verfügen häufig über mehrere Auftragszusammenführungsflächen, weshalb sich der Prozess der Auftragszusammenführung beliebig wiederholen kann bis alle zum Fertigungsauftrag gehörenden Materialien vollständig vorliegen. Mit jedem

weiteren Zusammenführungsschritt ist damit ein erneutes Umpacken auf einen weiteren Ladungsträger erforderlich.



Abbildung 1. Rollbarer Gitterwagen für den Transport von Euronormbehältern bei Airbus.

Im Anschluss an die Auftragszusammenführung erfolgt der Transport der fertigungsgerecht zusammengestellten Gitterwagen zum sogenannten Marktplatz. Der Marktplatz dient als fertigungsnahe Pufferzone für die Bereitstellung des vollständig kommissionierten Materials und ermöglicht den flexiblen Abruf durch die Airbus Mitarbeiter gemäß des Just-in-Time Prinzips [BAT12]. Dieser Marktplatz liegt entweder unmittelbar am Produktionsstandort oder innerhalb des Lagers und beinhaltet einen weiteren Auftragszusammenführungsschritt für Fehlteile oder Materialien, die aus anderen Lagern zugeführt werden müssen. Mit diesem Zusammenführungsschritt ist der Auftrag finalisiert und der Gitterwagen vollständig bestückt. Das Material kann nun abgerufen und an den Bauplatz transportiert werden, wo es verbaut wird.

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, gehen die Anforderungen der Logistik und Fertigung an Ladungsträger selten konform. So zeigt sich auch am Beispiel des Airbus-Standortes Hamburg, dass die zusammengestellten Gitterwagen aufgrund ihrer Größe für eine fertigungsnahe Verwendung ungeeignet sind. Für die Verwendung am Montageort in der Flugzeugkabine sind die Gitterwagen zu groß und die engen Transport- und Arbeitswege würden durch die großen Gitterwagen zusätzlich blockiert. Weiterhin ist die Menge an Material, die durch einen Gitterwagen bereitgestellt wird, häufig zu groß, um in einer Schicht durch einen Mitarbeiter verbaut zu werden. Die Folge ist der zeitgleiche Zugriff mehrerer Mitarbeiter auf das Material und der manuelle Transport der Behälter durch die Werker zum Verbauort.

Das beschriebene Szenario veranschaulicht die Häufigkeit, mit der Kleinteilebehälter den Transportladungs-

träger wechseln und den damit verbundenen Aufwand. Weiterhin führt die fehlende Flexibilität und Skalierbarkeit des verwendeten Gitterwagens zu einer schlechten Volumennutzung und einem erhöhten Transportaufwand. Zusammenfassend sind die Schwächen des derzeitigen Ladungsträgerkonzeptes nachfolgend stichpunktartig aufgeführt:

- Schlechter Volumennutzungsgrad aufgrund der nicht auf die Euronormbehälter abgestimmten Abmessungen
- Durch Größe und fehlendes Verpackungsmaterial für die Kommissionierung ungeeignet
- Häufige Umpackvorgänge für Konsolidierung und Sortierung notwendig
- Ungenügende Ergonomie für die Verwendung durch Werker am Bauplatz
- Größe des Ladungsträgers ungeeignet für die Verwendung an engen Bauplätzen

Um die gegensätzlichen Anforderungen aus der Logistik und Produktion zu erfüllen und gleichzeitig die prozesseitige Flexibilität zu wahren ist ein neues Ladungsträgerkonzept gefordert. Dieses wird im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt.

#### 4 LADUNGSTRÄGERKONZEPT

Um den in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Herausforderungen zu begegnen, wird am Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Hamburg ein modularer Ladungsträger entwickelt, der sich durch Koppeln verschiedener Module dem jeweiligen Bedarf anpassen lässt und ein Zusammenführen von unterschiedlichen Materialien aus verschiedenen Lagerbereichen ermöglicht. Die einzelnen Module sind dabei als autark funktionierende Rollcontainer aufgebaut, die sich mit anderen Modulen über einen Kopplungsmechanismus verbinden lassen und somit die Bildung von Verbänden aus beliebig vielen Modulen erlauben (siehe Abbildung 2). Die Module können dabei verschieden aufgebaut sein und unterschiedliche Funktionen beinhalten.

Das Hauptmodul bildet das Lagermodul für Euronormbehälter, welches pro Ebene einen Behälter bis zu einer Größe von 60 cm x 40 cm aufnehmen kann. Die einzelnen Ebenen verfügen dabei über ausziehbare Tablare, die sowohl eine Mischbestückung aus verschiedenen großen Behältern als auch die Beladung mit losen Kartons erlauben. Die Tablare lassen sich in der Höhe verschieben, wodurch sich die Anzahl der Lagerebenen individuell dem jeweiligen Bedarf anpassen lässt. Durch die Auszüge ist der Zugriff auf die Behälter möglich, ohne diese entnehmen zu müssen, was die Zugänglichkeit des Materials erhöht und eine hohe Ergonomie gewährleistet.



Abbildung 2. Ladungsträgerverbund aus insgesamt vier gekoppelten Lagermodulen für Euronormbehälter.

Neben dem Ladungsträgermodul für Euronormbehälter ist ein Modul für die Lagerung von Langteilen bzw. sperrigen Gütern geplant. Zusammen bilden sie die Gruppe der Lagermodule. Das Zusammenspiel beider Module ermöglicht den fachgerechten, zeitgleichen Transport von Kleinteilen und sperrigen Gütern, ohne auf kostenintensive Sonderladungsträger zurückgreifen zu müssen. Ergänzt werden die Lagermodule durch die sogenannten Funktionsmodule. Ein solches Funktionsmodul ist das geplante Kommissioniermodul, welches für das manuelle Kommissionieren in Fachbodenanlagen verwendet werden und den derzeit eingesetzten Kommissionierwagen ablösen soll. Das Kommissioniermodul bietet Platz für Verpackungsmaterialien, Handscanner und Terminal und verfügt über eine Arbeitsfläche, auf der die erforderlichen Arbeitsschritte wie Zählen, Verpacken und Labeln ausgeführt werden können. Weiterhin wird ein Erweiterungsmodul für den Transport von Werkzeugen entwickelt. Dieses ermöglicht den zeitgleichen Transport des Materials und des benötigten Werkzeugs an den Bauplatz und verringert zusätzliche Wegezeiten.

Bei der Wahl der Gesamthöhe des Ladungsträgermoduls muss ein Kompromiss zwischen maximaler Kapazität und Ergonomie bzw. Standsicherheit eingegangen werden. So ist eine möglichst hohe Kapazität aus Sicht der Flächennutzung zwar zu erstreben, doch demgegenüber steht die mit steigender Höhe reduzierte Standsicherheit und Ergonomie. Die Standsicherheit wird in Abschnitt 6.2 gesondert betrachtet.

## 5 ERWARTETER MEHRWERT

Das neue Ladungsträgerkonzept weist gegenüber dem derzeitigen verwendeten Gitterwagen einige Vorteile auf, die einerseits aus der modularen Gestaltung aber auch aus dem grundlegenden Aufbau der Einzelmodule resultieren. So führt die im Vergleich zum Gitterwagen deutlich geringere und auf Euronormbehälter abgestimmte Grundfläche zu einem höheren Volumennutzungsgrad des Ladungsträgers. Die Module sind dadurch auch bei geringem Platzbedarf besser ausgelastet und lassen sich durch das Koppeln zusätzlicher Module flexibel dem jeweiligen Bedarf anpassen. Dies resultiert in Flächeneinsparungen entlang der gesamten Lieferkette, da sämtliche Stellflächen innerhalb des Lagers und der Fertigung reduziert werden können. Auch die Zahl der intra- und interlogistischen Transporte lässt sich damit senken. Weiterhin bietet die geringe Grundfläche der Module Vorteile in der Handhabung, da sich die Module aufgrund der geringeren Größe mit weniger Kraftaufwand transportieren lassen und auch die Verwendung innerhalb der Flugzeugkabine problemlos möglich ist. Dies erspart den manuellen Transport loser Behälter und reduziert Wegezeiten.

Ergänzt wird diese Eigenschaft durch die ausziehbaren Tablare, die einen ergonomischen Zugriff auf den Behälterinhalt gestatten ohne die Behälter entnehmen zu müssen. Dies ermöglicht ein angenehmes Arbeiten und vergrößert die Einsatzmöglichkeiten des Ladungsträgers, da dieser sowohl für das Kommissionieren als auch direkt am Bauplatz verwendet werden kann. Durch die Höhenverstellbarkeit der Tablare wird zudem eine hohe innere

Flexibilität erreicht. So können die einzelnen Lagerebenen individuell der Höhe des Lagergutes angepasst werden. Durch Hinzufügen weiterer Tablare lässt sich auf diese Weise die Kapazität für flache Behälter weiter steigern.

Neben den ladungsträgerspezifischen Vorteilen stellt die Modularität den größten Mehrwert des Konzeptes dar. Durch die Kombination unterschiedlicher Ladungs- und Funktionsmodule ist die Erstellung eines äußerst flexibel nutzbaren individuellen Modulverbundes möglich. So lassen sich durch die Verbindung von Behälter- und Langteilm modul sowohl der Transport von Kleinteilen in Euronormbehältern als auch von Langteilen in einem gemeinsamen Ladungsträger abbilden. Durch das Hinzufügen weiterer Lagermodule ist zudem die Skalierbarkeit gegeben, die eine Anpassung an den jeweiligen Platzbedarf über die Modulanzahl ermöglicht. Dies erhöht den Volumennutzungsgrad bei geringem Materialvolumen und reduziert dadurch den Flächenbedarf für Ladungsträger entlang der gesamten Lieferkette.

Auch für die logistischen Prozesse ergeben sich Vorteile aus der Nutzung des modularen Ladungsträgers, denn die Kopplungsfähigkeit ermöglicht die Materialzusammenführung aus unterschiedlichen Lagerbereichen ohne ein manuelles Umpacken (siehe Abbildung 3). So ist es möglich die Module in den jeweiligen Bereichen getrennt voneinander zu bestücken und anschließend zu koppeln. Die in Kapitel 3 beschriebenen Konsolidierungsschritte werden dadurch beschleunigt, da die manuelle Umlagerung der Behälter und Bauteile auf einen neuen Ladungsträger nicht mehr erforderlich ist.

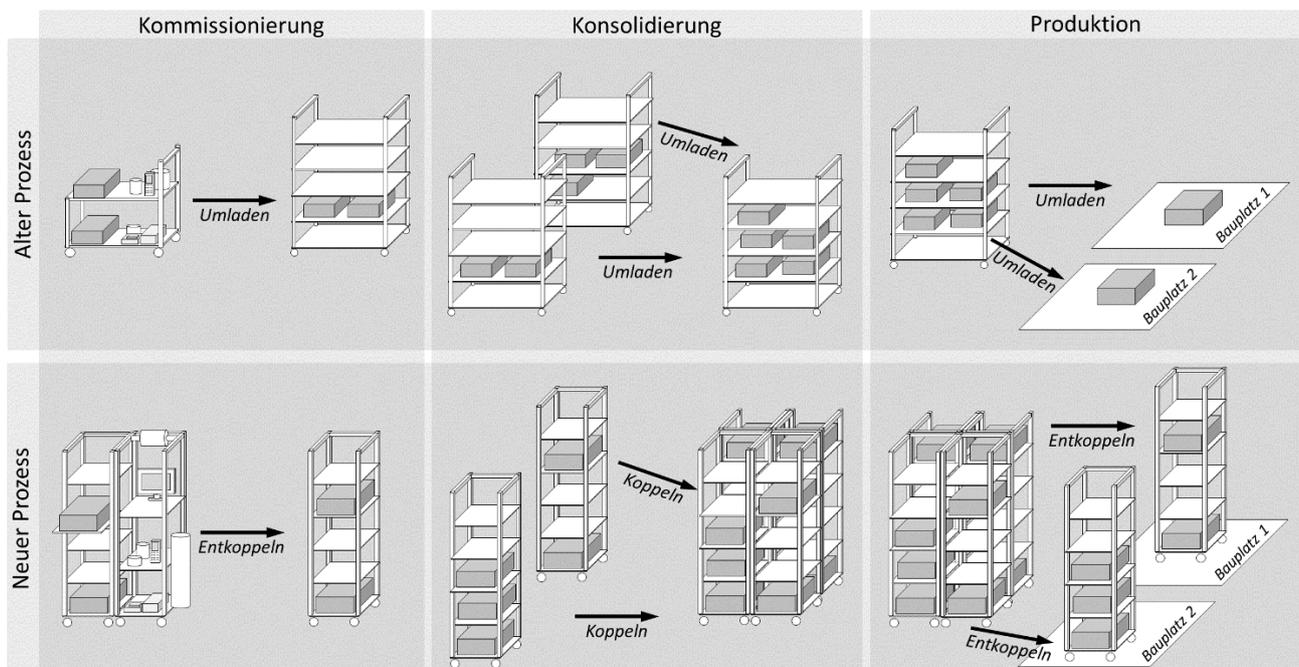


Abbildung 3. Schematische Darstellung des Logistikprozesses für Euronormbehälter mit dem derzeitigen Gitterwagen (oben) und dem neuen Ladungsträgerkonzept (unten) im Vergleich.

Neben der Prozesszeit, die hierdurch eingespart wird, wird ebenfalls die erforderliche Fläche für die Konsolidierung reduziert. Zwar müssen weiterhin Pufferflächen für die Zwischenlagerung der Einzelmodule und die anschließende Kopplung vorgehalten werden, doch diese können durch den Wegfall der Umlagervorgänge und den höheren Volumennutzungsgrad der Module reduziert werden.

Ebenfalls lassen sich innerhalb der Kommissionierung große Vorteile feststellen. Durch die zeitweise Kopplung des Kommissioniermoduls an ein Lagermodul ist somit das direkte Bestücken des Ladungsträgers ohne ein anschließendes Umpacken der Materialien möglich. Der derzeit verwendete Kommissionierwagen ist damit nicht mehr erforderlich und der anschließende Umlagervorgang auf den Gitterwagen entfällt vollständig (siehe Abbildung 3).

Die flexible Zusammenführung von Material im Lager lässt sich in umgekehrter Weise auf die Produktion übertragen. Hier ermöglicht die Entnahme einzelner Module aus dem Verbund das gezielte Verteilen der Bauteile auf verschiedene Bauplätze. Durch diese Flexibilität lassen sich Änderungen in den Fertigungsabläufen und Umstrukturierungen innerhalb der Produktion gut abbilden.

In der nachfolgenden Auflistung sind die Vorteile des neuen Ladungsträgerkonzeptes gegenüber dem derzeit bei Airbus verwendeten Gitterwagen aufgeführt. Die prozessseitigen Auswirkungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

- Höherer Volumennutzungsgrad
- Skalierbarer und anwendungsspezifisch konfigurierbarer Ladungsträgerverbund
- Reduzierung der Umpackvorgänge
- Bedarfsgerechte Materialverteilung auf verschiedene Bauplätze
- Ergonomische Handhabung
- Fertigungsnahe Verwendung und bessere Zugänglichkeit aufgrund geringerer Abmessung

## 6 ANFORDERUNGSANALYSE

In diesem Abschnitt sollen die Umsetzung des zuvor beschriebenen Konzeptes und die notwendigen Entwicklungsschritte aufgezeigt werden. Hierbei wird in erster Linie auf die Anforderungen an den Ladungsträger und die daraus resultierenden Herausforderungen eingegangen. Die Ermittlung der einzelnen Anforderungen erfolgte im intensiven Kontakt mit Airbus und orientiert sich an den bereits diskutierten Problemen und Optimierungspotentialen der zu Grunde liegenden Prozesse. Die Anforderungen lassen sich in die Kategorien Wirtschaftlichkeit, Ergonomie und Funktionalität einordnen (siehe Abbildung 4).

Die Sicherheit gilt als Grundvoraussetzung und ist allen anderen Anforderungen übergeordnet. Sie muss in allen Betriebszuständen gewährleistet sein.

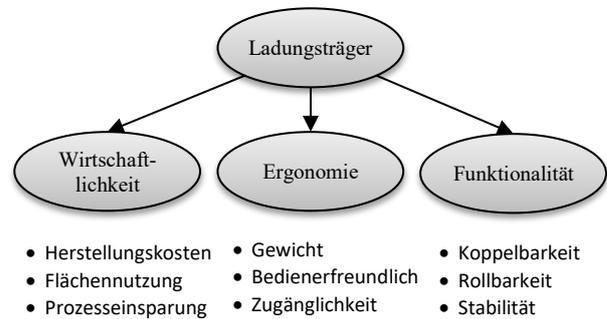


Abbildung 4. Anforderungskategorien mit den wichtigsten Kernanforderungen an den neuen Ladungsträger.

Als größter Entwicklungstreiber steht die Wirtschaftlichkeit bei der Konzeptionierung eines neuen Ladungsträgers im Vordergrund. So müssen in diesem konkreten Fall die verbesserte Flächennutzung und Prozesseinsparungen die Entwicklungs- und Herstellungskosten des neuen Ladungsträgers aufwiegen. Eine quantitative Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht möglich, da sowohl die Herstellungskosten des Ladungsträgers als auch das Einsparpotential bis jetzt nicht bekannt sind. Insbesondere die prozessseitigen Vorteile müssen in zukünftigen Untersuchungen genauer betrachtet und bewertet werden.

Ebenso ist die Ergonomie eine wichtige Anforderung, deren Erfüllung eine effektive Verwendung des Ladungsträgers erst ermöglicht. Neben dem Aspekt der körperchonenden Bedienung durch erleichterte Zugänglichkeit oder ein niedriges Gewicht, steht hierbei die Bedienerfreundlichkeit im Vordergrund. Vor allem die Betätigung des Kopplungsmechanismus soll mit wenig Kraftaufwand und durch wenige Handgriffe erfolgen, um ein schnelles Koppeln zu realisieren.

Zu den funktionalen Anforderungen zählen die Koppelbarkeit, Rollbarkeit und Stabilität des Ladungsträgers. Vor dem Hintergrund der zu gewährleistenden Sicherheit im Zusammenhang mit der Forderung nach einem rollbaren Ladungsträger ist die genaue Betrachtung der Standsicherheit nötig. Diese wird durch die Anordnung der erforderlichen Rollen maßgeblich beeinflusst und bildet zusammen mit der Kopplungsfähigkeit die zentralen Herausforderungen des Ladungsträgerkonzeptes, weshalb auf diese Punkte im Nachfolgenden genauer eingegangen wird.

### 6.1 KOPPLUNGSMECHANISMUS

Die zentrale Funktion des Ladungsträgers ist die Koppelbarkeit der Einzelmodule. Der Kopplungsmechanismus nimmt damit die höchste Wichtigkeit überhaupt

ein und muss entsprechend ausgelegt werden. Ein Umsetzungsvorschlag kann an dieser Stelle noch nicht präsentiert werden, da die speziellen Anforderungen kaum durch bestehende Lösungen abgedeckt werden können und folglich eine Neuentwicklung erforderlich ist. Deshalb werden im Nachfolgenden ausschließlich die Anforderungen und damit verbunden Herausforderungen aufgezeigt. Die Anforderungen lassen sich in drei Hauptkategorien einordnen:

- Schnelle und einfache Kopplung
- Sicherheit und Stabilität
- Ergonomische Bedienung

### **Schnelle und einfache Kopplung**

Die Geschwindigkeit, mit der die Kopplung der Module vollzogen werden kann, ist von besonderer Bedeutung, da sie einen großen Einfluss auf die Prozesszeit hat. Als zentrale Herausforderung ist hierfür die Ausrichtung der Module für die Kopplung zu sehen. In der Praxis kann nicht gewährleistet werden, dass die Einzelmodule für die Kopplung vom Bediener exakt zueinander positioniert werden. Stattdessen ist damit zu rechnen, dass sowohl ein geringer Abstand als auch ein seitlicher Versatz der Module untereinander besteht. Diesen gilt es durch den Kopplungsmechanismus auszugleichen, um eine korrekte Kopplung in der richtigen Position zu gewährleisten. Der Mechanismus muss die Module sowohl seitlich zueinander zentrieren als auch einen eventuellen Abstand durch Heranziehen der Module ausgleichen. Die aufwändige Ausrichtung der Module durch den Bediener wird auf diese Weise umgangen.

Für eine schnelle Kopplung ist ebenfalls die Komplexität der Betätigung und insbesondere die Anzahl erforderlicher Handgriffe von Bedeutung. Diese gilt es gering zu halten, um ein schnelles Koppeln zu ermöglichen. Da jedes der Ladungsträgermodule innerhalb des Ladungsträgerverbundes einzeln gekoppelt werden muss, führt dies besonders bei großen Verbunden zu einem hohen Aufwand. Dies verdeutlicht die Erfordernis einer schnellen und einfachen Kopplungsmöglichkeit.

### **Sicherheit und Stabilität**

Die sichere Bedienung des Kopplungsmechanismus muss durchgängig gegeben sein. Damit ist neben der zu vermeidenden Verletzungsgefahr durch Klemmen oder überstehende Elemente vor allem der Ausschluss von Fehlbedienung gemeint, die zu einem ungewollten Koppeln oder Entkoppeln führen kann. Aus diesem Grund muss der Betätigungsmechanismus entsprechend gesichert sein, um ein Lösen durch äußere Einflüsse zu verhindern. Außerdem muss der Kopplungszustand für den Bediener von außen erkennbar sein. Durch die Position des Betäti-

gungsmechanismus oder andere Merkmale muss ersichtlich sein ob sich ein Modul im gekoppelten oder entkoppelten Zustand befindet.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Eindeutigkeit der Bedienung. So muss einerseits die Art der Bedienung einfach gehalten werden. Komplizierte Bewegungen sind damit zu vermeiden. Zum anderen muss eine eindeutige Zuordnung des Betätigungsmechanismus zu den jeweiligen Kopplungsseiten bestehen. Durch die zwei möglichen Kopplungsseiten eines jeden Moduls, die getrennt voneinander zu betätigen sein sollen, besteht Verwechslungsgefahr. So muss entweder durch eine eindeutige Markierung oder die logische Positionierung des Betätigungsmechanismus die zugehörige Kopplungsseite erkennbar sein.

### **Ergonomische Bedienung**

Um eine für den Nutzer angenehme Betätigung zu ermöglichen muss eine ergonomische Bedienung und Erreichbarkeit des Betätigungsmechanismus gegeben sein. Sowohl für kleine als auch große Menschen muss der Mechanismus bequem erreichbar sein und ohne großen Kraftaufwand betätigt werden können. Dies gilt sowohl im leeren als auch im beladenen Zustand, was mögliche Positionen erheblich einschränkt.

## **6.2 STANDSICHERHEIT**

Die Standsicherheit ist eine wichtige Fragestellung in der Entwicklung von rollbaren Ladungsträgern, denn während eines Lebenszyklus treten nicht nur am Bauplatz, sondern auch während des gesamten logistischen Prozesses etwaige Hindernisse auf, an denen ein rollender Ladungsträger kippen kann. Das Kippen kann zum Beispiel durch verkehrtes Beladen oder das Überfahren einer Bordsteinkante verursacht werden. Grundsätzlich werden diese Situationen zur Bewertung in zwei Arten des Kippens unterteilt. Diese sind als das statische und das dynamische Kippen bekannt und werden wie folgt definiert:

### **Statisches Kippen aufgrund einer exzentrisch angreifenden Kraft [SCH80]**

Durch das Angreifen einer exzentrischen Kraft kommt es zur Ausbildung eines Kippmomentes. Ist dieses größer als das durch die Gewichtskraft verursachte Standmoment, kommt es zum Kippen. Das Verhältnis aus Kippmoment und Standmoment wird als Standsicherheit bezeichnet [BÖG11].

### **Dynamisches Kippen aufgrund der Blockierung der Rollen während der Fahrt [SCH80]**

Durch ein plötzliches Blockieren der Rollen während der Fahrt kommt es aufgrund von Trägheitskräften zu einem Aufstellen des Ladungsträgers über die blockierten Rollen. Sofern die Trägheitskraft entsprechend groß ist überwindet der Schwerpunkt die Auflagepunkte der Rol-

len und der Ladungsträger fällt um. Eine hohe Schwerpunktlage begünstigt diesen Vorgang zusätzlich und sollte unbedingt vermieden werden.

### Übertragung auf den Ladungsträger

Die Standsicherheit wurde bereits sehr früh als größte Herausforderung des Ladungsträgerkonzeptes identifiziert. Infolge der geringen Grundfläche und der im Vergleich großen Höhe der einzelnen Module ist die Gefahr des Kippens eindeutig gegeben.

Für das statische Kippen müssen zwei Anwendungsfälle berücksichtigt werden. Das Ausziehen eines der beladenen Tablare kann zu einer Verschiebung des Schwerpunktes außerhalb der Standfläche führen, wodurch es zum Kippen kommt. Ein geringes Eigengewicht des Ladungsträgers oder der Ladung auf den Tablaren wirkt verstärkend. Der zweite Anwendungsfall ist das langsame, quasi-statische Überfahren einer Kante oder einer Schwelle im Boden. Dies erfordert eine seitliche auf den Ladungsträger wirkende Kraft um das Hindernis zu überwinden. Ist die erforderliche Kraft so groß, dass sie das rückstellende Moment überwindet, kommt es zum Kippen. Derartige Kanten sind häufig an Laderampen, Halblentoren oder Fahrstuhltüren anzutreffen und stellen für den Ladungsträger ein ernsthaftes Hindernis dar. Analog können diese Hindernisse zu einem Blockieren der Rollen während der Fahrt führen. Die Folge ist das dynamische Kippen aufgrund der Blockierung der Rollen.

Als Ursache für die rückstellende Kraft haben die Masse und Lage des Schwerpunktes einen starken Einfluss auf die Standfestigkeit des Ladungsträgers. Ein hohes Gewicht bei gleichzeitig niedrigem Schwerpunkt führt zur größtmöglichen Kippstabilität und sollte in der Konstruktion berücksichtigt werden. So ist die Lage des Schwerpunktes beispielsweise durch die Verwendung einer schweren Grundplatte aus Stahl positiv zu beeinflussen. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Ergonomie unter dem zusätzlichen Gewicht leidet. Die Gewichtsverteilung ist zudem nur beschränkt beeinflussbar, da sie in besonderem Maße von der Zuladung und der Verteilung der Behälter abhängt.

In enger Beziehung zur Standsicherheit stehen die Größe und Position der Rollen des Ladungsträgers, da diese einen wesentlichen Einfluss auf die wirksame Standfläche haben. Für eine hohe Standsicherheit ist grundsätzlich eine möglichst große Standfläche durch weit auseinander positionierte Rollen anzustreben. Im Fall der koppelbaren Ladungsträger ergibt sich hierbei das Problem, dass sich Lenkrollen an den Koppelflächen durch überschneidende Schwenkradien gegenseitig blockieren können, was durch eine nach innen versetzte Positionierung zu verhindern ist. Die Verwendung von nicht drehbaren Bockrollen anstelle zweier Lenkrollen ist keine Option, weil dies die Verfahrbarkeit erheblich einschränkt und insbesondere im Verbund ein Lenken unmöglich

macht. Der Durchmesser der Rollen ist in erster Linie beim Überfahren von Hindernissen wie z.B. Kanten, Schwellen oder Verunreinigungen ausschlaggebend. Um diese Hindernisse zu überfahren ist eine seitliche angreifende Kraft erforderlich, die mit steigendem Rollendurchmesser abnimmt. Diese Kraft darf das Standmoment durch das Eigengewicht des Ladungsträgers nicht überschreiten, um ein Kippen zu verhindern. Mit großen Rollen lassen sich daher höhere Hindernisse ohne das Kippen des Ladungsträgers überwinden. Diese Einflussgröße steht jedoch in direkter Konkurrenz zur Position der Rollen, da diese mit zunehmendem Rollendurchmesser weiter ins Ladungsträgerinnere versetzt werden müssen um ein gegenseitiges Blockieren der Rollen an den Koppelflächen auszuschließen. Die Wahl des Rollendurchmessers in Kombination mit der Rollenposition ist eine zentrale Fragestellung und muss in zukünftigen Untersuchungen genauer betrachtet werden.

## 7 KRITISCHE BETRACHTUNG

Die größten Vorteile des vorgestellten Ladungsträgerkonzeptes sind in der Beschleunigung und Vereinfachung der Logistikprozesse angesiedelt. Dies setzt jedoch voraus, dass für die Einführung des Ladungsträgers eine gleichzeitige Anpassung der Prozesse durchgeführt wird.

Durch die mögliche Koppelbarkeit der Module wird eine Materialzusammenführung aus verschiedenen Lagerbereichen ohne Umpacken ermöglicht. Jedoch stellt das bisherige Konsolidieren auf einen neuen Gitterwagen zeitgleich eine Verdichtung des Materials dar, die mit der Kopplung der Einzelmodule entfallen würde. Voraussetzung für eine effiziente Platznutzung ist somit, dass bereits die Einzelmodule im jeweiligen Lagerbereich möglichst voll bestückt werden. Parallel dazu ergeben sich mindestens genauso viele Einzelmodule in einem Verbund, wie Materialien aus unterschiedlichen Lagerbereichen stammen. Dies muss in zukünftigen Analysen genauer betrachtet werden, da hier die prozessualen Vorteile möglicherweise einem erhöhten Flächenbedarf schlecht ausgenutzter Module gegenüberstehen.

Ebenso soll die Auftrennung der Module das Verteilen des Materials auf verschiedene Bauplätze innerhalb der Produktion ermöglichen und eine Versorgung mit kleiner dosierten fertigungsgerechten Materialzusammensetzungen erreichen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass bereits beim Bestücken der Module eine spätere Materialverteilung feststeht und beim Beladen der Module berücksichtigt wird. So müssen bereits beim Kommissionieren unterschiedliche Module für unterschiedliche Bauplätze verwendet werden. Insbesondere kurzfristige Änderungen in den Produktionsabläufen können aus diesem Grund nicht abgedeckt werden, da sie beim Kommissionieren noch nicht bekannt sind oder nicht berücksichtigt werden können.

Die angesprochenen Punkte zeigen, dass zur Einführung des neuen Ladungsträgerkonzeptes eine gleichzeitige Anpassung der Logistikprozesse erfolgen muss. Vor allem eine Anpassung der Materialzusammenstellungen auf die geringere Größe der Lagermodule ist erforderlich. Auch eine Umstrukturierung der Konsolidierflächen ist für das Zusammenführen der Ladungsträgermodule nötig und muss ebenso durch das Lagerverwaltungssystem unterstützt werden. Eine umfangreiche Anpassung der Logistikprozesse in einem großen und komplexen Unternehmen ist jedoch oft mit enormem Aufwand verbunden und kann als kritisch betrachtet werden. Auch die Vergabe der Logistik an einen Logistikdienstleister, wie es bei Airbus der Fall ist, stellt bei der Änderung von Prozessen eine große Herausforderung dar. In der Praxis muss sich zeigen, inwieweit die erhofften Prozessoptimierungen tatsächlich umzusetzen sind.

## 8 ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE GEPLANTE ARBEITEN

Das vorgestellte Ladungsträgerkonzept aus koppelbaren Ladungsträgermodulen, hat sowohl ladungsträgerspezifische Vorteile als auch Verbesserungen auf Prozessebene. So wird durch die geringe Grundfläche der Einzelmodule ein potentiell höherer Volumennutzungsgrad und eine skalierbare Ladungsträgerkapazität erzielt. Die Kombination von Ladungs- und Funktionsmodulen ermöglicht zudem die flexible Erzeugung eines Ladungsträgerverbundes und die gezielte Anpassung an den jeweiligen Bedarf.

Die schnelle und einfache Kopplung bzw. Trennung der Module führt zu einem schlankeren Prozess und verringert Handhabungsaufwände. In der Praxis ist hierfür jedoch Grundvoraussetzung, dass die Logistikprozesse auf das neue Ladungsträgerkonzept abgestimmt werden. In weiterführenden Analysen muss untersucht werden, wie viele Module miteinander gekoppelt werden müssen, um einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen. Zeitgleich ist die Zahl der koppelbaren Module insbesondere durch die Handhabbarkeit und Stabilität der Verbindungen beschränkt. Dementsprechend muss die maximale Verbundgröße genau betrachtet werden.

Ein weiteres Betrachtungsfeld für zukünftige Untersuchungen ist die Automatisierung oder Teilautomatisierung des Transportes einzelner Ladungsträgermodule sowie des Gesamtverbundes. Als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung des Konzeptes steht die Stapleraufnahme, da ein handgeführter Transport über weite Strecken unwirtschaftlich ist. Des Weiteren sollte die Integration der Ladungsträgermodule in einen Routenzug untersucht werden, da dabei der bereits vorhandene Kopplungsmechanismus genutzt werden könnte. Innerhalb des DEPOT-Projektes sollen außerdem fahrerlose Transportsysteme (AGVs – Automated Guided Vehicle) den Transport der Ladungsträger vollautonom überneh-

men. Denkbar ist die Entwicklung eines dedizierten AGV-Moduls, welches den vorhandenen Kopplungsmechanismus der Module für den Transport verwendet.

## FÖRDERHINWEIS

Das Projekt DEPOT wird innerhalb des Luftfahrtforschungsprogramms V-3 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## LITERATUR

- [ADL10] Adler, M.; *Ergonomiekompandium. Anwendung ergonomischer Regeln und Prüfung der Gebräuchlichkeit von Produkten*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 2010
- [AIR19] Airbus Operations GmbH, *Der Standort Hamburg* URL: <https://www.airbus.com/careers/apprentices-and-pupils/in-deutschland/in-deutschland-training-standorte/standort-hamburg.html>, abgerufen am 22.07.2019
- [BAT12] Battini, Daria; Boysen, Nils; Emd, Simon: *Just-in-Time supermarkets for part supply in the automobile industry*, Journal of Management Control, 2012
- [BÖG11] Böge, Alfred: *Technische Mechanik - Statik - Dynamik - Fluidmechanik - Festigkeitslehre*, 29. Auflage Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011
- [GÜN06] Günthner, W. A.; Chisu R.; Kuzmany F.: *Trends und Perspektiven in der Integralistik - 15. Deutscher Materialfluss-Kongress*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2006
- [KLU18] Klug, F.; *Logistikmanagement in der Automobilindustrie – Grundlagen der Logistik in der Automobilindustrie*, Springer Vieweg, Berlin, 2018

- [SCH80] Schönfeld, K. H.; *Statische und dynamische Kippgrenzen von Sattelfahrzeugen*, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 82, S. 119-124, 1980
- [WIL06] Wilke, Michael: *Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen*. Herbert Utz Verlag GmbH, München, 2006

---

**Martin Sliwinski M.Sc.**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technische Logistik, Technische Universität Hamburg. Martin Sliwinski studierte bis 2017 Flugzeugbau an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.

**Marko Thiel M.Sc.**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technische Logistik, Technische Universität Hamburg. Marko Thiel studierte bis 2015 Maschinenbau und Theoretischen Maschinenbau an der Technischen Universität Hamburg.

**Corin Manuel Raabe B.Sc.**, Technischer Mitarbeiter am Institut für Technische Logistik, Technische Universität Hamburg. Corin Manuel Raabe studiert Bioverfahrenstechnik an der Technischen Universität Hamburg und ist ausgebildeter Mechatroniker.

**Dr. Johannes Hinckeldeyn**, Obergeringieur am Institut für Technische Logistik, Technischen Universität Hamburg. Nach seiner Promotion in Großbritannien war Johannes Hinckeldeyn als Chief Operating Officer für einen Hersteller von Mess- und Labortechnik für die Batterieforschung tätig. Johannes Hinckeldeyn studierte Wirtschaftsingenieurwesen, Produktionstechnik und -management in Hamburg und Münster.

**Prof. Dr.-Ing. Jochen Kreuzfeldt**, Professor und Leiter des Instituts für Technische Logistik, Technischen Universität Hamburg. Nach seinem Maschinenbaustudium mit der Vertiefung Produktionstechnik war Jochen Kreuzfeldt in verschiedenen leitenden Positionen bei einem Unternehmen für Automobilsicherheitstechnik tätig. Anschließend übernahm Jochen Kreuzfeldt eine Professur für Logistik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und wurde Leiter des Instituts für Produkt- und Produktionsmanagement.

Adresse: Institut für Technische Logistik, Technische Universität Hamburg, Theodor-Yorck-Straße 8, 21079 Hamburg, Deutschland; Telefon: +49 40 42878-4905, E-Mail: martin.sliwinski@tuhh.de