

Klassifizierung von Automatisierungslösungen für das Handling im Bereich der Be- und Entladung von Einzelpackstücken

Classification of Automation Solutions for the Handling in the Field of Loading and Unloading of Single Parcels

Erik Möllmann M.Eng., TRAPO GmbH, 48712 Gescher, Deutschland, emoellmann@trapo.de

Dr.-Ing. Stefan Kurtenbach, TRAPO GmbH, 48712 Gescher, Deutschland, skurtenbach@trapo.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Bühren, Westfälische Hochschule, Mechatronik Institut Bocholt, 46397 Bocholt, Deutschland, michael.buehren@w-hs.de

Prof. Dr.-Ing. Tobias Bruckmann, Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, 47057 Duisburg, Deutschland, tobias.bruckmann@uni-due.de

Kurzfassung

Mechanische Automatisierungssysteme in der Logistikbranche werden eingesetzt, um Güter im Logistikzentrum zu lagern und zu transportieren oder um deren Lage und Ausrichtung für weitere Umschlag-, Sortier-, Lager- oder andere Prozesse zu manipulieren. Der Vergleich und die Klassifizierung der einzelnen Automatisierungssysteme ist aufgrund der großen Vielfalt möglicher Funktionsprinzipien in der gleichen Anwendung schwierig, insbesondere im Arbeitsbereich der Be- und Entladung von Transportfahrzeugen. Für die Entwicklung eines neuartigen Pakethandlingssystem wird zunächst der Stand der Technik anhand realer Systeme vorgestellt. Diese Systeme werden mit einem Bewertungsschema klassifiziert, damit die weitere Ausrichtung des Entwicklungsprozesses spezifiziert werden kann. Zu diesem Zweck werden drei verschiedene Kriterien eingeführt, die den Nutzen, den Arbeitsbereich und die Komplexität des Systems abdecken, ohne dass genaue technische Informationen über das untersuchte System ermittelt werden müssen. Die Bewertung zeigt, dass für eine neues Pakethandlingssystem vor allem die kontrollierte Manipulation des Einzelpackstücks bei gleichzeitiger dauerhafter Sturzabsicherung, die Integration von Be- und Entladefunktion sowie die Handhabung von ähnlichen, quaderförmigen Paketen wichtige Funktionen sind. Diese Funktionen integriert in einem System ermöglichen einen technologischen Vorsprung, der eine vielversprechende Perspektive hinsichtlich der Marktdurchdringung bietet.

Abstract

Mechanical automation systems in the logistics industry are used to store and transport goods in the logistics centre or to manipulate their position and orientation for further handling, sorting, storing or other processes. The comparison and classification of individual automation systems is difficult due to the great variety of possible operating principles in the same application, especially in the working area of loading and unloading transport vehicles. For the development of a new package handling system, the state of the art is first presented on the basis of real systems. These systems are classified with an evaluation scheme so that the further direction of the development process can be specified. For this purpose, three different criteria are introduced, covering the benefits, the working range and the complexity of the system, without the need to identify exact technical information about the system under investigation. The classification shows that for a new parcel handling system, the most important functions are the controlled manipulation of the handled parcel while providing permanent fall protection, the integration of the loading and unloading functions and the handling of similar cuboid parcels. These functions integrated in one system enable a technological edge, which offers a promising perspective in terms of market penetration.

1 Einleitung

In der Logistikbranche ist das Optimierungspotential der Intra-logistik durch die Automatisierung von Prozessen mit entsprechenden Systemen im Bereich der Lagerhaltung, dem internen Transport oder im Bereich der Sortierung weitgehend aktivierbar. Eine Ausnahme stellt das Handling von Einzelpackstücken (Paketen) im Arbeitsbereich der Be- und Entladung von Transportfahrzeugen, im Speziellen von Lastkraftwagen und Seecontainern, dar. Trotz vorhandener technischer Hilfsmittel ist die Be- und Entladung von Einzelpackstücken im überwiegenden Teil ein manuell durchgeführter Arbeitsschritt. Dieses Paper wird im Rahmen eines Promotionsvorhabens zu diesem Aspekt

erarbeitet. Thema des Vorhabens ist die Entwicklung eines automatischen Prozesses für den Bereich der Be- und Entladung von Einzelpackstücken. Als Einstieg in den Entwicklungsprozess wird der aktuelle Entwicklungsstand am Markt betrachtet. Zur Klassifizierung der Systeme wird anschließend ein Bewertungsschema angewendet.

Durch die begrenzte Leistungsfähigkeit des Menschen ergibt sich im logistischen Prozess ein Flaschenhals, der einen höheren Gesamtdurchsatz in einem Logistikzentrum verhindert. Weiterhin beansprucht diese Tätigkeit die Arbeitenden aufgrund der unergonomischen Körperhaltung und dem Belastungskollektiv in einem Maß, dass im höheren Alter körperliche Einschränkungen und Muskel-

Skelett-Erkrankungen folgen [1]. Außerdem ist die Logistikbranche ein hochgradig umkämpfter Markt mit Margen in einem niedrigen einstelligen Prozentbereich. Aufgrund dessen wird durch die Prozessautomatisierung eine Steigerung der sogenannten „Operational excellence“ erwartet. Die erfolgreiche Umsetzung spiegelt sich in einer Kosteneinsparung sowie einem performanteren und robusteren Prozess wieder [2]. Aus der anwenderabhängigen Varianz des Packstückes bei geringer Toleranz im Hinblick auf die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Robustheit des Prozesses ergibt sich ein anspruchsvolles Anforderungsfeld. Für den beschriebenen Arbeitsprozess gibt es bereits Pakethandlingssysteme, die eine Automatisierung versprechen, aber den Markt noch nicht durchdringen. Die derzeitig dominierende Be- und Entladungsmethodik ist das manuelle Handling durch Arbeitskräfte (siehe **Bild 1**). Dies hat sich bei einer Befragung von Kontraktlogistikunternehmen herausgestellt.



Bild 1 Manueller Beladevorgang in einem Logistikzentrum (Quelle: [3], alle Rechte vorbehalten)

2 Stand der Technik

Mechanische Automatisierungssysteme werden in der Logistikbranche eingesetzt, um Frachtgüter zu lagern, zu transportieren oder deren Position und Orientierung für die weitere Handhabung, Sortierung, Lagerung oder andere Arbeitsvorgänge zu manipulieren. Daher gibt es bereits einige Systeme, die in diesen Bereichen eingesetzt werden. Für den automatischen Transport von Gütern werden bspw. fahrerlose Transportfahrzeuge eingesetzt. Auch für die automatische Zwischenspeicherung von Waren in Logistikzentren haben Lösungen den Markt bereits durchdrungen. Im Fall des Pakethandlings zum Zweck der Be- oder Entladung sind ebenfalls Lösungen vorhanden, aber in den Logistikzentren nicht oder nur in einem marginalem Anteil dieser eingesetzt. Um diesen Zustand nachzuvollziehen, wird zunächst der Stand der Technik untersucht und analysiert, damit die Erfahrungen und Informationen aus der Analyse im Produktentwicklungsprozess zur Absicherung des Geschäftsszenarios dienen und in die Erhebung

der Anforderungen einfließen [4]. Außerdem fungiert diese Untersuchung als Korrektiv für die Entwicklungsrichtung, indem Funktionsmodelle, Konzepte und Entwürfe als Zwischenergebnisse des Produktentwicklungsprozesses [5] anhand der Untersuchung verifiziert und validiert werden. Im Folgenden werden verschiedene bereits dem Markt verfügbare Systeme beschrieben. Die Bewertung erfolgt im Nachgang.

2.1 Caljan AutoUnloader

Der AutoUnloader von Caljan zum Entladen von Transportfahrzeugen oder Containern setzt sich aus zwei Subsystemen zusammen, von denen der eine Teil im Anhänger des Transportmittels und der andere mobil im Logistikzentrum platziert ist (siehe **Bild 2**). Der fest eingebaute Teil ist eine Fördertechnik, die im Anhänger eine zweiten Boden bildet. Sie ermöglicht die Förderung der Einzelpackstücke im Anhänger. Mit einer Abschiebeeinheit, die auf der Fördertechnik platziert ist, wird sichergestellt, dass alle Pakete aus dem Anhänger gefördert werden. Die zweite Komponente ist das Gegenstück, welches die Intralogistik mit dem Anhänger oder Container verbindet. Dieses Modul baut auf einer mobilen Plattform auf, deren Höhe verändert werden kann. Außerdem sind Gurt- und Rollenförderer vorgesehen, die durch eine unterschiedliche Ansteuerung die Verinselung der Pakete ermöglichen.

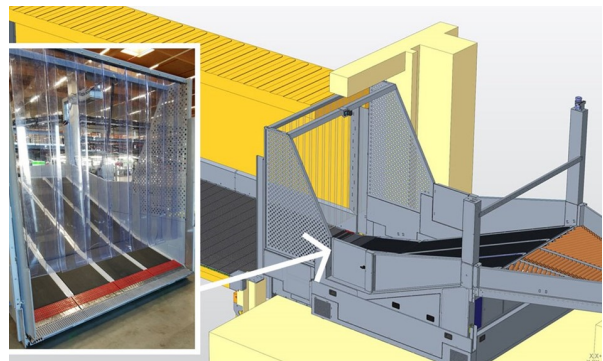


Bild 2 Caljan AutoUnloader (Quelle: [6], alle Rechte vorbehalten)

Der Entladeprozess des Systems wird gestartet, indem die beiden Module des Systems miteinander verbunden werden. Dies erfolgt manuell. Nach Herstellen der Verbindung startet der Entladeprozess, indem die im Anhänger verbaute Fördertechnik aktiviert wird. Sobald der Prozess abgeschlossen ist, wird die Abschiebeeinheit in eine Ausgangsposition bewegt und die Verbindung zwischen den Komponenten manuell getrennt.

Ein effektive Beladung mit einem wettbewerbsfähigen Füllgrad ist mit diesem System nicht möglich. Außerdem basiert die wesentliche Funktion dieses Systems auf einem speziellen Umbau des Transportmittels, ohne diesen ist das System nicht einsatzfähig. Dies schränkt die Wettbewerbsfähigkeit in einem entscheidenden Maß ein, sodass dieses

Konzept für die Klassifizierung nicht berücksichtigt wird.

2.2 Caljan AutoLoader

Das AutoLoader System von Caljan zur Beladung von Transportfahrzeugen oder Containern basiert auf einem teleskopierbarem Gurtförderer, der mit einem automatisch beweglichen Endstück versehen ist (siehe **Bild 3**). Mittels Sensorik am Endstück wird der Füllzustand gemessen. Anhand der hier gemessenen Daten wird die Position und die Ausrichtung des Endstücks bestimmt.



Bild 3 Caljan AutoLoader (Quelle: [7], alle Rechte vorbehalten)

Bei dem Beladevorgang werden die Einzelpackstücke chaotisch auf einen Haufen geschüttet. Mit ansteigender Höhe des Pakethaufens wird die Ausrichtung des Endstücks angepasst. Ist eine kritische Höhe erreicht wird das Endstück mithilfe der Teleskopfunktion zurückbewegt, sodass der Beladevorgang fortgesetzt werden kann. Mit diesem System ist nur eine Beladung von Paketen möglich.

2.3 Honeywell Robotic Unloader

Der Robotic Unloader von Honeywell ist ein Entladesystem, welches sich aus einer mobilen Plattform mit integrierter Fördertechnik in Kombination mit einem schwenkbarem Roboterarm zusammensetzt (siehe **Bild 4**). Dieser wird verwendet, um die Pakete im oberen Teil des Stapels zu greifen und auf der internen Fördertechnik abzulegen. Hierfür ist der Arm mit Sauggreifern ausgestattet, die durch eine Mechanik einen Tiefenausgleich realisieren können. Mithilfe der Fördertechnik werden die unteren Pakete aufgenommen und nach durch den Korpus des Systems gefördert.

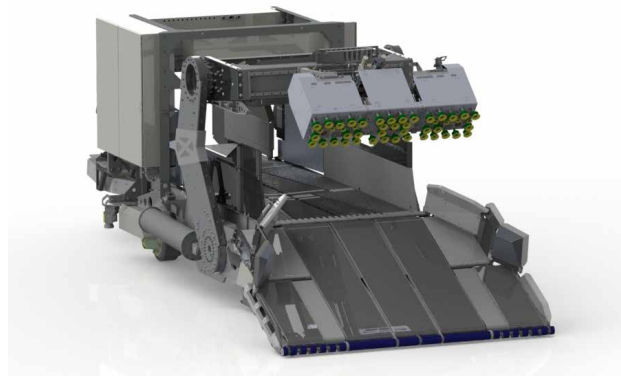


Bild 4 Honeywell Robotic Unloader (Quelle: [8], alle Rechte vorbehalten)

Für den Entladevorgang wird das System durch einen Bediener ferngesteuert vor das Transportmittel bewegt und passend ausgerichtet, sodass das System während des Entladevorganges dort hineinfahren kann. Anschließend wird der automatische Prozess ausgelöst. Zu Beginn greift der Roboterarm die oberen Lagen des Stapels. Sobald die oberen Schichten abgetragen und auf der Fördertechnik abgelegt sind, wird der untere Teil zur Entnahme der unteren Pakete aktiviert. Während diese Pakete abgeführt werden, bewegt sich das System tiefer in den Anhänger, sodass die nächsten Pakete gegriffen werden können. Dieses System ist nur für die Entladung von Einzelpackstücken geeignet.

2.4 Technica Robotic Truck (Un)Loader

Der Robotic Truck (Un)Loader ist ein mobiles System, welches sowohl zur Be- als auch zur Entladung von Einzelpackstücken mit identischen Dimensionen genutzt werden kann (siehe **Bild 5**). Das System steht auf einer Plattform, welche mit zwei Kettentrieben bewegt werden kann. Auf der Plattform ist ein Roboterarm platziert. Durch die Montage auf Führungsschienen und einer Antriebsachse kann der Roboterarm aktiv auf der Plattform in Längsrichtung bewegt werden. Oberhalb des Roboterarms befindet sich eine Lagenbildungseinheit, die über eine Zuführung mit der Intralogistik verbunden ist. Zusätzlich ist hier eine Saugerleiste vorgesehen, welche sich ebenfalls aktiv in Längsrichtung verfahren lässt. Der Roboterarm ist mit einem speziellen Endeffektor ausgerüstet, welcher sich durch eine Kombination aus Saugern und Strangförderern auszeichnet.



Bild 5 Technica Robotic Truck Unloader in einem Testaufbau (Quelle: [9], alle Rechte vorbehalten)

Bei der Beladung werden die Einzelpackstücke über die Zuführung auf die Lagenbildungseinheit bewegt. Die Lagenbildungseinheit sammelt die Packstücke, die Anzahl ist hierbei abhängig von den Dimensionen der Packstücke und dem bereits vorhandenen Stapel im Laderaum. Sobald die Lagenbildungseinheit gefüllt ist, werden die Pakete durch die Saugerleiste auf den Endeffektor abgeschoben. Der Roboterarm bewegt diesen anschließend an die gewünschte Position. Mithilfe der Strangförderer am Endeffektor werden die Pakete auf dem Stapel abgelegt. Durch ein gleichzeitiges Ausfahren der Sauger wird die Abgabe sichergestellt.

Bei der Entladung wird dieser Prozess umgekehrt. Die Sauger ziehen die Packstücke vom Stapel und die Strangförderer bewegen diese nach hinten. Nachdem der Roboter den Endeffektor an die Übergabeposition bewegt hat, werden die Pakete von der Saugerleiste auf die Lagenbildungseinheit gezogen.

2.5 Daifuku Wynright RTL(U)

Das RTL(U) (Robotic Truck Loading (Unloading)) System von Daifuku Wynright ist ein System für die automatische Be- oder Entladung von Einzelpackstücken. Das System ist auf einer radgetriebenen Plattform aufgebaut, welche mit einem Roboterarm und einem Gurtförderer bestückt ist (siehe **Bild 6**). Der Roboter ist zur Aufnahme der Packstücke mit einem Greifer ausgestattet, welcher für den Greifvorgang mit Saugern versehen ist. Zur Absicherung des transportierten Guts, kann der untere Teil des Greifers um 90° hochgeklappt werden. Außerdem ist der Roboterarm mit einem Bilderkennungssystem ausgestattet. Der Gurtförderer ist an die Intralogistik angeschlossen und ermöglicht somit die Zu- und Abführung von Packstücken. Zusätzlich ist dieser mit einer mechanischen Vorrichtung versehen, sodass jedes Paket am vorderen Ende des Gurtförderers eine eindeutig definierte Ablageposition erreicht.



Bild 6 Wynright RT(U)L (Quelle: [10], alle Rechte vorbehalten)

Bei der Beladung wird das Packstück durch den Greifer aus der eindeutig definierten Position auf dem Gurtförderer genommen und mithilfe des Roboterarms zu der Ablageposition bewegt. Nach der Aufnahme des Pakets wird die Absicherung hochgeklappt. Vor der Ablage wird diese wieder in die Ausgangsposition geklappt.

Bei der Entladung wird zunächst der Stapel mithilfe des Kamerasystems detektiert, um das passende Paket für den nächsten Entladungsschritt zu identifizieren. Hier kann es vorkommen, dass aus verschiedenen Positionen gescannt wird, damit das logisch richtige Paket ausgewählt wird. Anschließend erfolgt der Greif- und Ablageprozess. Die Greifposition ist abhängig von der Zugänglichkeit des Pakets. Am oberen Ende eines Stapels wird das Paket von vorne gegriffen. Sobald die Zugänglichkeit und der Arbeitsraum es ermöglichen, werden die Pakete von oben gegriffen. Der Griff bzw. das Ansaugen von oben ist aufgrund der möglichen Instabilität der Verpackung immer zu bevorzugen.

2.6 Bastian Solutions ULTRA BLUE

Das ULTRA BLUE System von Bastian Solutions ist ein mobiles Be- und Entladesystem für Einzelpackstücke mit identischer Grundfläche, welches sich durch seine Fördertechnik auf einer omnidirektional verfahrbaren Plattform auszeichnet (siehe **Bild 7**). Die Omnidirektionalität der Bewegung wird durch Mecanum-Räder im Fahrwerk ermöglicht. Die Fördertechnik ist als Gurtförderer ausgeführt und in drei Segmente unterteilt, die mit Gelenken verbunden sind. Das erste Segment ist fest auf der Plattform montiert und dient als Zu- und Abführung. Das mittlere Segment ist über zwei aktiv bewegliche Streben mit der Plattform verbunden und stellt eine Parallelkinematik dar. Dieses Segment zeichnet sich neben der aktiven Rotationsmöglichkeit um die Hoch- und Querachse durch einen Teleskopausleger aus. Die Länge des Segments kann so aktiv verändert werden. Am Ende des Förderstrangs befindet sich der Endeffektor, der sowohl mit einem Gurtförderer als auch mit Antriebstechnik zur Variation der Orientierung ausgestattet ist. Außerdem ist hier eine am Gelenk versenkbare Saugerleiste platziert. Zusätzlich sind links

am Endeffektor seitliche Platten vorgesehen, die ein nachträgliches Manipulieren der Paketposition ermöglichen. Die gesamte Förderstrecke ist mit Seitenführungen versehen. Neben den mechanischen Komponenten sind auch optische Sensoren für die Navigation und die Erkennung des Paketstapels vorhanden.



Bild 7 Bastian Solutions UL-TRA Blue (Quelle: [11], alle Rechte vorbehalten)

Der Beladevorgang wird gestartet, indem ein Paket an der rechten Seitenwand auf dem Boden abgelegt und anschließend mithilfe der Werkzeuge am Endeffektor nachträglich ausgerichtet wird. Hierfür werden die Rotationsbewegungsmöglichkeit des mittleren Segments und des Endeffektors gleichzeitig ausgenutzt. Die weiteren Pakete werden so aufeinander platziert, dass diese einen Stapel ergeben. Nach jeder einzelnen Platzierung wird die Position und Orientierung der Pakete durch ein nachträgliches Andrücken mit der Saugerleiste und den seitlichen Platten gewährleistet. Die Pakete werden von unten nach oben zu einem Stapel gebildet. Anschließend werden von rechts nach links weitere Stapel gebildet, sodass diese eine Schicht ergeben.

Bei der Entladung wird die Saugerleiste genutzt, um ein Einzelpackstück aus dem Stapel zu greifen und auf die Fördertechnik zu ziehen. Anschließend wird das Paket über die Förderstrecke abgeführt. Ein Ausrichten der Einzelpackstücke wird nicht benötigt.

2.7 Boston Dynamics Stretch

Das Stretch System von Boston Dynamics setzt sich aus einer mobilen Plattform, einem Roboterarm und einer Kameraturm zusammen (siehe **Bild 8**). Die radgetriebene Plattform ermöglicht dem System eine omnidirektionale Verfahrbarkeit mittels gelenkter Antriebsräder. Auf der mobilen Plattform ist ein Sechs-Achs-Knickarmroboter platziert. Der Roboterarm ist mit einem Greifer ausgestattet, der sich aus mehreren Saugern zusammensetzt. Der Kameraturm befindet sich auf der ersten Achse des Roboterarms und dreht sich mit dem Roboterarm mit. Zusätzlich ist der Kameraturm mit einer eigenen aktiven Drehachse ausgestattet. Am oberen Ende ist die optische Sensorik platziert. An der Plattform ist der Anschluss von flexibler Fördertechnik wie bspw. einer Scherenrollenbahn möglich.



Bild 8 Boston Dynamics Stretch (Quelle: [12], alle Rechte vorbehalten)

Für den Entladevorgang wird zunächst das Kamerasystem so gedreht, dass es eine Aufnahme von dem zu entladenen Paketstapel machen kann. Durch ein leichtes Rotieren des Kameraturms wird eine zweite Perspektive für eine weitere Aufnahme eingestellt, damit der gesamte Stapel aufgezeichnet wird. Anhand der erstellten Bilder wird von der Software das erste Einzelpackstück für die Entladung ausgewählt. Der Roboterarm bewegt den Greifer an die vorgesehene Aufnahme position. Auch hier werden die obersten Pakete aufgrund der Zugänglichkeit und des Arbeitsraumes an der Stirnfläche gegriffen. Sobald es möglich ist, werden die Pakete von oben gegriffen.

Der Beladeprozess wird theoretisch umgekehrt realisiert, ist im aktuellen System allerdings nicht vorgesehen. Die nötigen Funktionskomponenten zur Realisierung der Beladung sind allerdings vorhanden.

2.8 Entwicklungs- / Forschungsprojekte

Neben den genannten Systeme gibt es weitere, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden oder im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt worden ist. Diese werden im Sinne der Vollständigkeit erwähnt, in der weiteren Betrachtung allerdings nicht berücksichtigt. Das System Pickle Robot von der gleichnamigen Firma ein Beispiel (siehe **Bild 9**). Das System ähnelt vom erkennbaren Aufbau her den Systemen von Wynright, da es sich ebenfalls aus einem Roboterarm eine seitlicher Fördertechnik zur Abführung der Pakete in Kombination mit einem Kamerasystem zusammensetzt. Die spätere Anwendung erfolgt bei der Entladung von Transportfahrzeugen und Containern.



Bild 9 Pickle Robot (Quelle: [13], alle Rechte vorbehalten)

Ein weiteres Beispiel stellt das im Rahmen des Forschungsprojektes „IRIS“ des Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH entwickelte System zur Entladung von Seecontainern dar (siehe **Bild 10**). Das System ist auf einer mobilen Plattform mit Mecanum-Rädern aufgebaut und mit Schrägrollenförderer als Abführung ausgestattet. Zur Entnahme der Pakete ist mittig am Endeffektor ein versenkbarer Schlitten vorgesehen, der die mittigen Einzelpackstücke aus dem Container auf die Fördertechnik zieht. Außen sind ausfahrbare Saugerleisten appliziert, die die übrig gebliebenen Pakete nacheinander aus dem Container nehmen. Durch dort platzierte quer fördernde Rollen werden die Pakete zu dem abführenden Rollenförderer transportiert.

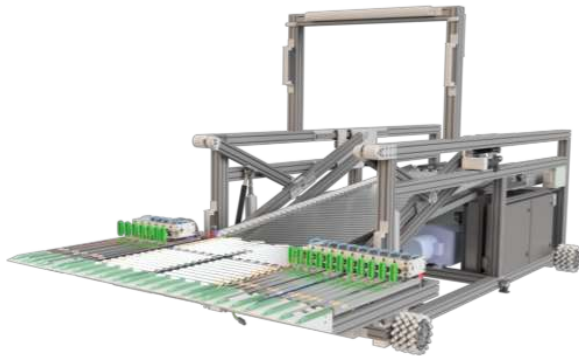


Bild 10 Entladungssystem IRIS (Quelle: [14], alle Rechte vorbehalten)

3 Methodik der Klassifizierung

Die hier angewendete Bewertung basiert auf drei Hauptkriterien. Diese lauten Performance, Flexibilität und Komplexität. Im folgenden Abschnitt werden diese erläutert und deren Gewichtung zueinander begründet. Die in Kapitel 2 vorgestellten Systeme werden anhand eines Punktesystems bewertet und die resultierenden Bewertungen mittels der

Gewichtung zu einer Gesamtbewertung zusammengesetzt. Die Bewertung wurde mittels einer Expertenbefragung ermittelt. Die Skala für die Bewertung startet bei null Punkten als schlechteste Bewertungsmöglichkeit und endet bei zehn Punkten als beste Bewertungsmöglichkeit.

3.1 Performance

Mit dem Kriterium „Performance“ wird die Leistungsfähigkeit des Systems bezüglich des Kundennutzens im Vergleich zur derzeitigen marktüblichen Lösung, dem Be- und Entladen per Hand mit einem Teleskopförderer als Zuführung (siehe Bild 1), betrachtet. Hier liegt die Verladeleistung bei ca. 200-400 Paketen pro Stunde und Person. Bei der manuellen Verladung in einem LKW-Anhänger oder Container werden bis zu zwei Arbeitende eingesetzt. So ergibt sich eine maximale Leistung von maximal 800 Paketen pro Stunde. Neben der Bewertung des Durchsatzes als Hauptfunktion des Pakethandlingssystems werden auch sinnvolle Zusatzfunktionen durch Bonuspunkte in der Bewertung berücksichtigt. Hier ist bspw. der Aspekt der Nutzungsmöglichkeit für Be- und Entladung zu nennen. Außerdem ist ein dauerhaftes Kontrollieren und Absichern der Pakete vorteilhaft, um Beschädigungen zu verhindern. Mit diesem Kriterium wird aus Kundensicht der Mehrwert des Systems betrachtet.

3.2 Flexibilität

Mit dem Kriterium „Flexibilität“ wird das Anwendungsfeld in Bezug auf das Frachtgut bewertet. Je weiter der Arbeitsraum aufgespannt ist, desto höher ist die entsprechende Bewertung. Die zwei relevanten Aspekte sind die handhabbare Paketvarianz in Bezug auf die Packstückdimension sowie der tolerierte Grad der Unordnung bei der Entladung und/oder der erzielbare Ordnungsgrad des Paketstapels bei der Beladung. Bei der Beladung wird die Bildung eines geordneten Stapels höher bewertet als bspw. das chaotische Schütten des Frachtguts, da dies einen durchgehend kontrollierten Prozess mit nachvollziehbarer Position des Einzelpackstückes ermöglicht. Ein geordneter Stapel erleichtert die spätere Entladung und ist daher ein Wunschziel bei der Beladung. Bei der Entladung wird eine höhere Bewertung erzielt, wenn das System auch mit einem chaotischen Stapel umgehen und die Entladung realisieren kann.

3.3 Komplexität

Mit dem Kriterium „Komplexität“ wird das System hinsichtlich Hardware und der Software bewertet. Im Bereich der Hardwarebetrachtung spielen Aspekte wie der Anteil beweglicher Bauteile, die Anzahl von Aktoren, Sensoren oder Funktionskomponenten und weitere konstruktive Besonderheiten eine wichtige Rolle. Softwareseitig werden Aspekte wie Bildverarbeitung oder die Anzahl von einzubindenden Aktoren und Sensoren betrachtet. Mit diesem Kriterium wird nicht nur der Entwicklungsaufwand, sondern auch der Kostenaufwand für den Kunden in die Betrachtung miteinbezogen.

3.4 Gewichtung der Kriterien

Die Gewichtung für das Kriterium „Performance“ wird auf 40% gesetzt, da hier die Förderleistung und weitere Funktionen des Systems bewertet werden. Vor allem im Wettbewerb mit anderen Systemen wird zunächst die Leistungsfähigkeit des Systems betrachtet. Daher ist dieser in der Betrachtung am wichtigsten. Die Gewichtung der Kriterien „Flexibilität“ und „Komplexität“ wird jeweils auf 30% festgelegt. Diese beeinflussen sich gegenseitig. Je weiter das Anwendungsfeld aufgespannt wird, desto komplexer gestaltet sich das System hinsichtlich der Software und/oder Hardware. Um diese Bedingung in der Klassifizierung abzubilden, ergibt sich eine gleiche Wertigkeit der Kriterien.

4 Klassifizierung der Systeme

In **Tabelle 1** ist die prozentuale Bewertung der Be- und Entladesysteme dargestellt. Hier sind zunächst die Systeme aufgelistet, die für entweder die Be- oder Entladung verwendet werden können. Anschließend folgen die Systeme für beide Arbeitsbereiche.

Tabelle 1 Einteilung der Systeme anhand der Kriterien Performance, Flexibilität und Komplexität zusammengefasst in einer Gesamtbewertung

System	Perf.	Flex.	Kompl.	Gesamt
Caljan	4	3	9	5,7
Honeywell	4	5	1	3,4
Boston Dynamics	6	5	4	5,1
Bastian	7	2	5	4,8
Technica	7	2	6	5,1
Wynright	8	5	4	5,9

Das Beladesystem von Caljan zeichnet sich zwar durch eine hohe Förderleistung aus, da das System aber nicht auf einen reversiblen Prozess ausgelegt ist und die Pakete während des Beladeprozesses durch das Fallen von der Fördertechnik beschädigt werden können, wird dieses bei dem Kriterium „Performance“ mit einer Bewertung von vier Punkten versehen. Aufgrund der chaotischen Belademethode wird das System bei dem Kriterium „Flexibilität“ mit einer Bewertung von drei Punkten versehen, da zwar verschiedenste Pakete gefördert werden können, diese aber nicht geordnet platziert werden. Bei der Komplexität erreicht das System aufgrund des simplen Aufbaus in Bezug auf Hardware und Software eine Bewertung von neun Punkten. Dies führt mit der Gewichtung zu einer Gesamtbewertung von 5,7/10 Punkten.

Das Entladesystem von Honeywell zeichnet sich vor allem durch eine hohe mechanische Komplexität aus. Die Ursache liegt vor allem in der hohen Anzahl an Bewegungsachsen und den implementierten konstruktiven Sonderlösungen. Die hohe Anzahl an Antriebstechnik führt zusätzlich zu einer komplexen Inbetriebnahme der Betriebssoftware. Aufgrund dessen ergibt sich für dieses System bei der Komplexität eine Bewertung von einem Punkt. Aufgrund

der Verladeleistung wird die Performance mit vier Punkten bewertet. Durch die Fähigkeit auch einen verschachtelten Stapel mit ähnlichen Paketen zu entladen, wird die Flexibilität mit fünf Punkten bewertet. Mit der niedrigen Bewertung der Komplexität ergibt sich eine Gesamtbewertung von 3,4/10 Punkten.

Aufgrund der hohen Komplexität der Software durch die Bilderkennung und -verarbeitung in Kombination mit einer im Prozess lernenden Software erzielt das System von Boston Dynamics hier eine Bewertung von vier Punkten. Bei der Flexibilität wird das System mit fünf Punkten bewertet, da es ähnliche Pakete aus einem verschachtelt zusammengesetzten Stapel entladen kann. Die Leistungsfähigkeit wird hier mit einer Bewertung von sieben Punkten versehen, da bei diesem Entladeprozess das Einzelpackstück über den gesamten Bewegungsprozess kontrolliert wird. Außerdem wird die manuelle Entladegeschwindigkeit übertroffen. Das Entladesystem von Boston Dynamics erzielt eine Gesamtbewertung von 5,1/10 Punkten.

Das Be- und Entladesystem von Bastian Solutions erzielt bei der Performance eine Bewertung von sieben Punkten, da die manuelle Verladeleistung übertroffen werden kann und das geförderte Einzelpackstück während des gesamten Prozesses gegen einen Absturz gesichert ist. Zusätzlich ist der Prozess reversibel. Aufgrund der Gestaltung der Fördertechnik, insbesondere durch die eingesetzte, starre Seitenführung, ergibt sich ein enges Anwendungsfeld, da diese im laufenden Prozess nicht angepasst werden kann. Dies resultiert in einer Bewertung von zwei Punkten für die Flexibilität. Bei der Komplexität wird das System mit einer Bewertung von fünf Punkten versehen, weil speziell die Mechanik im Bereich des Endeffektor durch den versenkbaren Greifer und die Antriebstechnik aufwendig gestaltet ist. Der Be- und Entladeprozess im Bereich der Software ist aufgrund der geringen Flexibilität hingegen simpler, da dieser maßgeblich von den Paketdimensionen bestimmt wird. Die Gesamtbewertung liegt mit der gewählten Gewichtung bei 4,8/10 Punkten.

Das Be- und Entladesystem von Technica wird in Bezug auf Performance und Flexibilität gleich bewertet. Im Bereich der Performance ist die Begründung identisch. Bei der Flexibilität ergibt sich die Problematik, dass die Lagenbildungseinheit aufgrund der Zuführung keine unterschiedlichen Paketdimensionen zulässt. Auch der Ablageprozess ist mit unterschiedlichen Paketgrundflächen nicht realisierbar. Bei der Komplexität ergibt sich eine Bewertung von sechs Punkten, weil für die Bewegung des Endeffektors ein Standard-Roboter aus der Serienfertigung verwendet wird. Dies spiegelt sich in einer Gesamtbewertung von 5,1/10 Punkten wieder.

Das Be- und Entladesystem von Daifuku Wynright schneidet mit einer Bewertung von acht Punkten bei der Performance ab, weil das System die manuelle Förderleistung übertrifft, das Einzelpackstück über den gesamten Prozess kontrolliert und das System sowohl für die Be- als auch für die Entladung verwendet werden kann. Durch die Gestaltung des Endeffektors kann das System ähnliche Pakete zu einem verschachtelten Stapel zusammensetzen und diesen auch wieder auseinandernehmen. Daher ergibt sich bei der

Flexibilität eine Bewertung von fünf Punkten. Wie bei dem System von Boston Dynamics ergibt sich bei der Komplexität eine Bewertung von vier Punkten, da im Speziellen die Anforderung an die Leistungsfähigkeit der Software diese in die Höhe treibt. Durch den vergleichbar simplen Aufbau der Mechanik erfolgt trotzdem eine hohe Bewertung bezüglich der Komplexität. Im Vergleich zu dem Das Gesamtergebnis beträgt für dieses System 5,9/10 Punkte. Wie bei weiteren Methoden für Produktentwicklungsprozesse ist auch hier der Inhalt und die Qualität des Bewertungsprozesses von der Recherche, Analysefähigkeit und persönlichen Einschätzung des Anwenders abhängig. Durch die Subjektivität kann eine Fehleinschätzung durch den Anwender nicht ausgeschlossen werden, dies kann sich in einer systematischen Verzerrung des Ergebnisses widerspiegeln [15]. Durch die Zusammenstellung der Kriterien können die Systeme trotz unbekannter Aspekte, wie beispielsweise den Herstellkosten, eingeschätzt werden, indem die technische Komplexität der vorliegenden Lösung bewertet wird.

Diskussion

Für die Bewertung der Systeme werden recherchierte Informationen aus Herstellerangaben, Broschüren, veröffentlichtem Videomaterial oder Internetartikeln herangezogen, hier werden die Systeme tendenziell zu gut dargestellt und möglicherweise ideale Leistungsdaten präsentiert. Die Ursache liegt hierfür im Marketingbestreben der Hersteller bei der Veröffentlichung der Informationen. Dies hat insbesondere einen Einfluss auf das Kriterium „Performance“, weil dieses nur im operativen Einsatz nachgeprüft werden kann. Die weiteren Kriterien können auch bei einer Betrachtung von außen abgeschätzt werden.

Insgesamt fällt auf, dass die Systeme alle mit weniger als sechs von zehn möglichen Punkten bewertet werden. Dies zeigt, dass für ein neuheitliches Be- und Entladesystem entsprechend viel Optimierungspotential vorhanden ist.

Bei der Bewertung fällt auf, dass die Systeme mit der Möglichkeit zur Be- und Entladung die spezialisierten Systeme bei der Performance übertrumpfen. Daher ist dies im Produktentwicklungsprozess zu berücksichtigen.

Das System von Caljan punktet vor allem durch die hohe Beladeleistung und die geringe Komplexität des Systems. Dieses System eignet sich im Besonderen für robuste Einzelpackstücke, die eine gewisse Fallhöhe ohne kritische Beschädigung überstehen.

Die Klassifizierung zeigt, dass insbesondere Systeme, die sowohl für die Be- als auch für die Entladung eingesetzt werden können, in der Kategorie Performance die höchsten Bewertungen erzielen können. Diese Be- und Entladesysteme von Bastian Solutions und Technica erreichen allerdings bei der Flexibilität ein vergleichsweise niedriges Ergebnis, da diese aufgrund ihrer Greifmethodik und des mechanischen Aufbaus der verwendeten Fördertechnik nur Einzelpackstücke mit identischer Grundfläche während des Prozesses handhaben können. Hier ist vor allem die Anwendung für die sortenreine Beladung im Fokus, insbeson-

dere für empfindliche Produkte. Diese Art von Verladung ist eher im Bereich des produzierenden Gewerbes wiederzufinden.

Das System von Daifuku Wynright erzielt in dem angewendeten Bewertungsschema das beste Gesamtergebnis. Der Unterschied zum System von Boston Dynamics stellt sich in der zusätzlichen Beladungsfunktion dar. Diese Systeme eignen sich besonders bei einer priorisierten Flexibilität, wenn bspw. viele unterschiedliche Pakete verladen werden.

Die durchgeführte Betrachtung zeigt, dass für ein neues Automatisierungssystem die Integration von Be- und Entladungsfunktion, die kontrollierte Manipulation des Einzelpackstückes bei gleichzeitiger dauerhafter Sturzabsicherung und das Handling von ähnlichen, quaderförmigen Paketen für eine hohe Gesamtbewertung ausschlaggebend sind.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird zunächst der Stand der Technik von verschiedenen Pakethandlingssystemen dargestellt. Hier wird der Aufbau dieser Systeme grob erläutert und der Arbeitsprozess skizziert. Die Art der Systeme reicht von einem Zusatzmodul für einen Teleskopförderer, wie dem Caljan AutoLoader, bis hin zu verschiedenen Systemen mit Robotern auf mobilen Plattformen, wie dem RTL(U) von Daifuku Wynright. Die durchgeführte Klassifizierung der Systeme soll im Rahmen eines Promotionsprojektes als Basis für die Entwicklungsrichtung dienen. Anhand des erhaltenen Ergebnisses zeigt sich, dass es sich hier um Spannungsfeld zwischen den drei verwendeten Kriterien handelt. Für robuste Produkte ist ein System ähnlich zum Caljan AutoLoader zu empfehlen. Liegt der Fokus eher auf einer hohen Flexibilität wird ein System mit einem Roboter auf einer mobilen Plattform bevorzugt. Bei dem Fokus auf sortenreine Be- und Entladungen ist als grundsätzlicher Aufbau eher die Richtung von Bastian Solutions ULTRA BLUE einzuschlagen.

Für die weitere Entwicklungsrichtung wird der Fokus vor allem auf die Kombination der Aspekte Performance und Flexibilität gelegt, weil eine hohe Bewertung in diesen Bereichen ein langfristiges Durchdringen des Marktes ermöglichen. Mit einer hohen Flexibilität wird ein breites Anwenderfeld für das System abgedeckt. Durch die hohe Performance wird die Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu anderen Systemen abgesichert. Dies soll gelingen, indem die Systeme mit der niedrigsten Flexibilität (Bastian Solutions & Technica ATLS) näher betrachtet und nach Möglichkeiten zur Optimierung der Flexibilität untersucht werden. Durch die Verwendung von Standardkomponenten und das Ausnutzen von internem Knowhow soll der Entwicklungsaufwand für die Systemlösung reduziert werden, sodass sich dieser über einen Zeitraum von wenigen Jahren amortisiert. So soll auch die Amortisationszeit für den Kunden im Bereich von zwei bis vier Jahren liegen.

6 Literatur

- [1] Walch, Manuel Dennis: *Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer altersgerechten Arbeitsgestaltung der Intralogistik*. München: fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, 2011
- [2] Klaus, Peter: *Profitabilitätsstudie in der Logistik-Dienstleistungswirtschaft*. Hamburg: DVV Media Group Hamburg, 2022
- [3] Black, Thomas: *Robots Edge Closer to Unloading Trucks in Amazon-Era Milestone*. URL <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-03/robots-edge-closer-to-unloading-trucks-in-amazon-era-milestone?leadSource=verify%20wall>. –Aktualisierungsdatum: 2019-05-03 –Überprüfungsdatum 2022-11-07
- [4] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme*. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2021
- [5] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Entwicklung technischer Produkte und Systeme*. Düsseldorf: Beuth Verlag, 2019
- [6] Caljan GmbH: *Caljan wächst weiter*. URL <https://caljan.com/de/wissenswertes/caljan-wachst-weiter/>. –Aktualisierungsdatum: März 2022 –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [7] Caljan GmbH: *Der AutoLoader-die hocheffiziente Art des Beladens*. URL <https://caljan.com/de/produkte-systeme/automatisches-be-und-entladen/autoloader/> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [8] Honeywell Intelligrated: *DOUBLE PRODUCTIVITY WITH THE ROBOTIC UNLOADER*. URL <https://sps.honeywell.com/us/en/support/automation/resources/brochures/robotic-unloader> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [9] Technica: *Automatic Truck Loading For Unit Loads*. URL <https://technicaintl.com/solutions/automatic-truck-loading/> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [10] Wynright Corp.: *Robotic Container Unloader*. URL <https://www.wynright.com/products/robotics> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [11] Bastian Solutions: *ULTRA BLUE - Automating Trailer Floor Loading Operations*. URL <https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/industrial-robotics/robotic-truck-loading/> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [12] Boston Dynamics: *Stretch*. URL <https://www.bostondynamics.com/products/stretch> –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [13] Heater, Brian: *Pickle picks up \$26M for its truck unloading robots*. URL <https://www.bostondynamics.com/products/stretch>. –Aktualisierungsdatum:2022-11-15 –Überprüfungsdatum 2023-02-16
- [14] Hoppe, Nils and Wilhelm, Jasper and Petzoldt, Christoph and Mortensen Ernits, Rafael and Rolfs, Lena and Thies, Beinke and Freitag, Michael: *Design eines Robotiksystems zur Entleerung von Seecontainern*. Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik, 2020
- [15] Kühnapfel, Jörg B.: *Scoring und Nutzwertanalysen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub

universitäts
bibliothek

In: Neunte IFToMM D-A-CH Konferenz 2023

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/77384

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230314-134336-0

Alle Rechte vorbehalten.