Fraunhofer IML

Effiziente Lösungen für die hochdichte Palettenlagerung: Ein umfassender Vergleich der

Pallet Flow- und Pallet Shuttle- Regalsysteme

In Kooperation mit:

BITO LAGERTECHNIK euroroll INTERROLL MECALUX

Impressum

Autoren
Sascha Franke
Jona Manemann

Herausgeber
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2 – 4
44227 Dortmund

Institutsleitung
Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel
Prof. Dr. Michael Henke
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Internet
Das Whitepaper steht Ihnen auch im Internet unter www.iml.fraunhofer.de zur Verfügung.

DOI
10.24406/publica-2228

Kontakt
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2 – 4
44227 Dortmund
schriftenreihe@iml.fraunhofer.de

Bildquelle Titelbild:
© Fraunhofer IML

Ausschließlich zum Zweck der besseren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet.

Alle personenbezogenen Bezeichnungen in diesem Whitepaper sind somit geschlechtsneutral zu verstehen.

© Fraunhofer IML, Dortmund Januar 2024

Einleitung

Motivation und Ziele

In einer dynamischen und sich stetig weiterentwickelnden Welt der Intralogistik ist es von großer Bedeutung, fundierte Entscheidungen bei der Auswahl geeigneter Technologien für den konkreten Anwendungsfall zu treffen.

Im vorliegenden Whitepaper werden zwei Regalsysteme für eine hochdichte Lagerung näher betrachtet: das Pallet Flow System (Palettendurchlaufregal) und das halbautomatische Pallet Shuttle System (Shuttleregal). Beide Lösungen decken einen ähnlichen Anwendungsbereich ab und bieten durch ihre Funktionen und Wirkmechanismen verschiedene Vor- und Nachteile.

Zu den relevanten Faktoren bei der Technologieauswahl zählen neben den Budgetüberlegungen auch Kriterien wie Durchsatzanforderungen, Betriebsstrategien oder produkt- bzw. branchenspezifischen Anforderungen. Oftmals rückt im Rahmen einer Entscheidung ebenfalls der Automatisierungsgrad als Argument in den Vordergrund. Die Automatisierung an sich darf jedoch nicht alleinstehend der Grund für eine Implementierung sein, vielmehr sollte diese durch andere Faktoren wie zum Beispiel Steigerung der Effizienz oder Reduktion der Betriebskosten begründet sein.

Resultierend besteht das Ziel dieses Whitepapers darin, beide Technologien umfassend zu vergleichen sowie die Stärken, Grenzen und Anwendungsfelder der jeweiligen Lagersysteme darzustellen. Darüber hinaus wird den Entscheidungsträgern an einem Rechenmodell sinnvolle Beispiele für den Einsatz der Technologien präsentiert.

Methodik

Die vorliegende Ausarbeitung basiert auf den Erkenntnissen aus semistrukturierten Experteninterviews mit den Anbietern beider Technologien, auf dem Knowhow der Mitarbeitenden des Fraunhofer IML, auf der ergänzenden Literaturrecherche sowie auf den selbst entwickelten Rechenmodellen zur Validierung und Darstellung der Ergebnisse.

Inhalt

Impressum 2

Einleitung 3
Motivation und Ziele 3
Methodik 3

Inhalt 4

1. Technologien 6
1.1 Einordnung 6
1.2 Pallet Flow System 6
1.3 Pallet Shuttle System 8

2. Gegenüberstellung der Technologien 10
2.1 Qualitative Faktoren 10
2.2 Quantitative Faktoren 13

3. Fazit 17

4. Anhang 18

© Fraunhofer IML

1. Technologien

1.1 Einordnung

Sowohl das Pallet Flow als auch das Pallet Shuttle System gehören zu den sogenannten »hochdichten Lagersystemen«. Im Gegensatz zu herkömmlichen Regalsystemen mit einfach- bis zweifachtiefer Palettenlagerung im »Direktzugriff« bieten diese den Vorteil, den verfügbaren Raum effizienter auszunutzen, da zahlreiche Paletten in Kanälen dicht hintereinander gelagert werden und somit die Anzahl der Gassen stark reduziert wird.

Die Tiefe der Kanäle (= Anzahl der Paletten hintereinander) variiert je nach Anwendungsfall und Technologie stark. Ein Lagersystem besteht in der Regel aus einem oder mehreren Lagerblöcken. Jeder Lagerblock setzt sich dabei aus mehreren Kanälen zusammen, die neben- und übereinander angeordnet sind.

Die Relevanz der hochdichten Lagerung wird durch die Vielfältigkeit der Anwendungsfälle deutlich, die in nahezu jeder Branche zu finden sind. Einen Überblick bietet dazu der Anhang 1. Dort sind Best-Practice Beispiele aus der Industrie aufgelistet.

1.2 Pallet Flow System

Charakteristisch für das Pallet Flow Regalsystem ist der Einsatz von mechanischen Rollenbahnen zur Beförderung der Paletten in den Kanälen. Mit einer 4%-Neigung der Rollenbahnen wird die Schwerkraft für den Transport der Paletten vom Ein- zum Auslagerpunkt genutzt. Dabei werden die Paletten üblicherweise in Längsrichtung befördert, in Ausnahmefällen (mit deutlich höherem Aufwand) ist die Beförderung auch in Querrichtung möglich.

Die Hauptkomponenten eines Pallet Flow Kanals bilden Regalkonstruktion, Förder- und Bremsrollen, Palettenzentrierungsschienen, Ausgangsträger oder Palettenanschlag (Stopper-Mechanismen bzw. Palettendurchschubsicherung) sowie optional Palettenrückhaltevorrichtung wie in Abbildung 1 zu erkennen ist. Zur Erleichterung von Wartungsarbeiten können auch klappbare Rollenbahnen verwendet werden. Diese sind auf einer Seite des Kanals beweglich befestigt und können auf der gegenüberliegenden Seite gelöst und ähnlich einer Tür aufgeklappt werden.

Die Regalkonstruktion sowie die Förderrollen entsprechen weitgehend den Branchenstandards. Je nach Typ der verwendeten Paletten ist eine Anpassung der Abmessungen der Regalkonstruktion und somit auch der Breite der Rollen möglich.

Die Bremsrollen kontrollieren die Geschwindigkeit der Paletten im Regal und werden unter Berücksichtigung der Gewichte der Paletten in ihrer Bremswirkung konfiguriert. Die Anzahl der Bremsrollen pro Kanal wird über dessen Länge definiert. Eine weitere Komponente, die der Steigerung der Sicherheit und dem schonenden Transport der palettierten Güter dient, ist die Palettenrückhaltevorrichtung. Durch Einsatz dieser in bestimmten Abständen wird der Staudruck auf die einzelnen Paletten reduziert.

Das Pallet Flow System bietet die Möglichkeiten, sowohl nach dem FIFO- als auch nach dem LIFO-Prinzip zu arbeiten. Bei dem FIFO-Prinzip wird der Regalblock von zwei

gegenüberliegenden Seiten bedient – von einer Seite werden die Paletten aufgegeben und von der anderen Seite entnommen. Beim LIFO-Prinzip hingegen erfolgt die Bestückung und Entnahme der Paletten auf derselben Seite des Regals. In diesem Fall ist die Rollenbahn zum Übergabeplatz geneigt, sodass durch den Stapler mit der einzulagernden Palette der gesamte Inhalt des Lagerkanals entgegen der Neigung unter Staudruck zurückgeschoben wird. Bei einer Entnahme rollen die verbleibenden Paletten wieder nach. Aufgrund des zu überwindenden Staudrucks ist die maximal mögliche Tiefe der Kanäle beim LIFO-Prinzip zumeist auf sechs bis acht Paletten beschränkt.

Aufbau und Funktionsprinzip eines Pallet Flow Systems

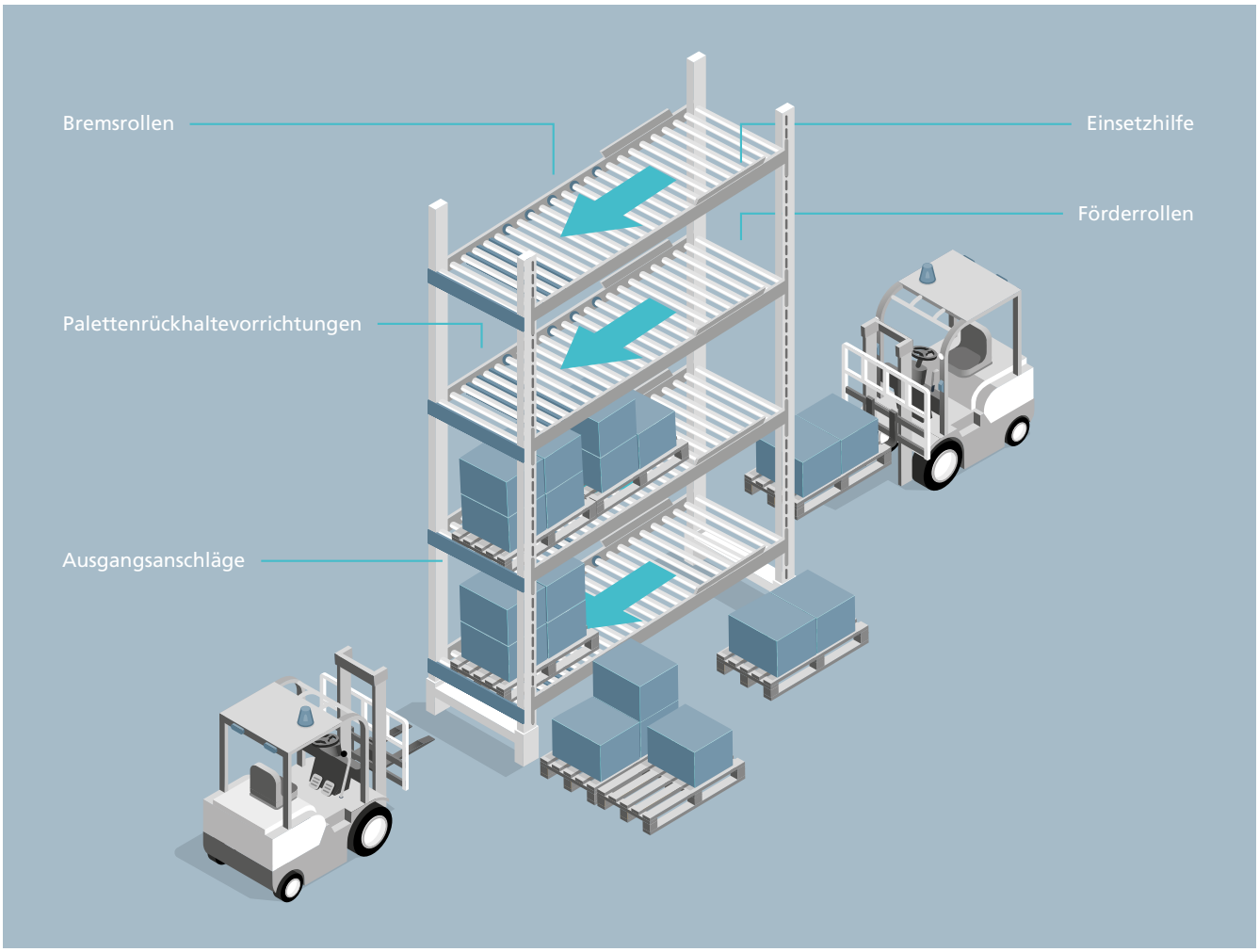

Abbildung 1: Aufbau und Funktionsprinzip eines Pallet Flow Systems (FIFO)

© BITO-Lagertechnik Bittmann

1.3 Pallet Shuttle System

Das Pallet Shuttle System ist eine halbautomatische, hochverdichtete Lagerlösung für die Handhabung von Paletten im Regalkanal. Anders als beim Pallet Flow Regal bedient sich das System nicht der Schwerkraft, sondern hier kommt die Shuttle-Technologie zum Einsatz. Die Shuttle-Fahrzeuge verfahren (halb-)automatisch in den Kanälen und transportieren die Paletten in der Tiefe. Es wird keine materialintensive Stahlrollenkonstruktion und somit auch keine Neigung benötigt. Eine Darstellung der Funktionsweise des Systems ist der Abbildung 2 zu entnehmen.

Wie in Abbildung 2 aufgezeigt, bildet die Regalkonstruktion, die Shuttle-Fahrzeuge sowie die Führungsschienen unter jedem Regalkanal die wesentlichen Hauptkomponenten des Pallet Shuttle Systems. Die eingebaute Sensorik und mechanische Sicherungen sorgen für eine genaue Positionierung und Prozesssicherheit.

Das Regalsystem wird üblicherweise für Europaletten eingesetzt. Die Auswahl der Paletten wird in diesem Regalsystem durch die Bauweise der Shuttle eingeschränkt.

Das Shuttle beeinflusst ebenfalls die Förderrichtung der Paletten. Beim Transport der Paletten in Querrichtung ist eine seitliche Aufnahme des Ladehilfsmittels bei der Ein- und Auslagerung erforderlich.

Die Steuerung der Shuttle erfolgt je nach Ausführung und Anbieter mithilfe einer Fernbedienung oder eines Tablets. Die Steuerungseinheit wird direkt am Körper getragen oder am Stapler befestigt. Die bedienende Person kann nach dem Absetzen des Shuttles im Lagerkanal durch die Fernbedienung verschiedene Funktionen aktivieren. Zu den gängigsten Funktionen zählen beispielsweise »Aufnahme bestimmter Anzahl von Paletten am Startpunkt und Abgabe dieser am Ende des Kanals« oder »Füllen bzw. Leeren von ganzen Kanälen«. Moderne Systeme bieten zudem Funktionen wie die

Zählung von Paletten in einem Kanal für Inventurzwecke oder auch Verdichtungsfunktionen.

Der Einlagerungsprozess sieht somit folgend aus:

1. Ein Shuttle-Fahrzeug wird mithilfe eines Staplers in dem entsprechenden Kanal platziert.
2. Anschließend wird eine Palette über den Fahrkanal des Shuttels auf der Übergabeposition platziert.
3. Darauffolgend startet die bedienende Person den Einlagerungsbefehl, worauf das Shuttle die Palette anhebt, bis zur nächstmöglichen Position fährt und absetzt.
4. Abschließend fährt das Shuttle wieder zur Übergabeposition, wo das Shuttle die neue Palette aufnimmt und automatisch im Regal platziert.
5. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis nur noch der Übergabeplatz frei bleibt, das Shuttle aus dem Kanal entnommen wird und die letzte Palette in den Kanal platziert wird.

Die Auslagerung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge. Simultane Ein- und Auslagerung innerhalb eines Kanals ist möglich, führt jedoch zu deutlichen Einschränkungen der Leistung, da üblicherweise nur ein Shuttle pro Kanal im Einsatz ist.

Über die Fernbedingung hat die bedienende Person die Möglichkeit, zwischen mehreren Shuttle-Fahrzeugen zu wechseln und somit parallel mehrere Kanäle zu bearbeiten.

Da Pallet Shuttle System nicht die Schwerkraft nutzt, können Ein- und Auslagerungspunkte flexibel definiert werden. Somit kommt sowohl das FIFO- als auch das LIFO-Prinzip als Ein- und Auslagerstrategien in Frage, wenn beidseitigen Zugang zum Regal besteht. Beim einseitigen Zugang kann nur das LIFO-Prinzip angewendet werden. Eine maximale Tiefe der Kanäle ist aus technischer Sicht im Gegensatz zu Pallet Flow System nicht definiert.

Aufbau und Funktionsprinzip eines Pallet Shuttle Systems

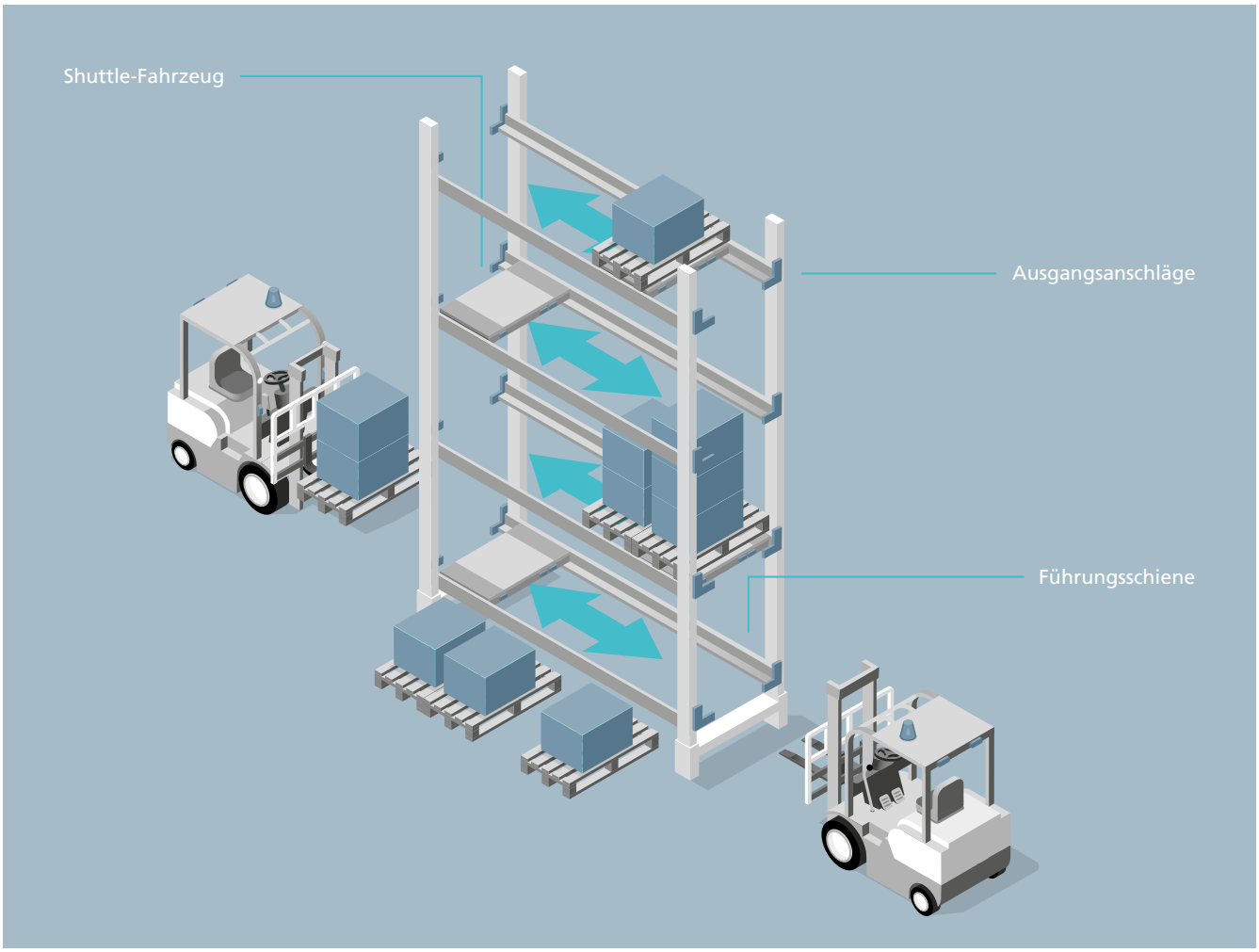

Abbildung 2: Prinzipien des Pallet Shuttle Systems

2. Gegenüberstellung der Technologien

Nach initialer Vorstellung beider Lagersysteme werden diese im Folgenden einem direkten Vergleich unterzogen und anhand relevanter qualitativer und quantitativer Faktoren diskutiert.

2.1 Qualitative Faktoren

2.1.1 Anforderungen an Fördergut und Ladehilfsmittel

Beide Technologien erfordern ein Mindestmaß an Qualität der Ladehilfsmittel sowie der Ladungssicherung. Defekte oder minderwertig gesicherte Paletten können schnell zu kostspieligen Störungen im Regal führen. Aufgrund hoher physischer Einflüsse auf die Paletten bei der Beförderung auf den Rollen ist vor allem bei der Pallet Flow Technologie auf Einsatz geeigneter Ladehilfsmittel zu achten. Der schonende Transport der Paletten auf dem Shuttle-Fahrzeug bietet größeren Spielraum im Hinblick auf die Palettenqualität.

Ein »sanfterer« Transport ist besonders für ein empfindliches Fördergut wichtig. Über die Einstellung eines entsprechenden Mindestabstandes zwischen den Paletten im Kanal kann im Pallet Shuttle System der Kontakt verhindert werden. Im Pallet Flow System kann dies nicht ausgeschlossen werden, solange nicht sichergestellt ist, dass die Ladung nicht über das Palettengrundmaß hinausragt.

Neben der Qualität der Paletten sind auch weitere Merkmale der Ladehilfsmittel von entscheidender Bedeutung. Durch die Abmaße des Shuttle-Fahrzeugs ist das Pallet Shuttle System hinsichtlich der Abmessungen der eingesetzten Ladehilfsmittel stärker beschränkt als das Pallet Flow System. Dafür ermöglicht die Shuttle-Technologie ohne Einschränkungen den Transport von Paletten aus Kunststoff oder Metall. Die Bremsrollen des Pallet Flow Systems dagegen erfordern eine höhere Haftreibung, die beim Kunststoff oder Metall nur bedingt genügt. Daher bedarf es für das Handling von Metall und Kunststoffpaletten eine Technikanpassung oder eine prozessuale Anpassung, wie das Umsetzen auf eine Palette aus besser geeignetem Material. Hierfür werden Bremsrollen mit spezieller Beschichtung verwendet, um die Haftung zu erhöhen.

2.1.2 Flächenbedarf

Ein ausschlaggebendes Argument für die Integration eines Kompaktlagers in die eigene Intralogistik bildet die effiziente Raum- und somit Flächennutzung der Lagersysteme. Folglich können beide Kategorien im Hinblick auf den Flächenbedarf mit sehr gut bewertet werden. Trotz geringfügiger Unterschiede in der Bauweise der Regale und unterschiedlicher Beförderung der Ladehilfsmittel im Regal, ist der Flächenverbrauch beider Systeme bei vergleichbarer Dimensionierung nahezu gleich.

Ein wesentlicher Unterschied existiert dennoch – die Ausrichtung der Paletten. Wie im Kapitel 1 bereits beschrieben, werden im Pallet Flow System die Paletten üblicherweise in Längsrichtung und beim Pallet Shuttle System in Querrichtung hinsichtlich der Kanalausrichtung befördert. Bei identischer Dimensionierung eines Lagerblocks erfordert ein Pallet Flow Regalsystem somit weniger Platz in der Breite, weist dafür jedoch eine größere Tiefe der Kanäle auf. Beim Pallet Shuttle System ist dieses Verhältnis bei gleicher Anzahl an Palettenstellplätzen umgekehrt.

Die Wahl zwischen verschiedenen Technologien bringt je nach konkretem Anwendungsfall und den räumlichen Gegebenheiten spezifische Vorteile hervor.

2.1.3 Prozessintegration

In der Gesamtbetrachtung eines Logistiksystems, müssen beide Regalsysteme in vor- und nachgelagerte Prozesse eingebunden werden. Daher ist auch ein Vergleich hinsichtlich der prozessualen Anbindung sinnvoll.

Das Pallet Flow System bedarf neben den Kernprozessen, wie der Aufgabe der Palette in den Kanal und der späteren Entnahme dieser, keine weiteren Prozessschritte und ermöglicht somit eine sehr schlanke Bedienung des Regals. Die Paletten werden in Längsrichtung im Regal transportiert, wodurch in vielen Anwendungsfällen auch kein zusätzliches Handling entsteht.

Durch den Einsatz des Shuttle-Fahrzeugs beim Pallet Shuttle System ist mit einem höheren prozessualen Umfang zu

© Euroroll GmbH

rechnen. Neben der Ver- und Entsorgung des Regals mit Paletten entsteht zusätzlicher Aufwand durch das Shuttle-Fahrzeug selbst. Dazu gehören das Umsetzen der Shuttle-Fahrzeuge zwischen den Lagerkanälen, das Verbringen der Shuttles zu den Ladestationen und zurück, sowie das Drehen oder Umgreifen der Paletten vor der Einlagerung oder nach der Auslagerung. Letzteres ist insbesondere dann notwendig, wenn die vor- oder nachgelagerten Prozesse keine Auf- und Abgabe an der Längsseite der Palette ermöglichen.

2.1.4 Automatisierungspotenzial

Beide Systeme bieten Raum für die Anbindung ergänzender Automatisierungstechnologien an das jeweilige Lagersystem.

So wird in der Praxis immer häufiger die Versorgung eines Pallet Flow Systems über Regalbediengeräte oder Fahrerlose Transportsysteme (FTS) realisiert. Auch die entsprechende Entnahme der Paletten von den Rollenbahnen ist unter Sicherstellung akkurater Positionierung der Paletten auf der Rollenfördertechnik in den Kanälen möglich.

Auch für das Pallet Shuttle System existieren bereits zahlreiche Lösungsansätze, vor allem in Verbindung mit dem Einsatz von FTS. Hierbei ist je nach gefordertem Prozess und Materialfluss aber zu beachten, dass die Synchronisation von Shuttle und z. B. einem FTS nicht trivial ist. Hier kann es unter Umständen zur Leistungsreduktion kommen, wenn die Palettenübergabe zwischen Shuttle und FTS nicht synchronisiert ist. Zu beachten ist für die Schnittstelle zwischen Lager- und Automatisierungstechnologie, dass das FTS eine quer ausgerichtete Palette aufnehmen kann, da sonst ein Zwischenschritt für die Drehung erforderlich ist.

2.1.5 Äußere Einflüsse

Sowohl Pallet Flow als auch Pallet Shuttle sind auf dem Markt etablierte Technologien, die bereits an zahlreichen Logistikstandorten über lange Zeiträume im Einsatz sind. Somit verfügen die Anbieter über einen reichen Erfahrungsschatz und konnten die Technologien weit entwickeln sowie sehr robust gestalten.

Beide Technologien können bei Temperaturen zwischen -30°C und 50°C ohne nennenswerte Anpassungen an der Hardware und somit mit nur geringfügigen Mehrkosten realisiert werden. Ebenfalls in Hinblick auf die Luftfeuchtigkeit sind keine besonderen Anforderungen zu beachten. Sollten Shuttle-Geräte jedoch zwischen verschiedenen Lagerzonen mit unterschiedlicher Luftfeuchte und Temperaturen wechseln, kann es beim Übergang zu Problemen mit bspw. beschlagenen oder vereisten Sensoren kommen.

Hingegen hat das Thema der Sauberkeit und Pflege sowie ein sorgsamer Umgang mit der Anlage einen sehr hohen Einfluss auf die Langlebigkeit der Bauteile und zugleich auf die Störungsanfälligkeit der Anlagen. Bei beiden Systemen ist besonders darauf zu achten, dass liegengebliebener Müll oder herunterhängende Teile zum Beispiel in Form von Verpackungsmaterial oder Holzresten einer Palette zum Steckenbleiben der Palette bzw. des Shuttles im Kanal führen können.

Eine viel häufigere Ursache für Beschädigungen der Anlage stellt jedoch das bedienende Personal dar. Besonders beim Pallet Flow System entstehen die meisten Defekte der Rollenfördertechnik oder der Regalkonstruktion an den Übergabestellen der Kanäle durch die Gabelzinken der Stapler. Besonders Paletten-Rückhaltevorrichtungen sind dahingehend anfällig.

Im Falle der Pallet Shuttle Technologie kann es zudem häufiger zu Störungen im Betrieb der Shuttle aufgrund von Verschmutzung oder Verstellen der Sensoren und Lichtschranken kommen.

2.1.6 Verfügbarkeit

In Anlehnung an das vorige Kapitel ist zu ergänzen, dass für beide Technologien bei entsprechender Wartung und Pflege eine Verfügbarkeit auf einem sehr hohen Niveau erreicht werden kann.

Die Ausfälle oder Verluste durch Ladezeiten einzelner Shuttle des Pallet Shuttle Systems können über Anschaffung mehrerer Fahrzeuge und somit durch Bildung von Redundanzen im System entsprechend ausgeglichen werden.

Im Falle von Störungen im Pallet Flow System fällt in der Regel nur der betroffene oder ggf. noch benachbarte Kanäle aus, wenn diese zur Bergung der Palette erforderlich sind. Der Betrieb der restlichen Anlage wird fortgeführt.

Die Wartungs- und Inspektionsarbeiten sollten außerdem planmäßig außerhalb der Betriebs- oder in lastschwachen Zeiten angesetzt werden. Sie stellen einen essenziellen Faktor für die Verfügbarkeit sowie der Sicherheit der beiden Systeme dar.

2.1.7 Sicherheit

Beide Systeme sind in der Regel mit ausreichend Sicherheitsvorrichtungen zum Schutz von Personen und Ware ausgestattet. Die Sicherheitsstandards entsprechen zumindest im europäischen Raum, den gängigen Normen und Richtlinien. Jedoch ist hier sehr wichtig zu beachten, dass eine Funktionsfähigkeit der Sicherheitsvorrichtungen nur dann gewährleistet ist, wenn diese auch ordnungsgemäß gepflegt und instandgehalten werden. Hier sollten bei der Pallet Shuttle Technologie die Sensoren und deren Sauberkeit im Fokus stehen, um Fehler und Sicherheitsrisiken zu minimieren. Gleiches gilt auch für Bauteile des Pallet Flow Systems, wie z. B. die Rückhalteanschläge.

2.1.8 Nachhaltigkeit

Das Thema der Nachhaltigkeit gewinnt auch in der Intralogistik zunehmend an Bedeutung.

Die Pallet Flow Technologie punktet im laufenden Betrieb mit dem Schwerkraftantrieb der Paletten und somit keinem Energieverbrauch. Hinzu wird auf Komponenten wie Batterien und sonstige Elektronik verzichtet.

Die Pallet Shuttle Systeme punkten hingegen mit einem geringeren Stahlverbrauch in der Produktion, da für diese Lagertechnik keine zusätzliche Rollenfördertechnik verbaut wird.

2.2 Quantitative Faktoren

Die quantitativen Faktoren lassen sich in die drei folgenden Fokusbereichen aufteilen: Durchsatzleitung, Investitionskosten und Betriebskosten.

2.2.1 Durchsatzleistung

Eine wichtige Kennzahl für den Vergleich der Technologien stellt die Durchsatzleistung dar – vor allem bei der Betrachtung der Lastspitzen.

Die Höhe des möglichen Durchsatzes unterliegt diversen Einflüssen. Sowohl die Konfiguration der Regalanlage (wie zum Beispiel die Tiefe der Kanäle, die Anzahl der Lagerebene oder Anzahl eingesetzter Shuttle-Fahrzeuge) als auch die vor- und nachgelagerten Prozesse sind relevant. Für das vorliegende Whitepaper wurde ein Rechenmodell entwickelt, das diverse Einflussfaktoren berücksichtigt und über zahlreiche Konfigurationsvariationen einen verallgemeinerten Vergleich beider Technologien ermöglicht. Eine übersichtliche Vorstellung des Modells und dessen Annahmen befindet sich im Anhang 2.

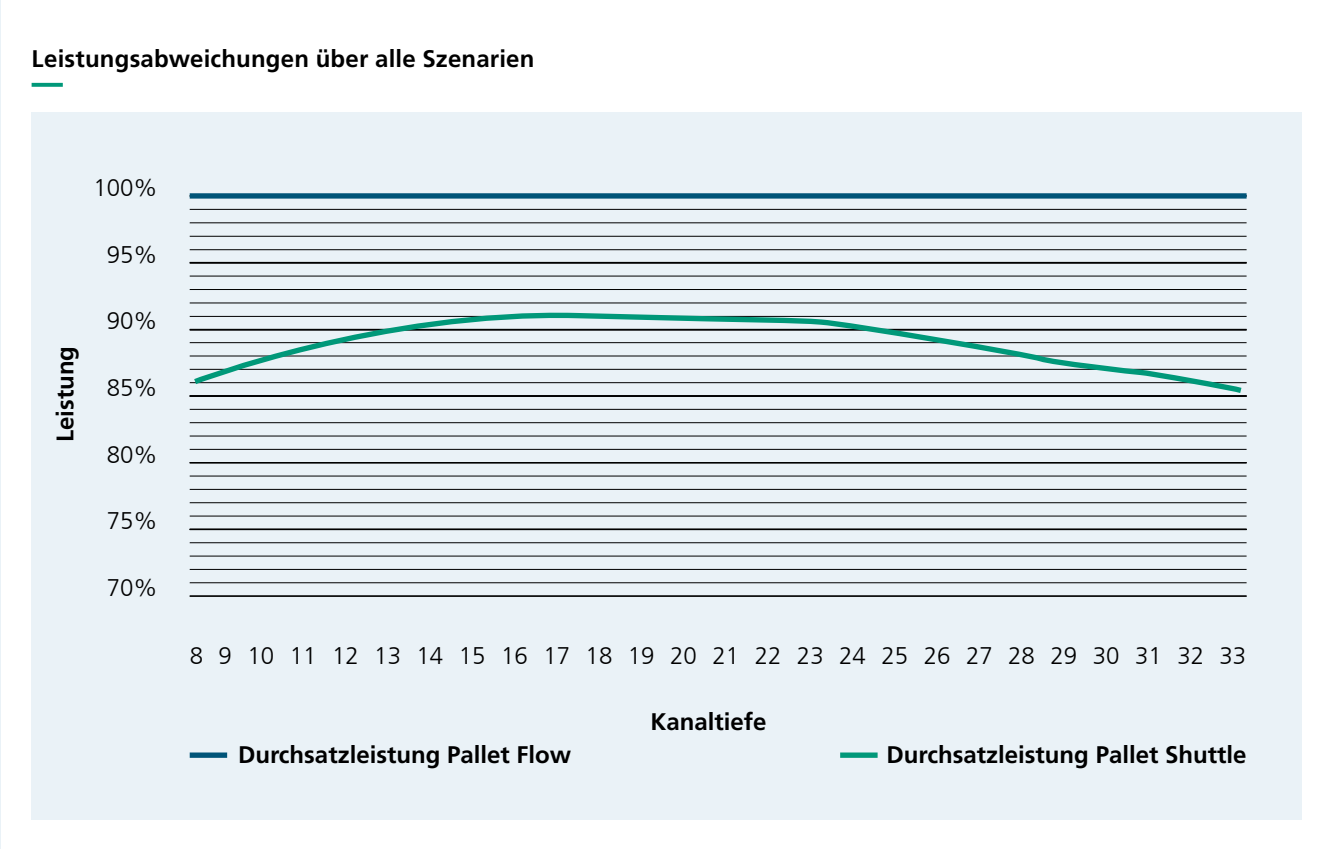

Abbildung 3: Leistungsabweichungen über alle Szenarien

Wie aus Abbildung 3 abzuleiten ist, lässt sich grundsätzlich die Aussage treffen, dass ein Pallet Flow System bei jeder vergleichbaren Auslegung einen höheren Durchsatz als ein Pallet Shuttle System ermöglicht. Dies ist auf die Funktionsweise zurückzuführen. Der Transport der Paletten im Regal erfolgt beim Pallet Flow stetig, entkoppelt vom Stapler. Somit entscheidet lediglich die Anzahl der Stapler bei der Ein- und Auslagerung über die Durchsatzleistung des Systems. Der stetige und kontinuierliche Transport der Paletten lässt sich durch eine Gerade in der Abbildung 3 darstellen, da die Kanaltiefe keinen Einfluss auf die Leistung hat. Die Höhe bzw. die Breite des Regalblocks haben jedoch direkten Einfluss auf den Durchsatz und verschieben die Gerade entsprechend entlang der Y-Achse.

Der Graph für die Durchsatzleistung des Pallet Shuttle Systems ist dagegen eine Kurve. Aufgrund des Interagierens zwischen dem Stapler und dem Shuttle-Fahrzeug entstehen je nach Konfiguration unterschiedlich lange Wartezeiten.

Bei einer geringen Kanaltiefe muss das Shuttle-Fahrzeug öfter umgesetzt werden, sodass sich dies, wie in der Abbildung 3 zu entnehmen, deutlich in der Durchsatzleistung spiegelt. Im Verlauf des Graphen ist zu erkennen, dass die Leistungsfähigkeit des Pallet Shuttle Systems ab einem bestimmten Punkt mit zunehmender Kanaltiefe wieder fällt. Denn je länger die Kanaltiefe wird, desto länger benötigt das Shuttle, um die Distanzen im Regal zu überwinden. Durch die längeren Verfahrzeiten des Shuttles im Kanal entstehen für den Gabelstapler Wartezeiten vor dem Regal, bis wieder eine neue Palette aufgenommen oder abgegeben werden kann. Die Leistungsfähigkeit des Regal-Systems wird dadurch reduziert.

Zusammenfassend liegt bei den gängigen Kanaltiefen von 8 bis 33 Stellplätzen die Leistungsfähigkeit des Pallet Flow Systems nach dem Rechenmodell des Fraunhofer IML zwischen zwischen 9% bis 15% oberhalb des Pallet Shuttle Systems. Die Berechnung berücksichtigt hierbei keine simultane Ein- und Auslagerung der Paletten im selben Kanal. In dem Fall sinkt die Leistung des Pallet Shuttle Systems noch deutlich. Nur wenn das Shuttle-Fahrzeug dafür eingesetzt wird einen Kanal komplett ein- oder auszulagern, wird die Leistung nicht durch häufige Umsetz-Vorgänge reduziert.

2.2.2 Investitionskosten

Investitionskosten gehören oftmals zu den schwerwiegenden Entscheidungskriterien. Bei einer isolierten Gegenüberstellung der Kosten pro Stellplatz ist die Pallet Flow Technologie in den gängigen Konfigurationen meist die kostenintensivere Alternative.

Im Falle des Pallet Flow Systems steigen die Investitionskosten mit jedem Stellplatz nahezu linear an. Denn ein Stellplatz beinhaltet sowohl den Regalbau als auch die bereits integrierte Rollenfördertechnik. Beim Pallet Shuttle System ist der Regalbau aufgrund der nicht benötigten Rollenfördertechnik preiswerter, hinzu kommen jedoch die Kosten für die Shuttle-Fahrzeuge. Somit variiert der Preis pro Stellplatz bei der Pallet Shuttle Technologie je nach Konfiguration des Systems stark.

Ist die im vorigen Kapitel diskutierte Durchsatzleistung von Bedeutung, so lässt sich die isolierte Betrachtung der Investitionskosten relativieren. Durch Bilden eines Kosten-Leistungs-Koeffizienten lässt sich der Unterschied zwischen den Technologien gut darstellen. Dieser Koeffizient drückt aus, wie viel das Lagern einer einzelnen Palette kostet. So ist bei geringen Kanaltiefen eine »Leistungseinheit« des Pallet Flow Systems deutlich preiswerter, siehe Abbildung 4.

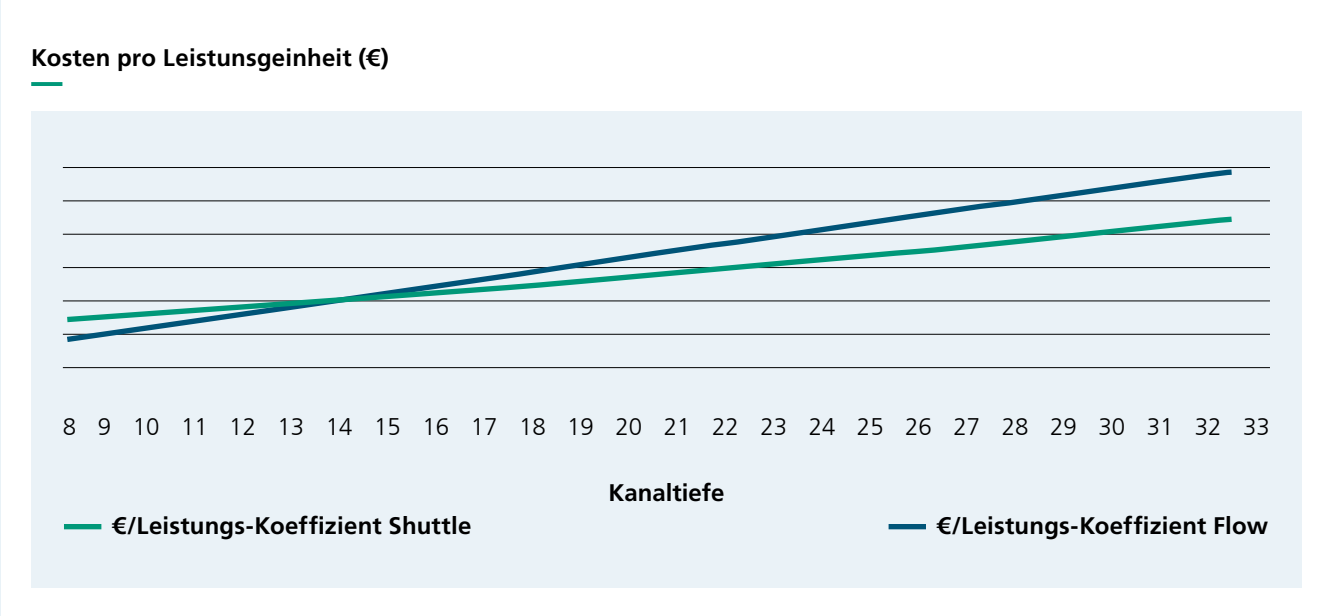

Abbildung 4: Verlauf des Kosten-Leistungs-Koeffizienten

Dies ist durch wesentlich höhere Durchsatzleistung des Pallet Flow Systems und durch die vergleichsweisen hohen Investitionskosten pro Stellplatz beim Pallet Shuttle System zu erklären. Hier schlagen die Kosten für Shuttle-Fahrzeuge stärker ins Gewicht. Pallet Shuttle Systeme mit einer geringen Stellplatzanzahl sind bei der Betrachtung der Kosten selten »konkurrenzfähig«.

Mit zunehmender Kanaltiefe und somit mehr Stellplätzen dreht sich das Verhältnis, wie in Abbildung 4 zu erkennen ist. Ab etwa einer Kanaltiefe von 15 Paletten kann eine »Leistungseinheit« beim Pallet Shuttle System günstiger werden. Durch eine größere Anzahl an Palettenstellplätzen schlagen die Kosten der Shuttle-Fahrzeuge nicht mehr so signifikant ins Gewicht. Auch die Entwicklung der Leistungsfähigkeit des Shuttle-Systems (Abbildung 3) lässt hier die Kosten pro Leistungseinheit sinken. Dieser beschriebene Verlauf des Kosten-Leistungs-Koeffizienten wird auch in der folgenden Abbildung 5 dargestellt. Hier ist für beide Systeme jeweils die positive Abweichung des Koeffizienten zu entnehmen. Wie oben schon beschrieben, ist bei geringeren Kanaltiefen der Koeffizient für das Pallet Flow System um bis zu 29% günstiger. Ab etwa 15 Stellplätzen pro Kanal dreht sich dieses Verhältnis um und das Pallet Shuttle System erreicht einen um bis zu 20% günstigeren Koeffizienten zwischen Kosten und Leistung.

Abweichung des Kosten-Leistungs-Koeffizienten

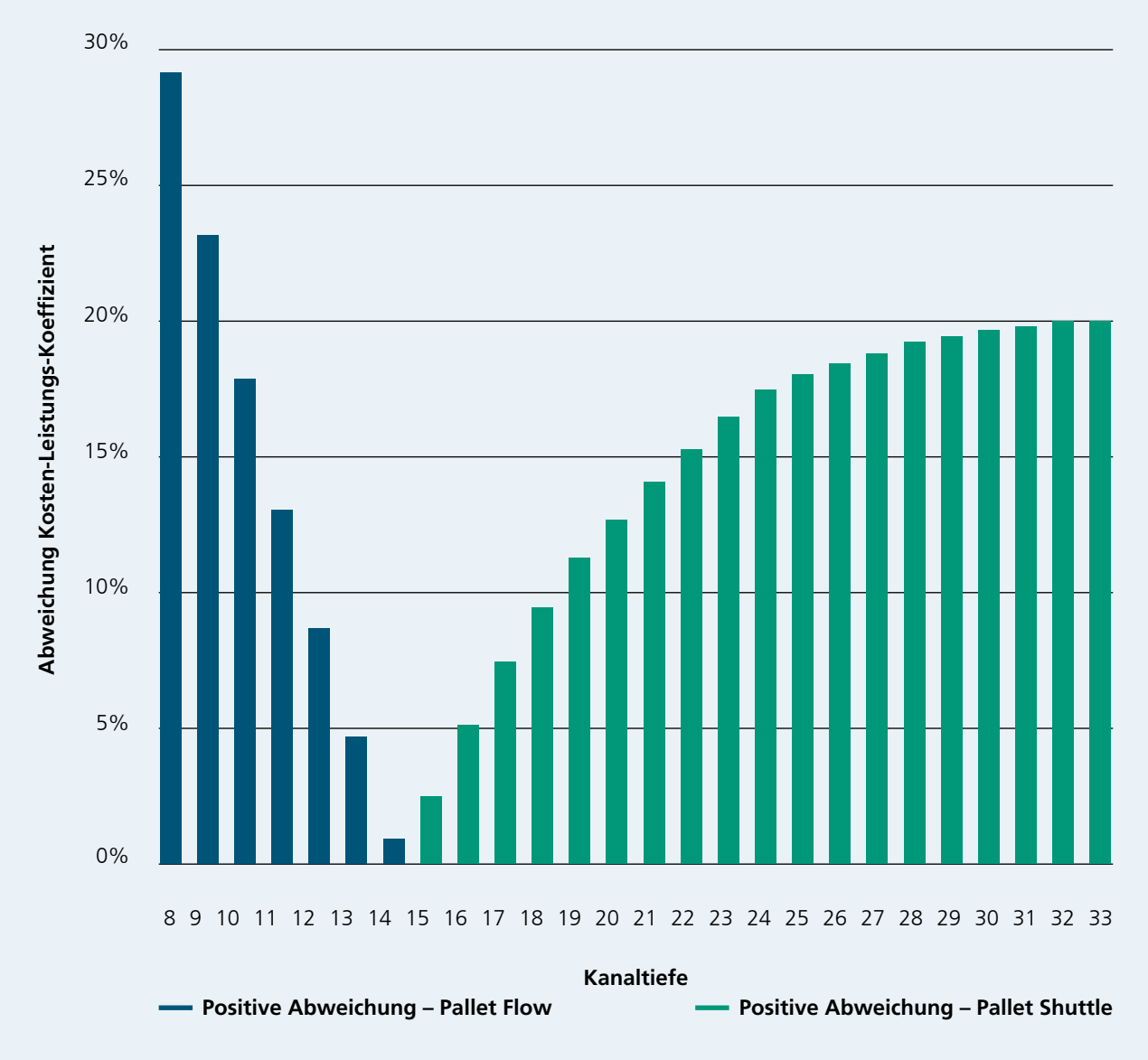

Abbildung 5: Durchschnittliche Abweichung des Kosten-Leistungs-Koeffizienten zwischen Pallet Flow und Pallet Shuttle Systemen

2.2.3 Betriebskosten

Obwohl Investitionskosten oft im Fokus stehen, sollten Unternehmen die Bedeutung der Betriebskosten bei der Entscheidungsfindung genauso beachten. Dabei können die laufenden Kosten bei einer langjährigen ganzheitlichen Betrachtung den anfänglichen Kostenvorteil eines Systems stark verändern.

Für die ganzheitliche Betrachtung der Kosten wurde ein Rechenmodell mit den Durchschnittswerten gängiger Lagerkonfigurationen aufgestellt. Über einen Zeitraum von 15 Jahren wurden anschließend sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten ermittelt. Zu den operativen Kosten zählen neben der für beide Technologien relevanten jährlichen Service- und Instandhaltung der Anlage auch Pallet Shuttle-spezifische Ausgaben wie Ersatz der Shuttle-Fahrzeuge nach 5 bis 8 Jahren sowie Austausch der Batterien nach ca. 1.000 Ladezyklen. Ebenfalls wurden Energiekosten für den Betrieb der Shuttle-Fahrzeuge in den Betriebskosten berücksichtigt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Technologien wurde im Rechenmodell mit dem gleichen Durchsatzvolumen gerechnet. Höhere Prozess- und Wartezeiten bei der Pallet Shuttle Technologie führen somit zu höheren Personalkosten.

Der Verlauf der Gesamtkosten für beide Technologien wird zusammenfassend in der Abbildung 6 dargestellt. Trotz deutlich höherer Investitionskosten kann die Pallet Flow Technologie auf lange Sicht mit geringen Betriebskosten punkten. Nach wie vielen Jahren sich die beiden Graphen der Gesamtkosten schneiden, ist für jeden Anwendungsfall unterschiedlich. Hier kommen zahlreiche individuelle Faktoren zum Tragen, die es im Einzelfall zu analysieren gilt. Dazu zählen, wie im vorherigen Absatz schon beschrieben, beispielsweise zusätzliche Prozesszeiten durch das Drehen der Paletten, die Verfügbarkeit abhängig von der Wartung des Systems sowie der geografische Standort, welcher mit unterschiedlichen Standards verbunden ist. Insbesondere letzterer Punkt kann zu erheblichen Unsicherheiten führen, wenn bei Störungen schnelle Reaktionszeiten und Ersatzteile benötigt werden. Denn besonders beim Shuttle-System hängt die Verfügbarkeit unmittelbar von den Shuttle-Fahrzeugen ab. Daher müssen angemessene Redundanzen sichergestellt werden (siehe 2.1.6) und ein Ausfallkonzept gewährleistet sein, da sonst hohe Kosten durch Ausfälle entstehen. Wie in Abbildung 6 dargestellt, entstehen durch die hier aufgeführten Aspekte unterschiedliche Verläufe bei der Kostenentwicklung der Systeme, die es im Einzelfall zu untersuchen gilt.

Entwicklung der Gesamtkosten

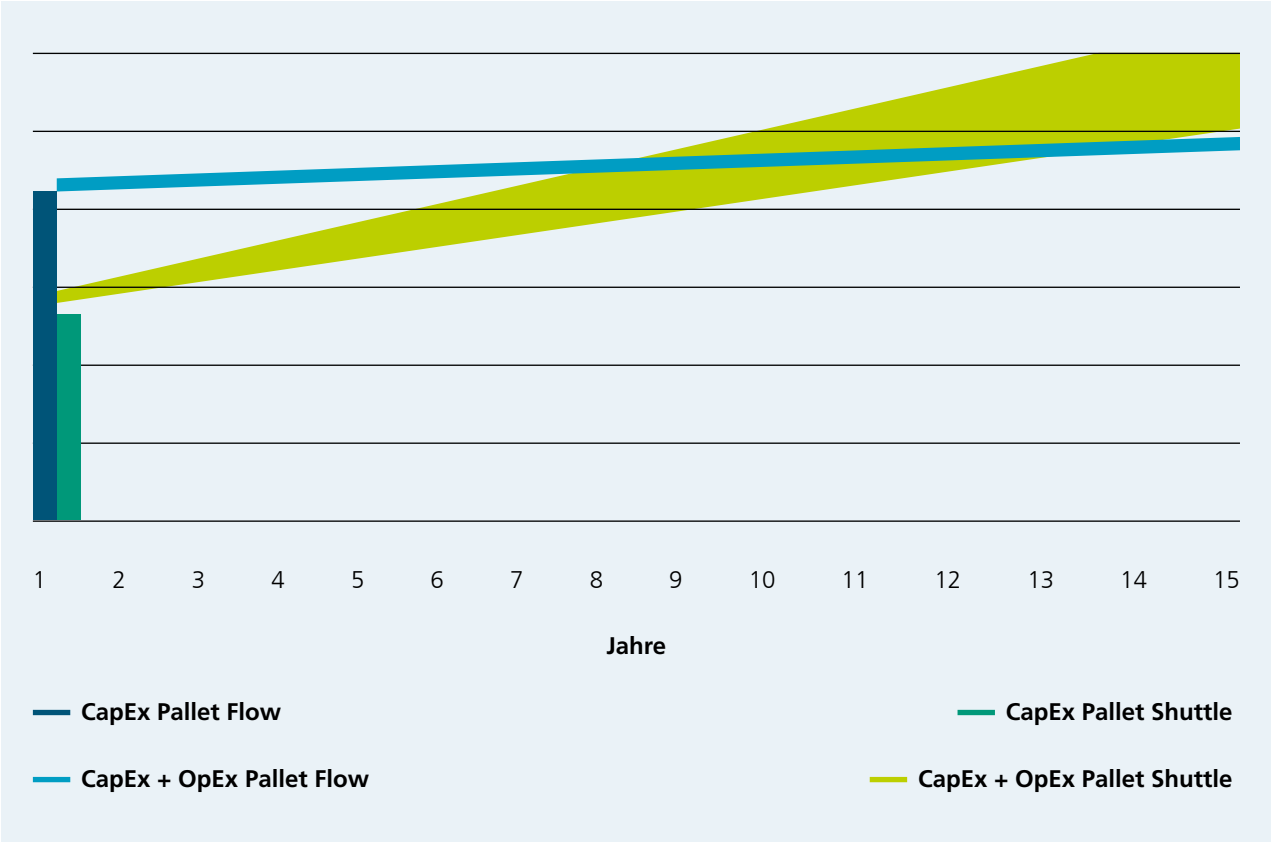

Abbildung 6: Entwicklung der Gesamtkosten (auf Grundlage des Rechenmodels des Fraunhofer IML)

3. Fazit

Wie in den vorigen Kapiteln deutlich wurde, haben beide Technologien unterschiedliche Stärken und Schwächen, sodass die Empfehlung für ein System sehr stark vom jeweiligen Szenario abhängt. Folgende Abbildung fasst die wichtigsten Faktoren zusammen und ordnet die Technologien ein.

Die in Abbildung 7 dargestellten Ausprägungen geben eine erste Tendenz für oder gegen einen bestimmten Faktor. Dabei wird eine Skala von null bis drei angegeben, welche den Vor- oder Nachteil der zwei vergleichenden Technologien für den jeweiligen Faktor beschreiben. Die Null gibt dabei die kleinste Ausprägung und die Drei die größte Ausprägung und somit auch den größten Vorteil der jeweiligen Technologie an.

Stärken und Schwächen der Technologien

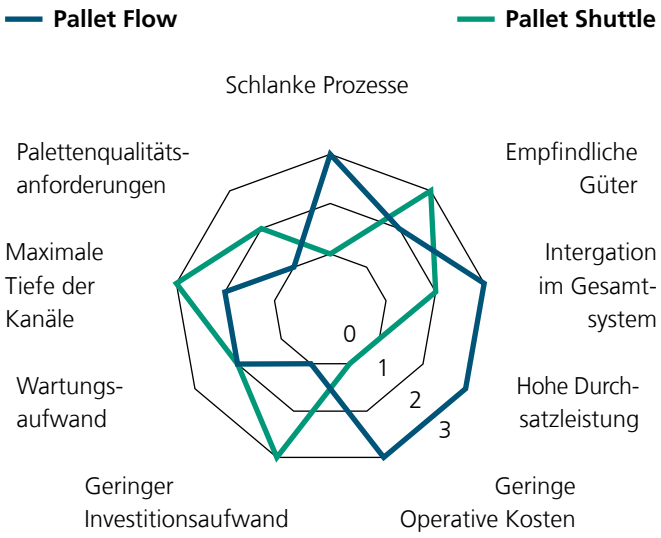

Abbildung 7: Stärken und Schwächen der Technologien

Sweetspots

Pallet Flow Systeme sind technisch und prozessual in den meisten Fällen die präferierte Wahl. Sie zeichnen sich besonders durch eine hohe Leistungsfähigkeit, eine einfache Integration in das Gesamtsystem und schlanke Prozesse aus. Diese Vorteile spiegeln sich im Vergleich in geringeren Betriebskosten wider.

Das System ist besonders für Unternehmen mit hohen Durchsätzen sowie Materialflüssen mit durchgängiger Längsausrichtung der Paletten geeignet. Hierbei sind typischerweise Kanallängen bis ca. 14 Palettenstellplätzen ein geeigneter Dimensionierungsrahmen.

Pallet Shuttle Systeme zeichnen sich durch geringe Anfangsinvestitionen aus und sind die präferierte Wahl bei sehr großen Lagerdimensionen. Das System ist besonders für Lagerbereiche mit geringeren Durchsatzanforderungen und großen Kanallängen geeignet. Zudem kommen die Shuttle Systeme dann zum Einsatz, wenn Güter länger und besonders schonend gelagert werden müssen.

Das System ist besonders für Unternehmen geeignet, die mit einer vergleichsweisen geringen Investition sehr viele Paletten vom gleichen Produkttyp lagern wollen und wo die Querausrichtung der Paletten keinen Nachteil für den Materialfluss darstellt.

Zusammenfassung

Beide Systeme sind bei entsprechender Wartung, Sauberkeit und Einhaltung entsprechender Palettenqualität eine robuste und langlebige Lösung für eine hochdichte Lagerung der Paletten. Sie bieten auch im Rahmen einer Integration mit Automatisierungstechnologien bedeutende Möglichkeiten.

Dabei müssen sich beide Technologien nicht gegenseitig ausschließen. Die Stärken beider Technologien können auch in einer hybriden Konstruktion kombiniert werden. Dabei könnte die untere Ebene in Form eines Pallet Flow Systems, während die darüber liegenden Ebenen als ein Pallet Shuttle System gestaltet werden. Auf diese Weise könnten Teilmengen in Lastspitzen mit einer hohen Durchsatzleistung und schlanken Prozessen auf der unteren Ebene abgewickelt werden, wobei die oberen Ebenen für Paletten mit einer geringeren Umschlagsrate zu geringeren Investitionskosten gehandelt werden können.

Vor der Entscheidung über das zu verwendende System sollten im Allgemeinen die Logistikprozesse, die gewünschte Nutzungsdauer und die Verfügbarkeit von Serviceleistungen bezüglich der einzelnen Technologien gründlich geprüft werden. Auch die Kombination von klassischer Logistiktechnik und Automatisierungstechnologie wird eine immer bedeutsamere Rolle einnehmen. Daher sollte zudem die fortschreitende Entwicklung auf dem FTS-Markt in zukünftigen Planungen berücksichtigt werden.

4. Anhang

Anhang 1 – Best Practice Beispiele aus der Industrie

Lebensmittelbranche
Lagerung und Kommissionierung von verderblichen Waren wie Obst, Gemüse, oder Milchprodukte. Das FIFO-Prinzip ermöglicht hierbei einen optimalen und effizienten Warenfluss.
Die hochdichte Lagerung ermöglicht eine sehr gute Raumnutzung in (Tief-) Kühllägern.

Getränkeindustrie
Beschleunigung von Lager- und Kommissioniervorgängen durch schnellen Zugriff auf große Palettenmengen in Verbindung mit einer hochdichten Lagerung.

Konsumgüter
Hochdichte Lagerung bei Haushaltsprodukten, Kosmetika oder Elektronik, um eine effiziente Raumnutzung und Kommissionierung zu gewährleisten und eine schnelle Auslieferung der Produkte zu ermöglichen.

E-Commerce
Die Fähigkeit hohe Durchsätze zu bewältigen sowie die einfache Handhabung großer Warenmengen, ermöglichen die Einhaltung der kurzen Lieferzeiten für Online-Bestellungen.

Automobilindustrie
Lagerung von Teilen und Komponenten für die Einhaltung der FIFO-Struktur und Sicherstellung eines geordneten Materialflusses. Dieser ist die Basis für die Nachschubversorgung einer effiziente Montagelinie.

Chemieindustrie / Produktion
Hochdichte und schnelle Lagerung von großen Palettenmengen eines gleichen Produktes aus einem Batch.

Anhang 2 – Modell zur Durchsatzberechnung

Methodik und Annahmen
Es wurde ein Berechnungsmodell mit einer weitgehend vergleichbaren Grundlage für beide Technologien entwickelt. Die Annahmen wurden so getroffen, dass ein möglichst realitätsnaher und genereller Vergleich ermöglicht wird. Das Modell bildet eine (sinnvoll) kleinstmögliche Lagereinheit ab, um eine einfache Hochrechnung auf größere Anwendungsfälle zu ermöglichen. Bestimmte Modellparameter wurden als feste Größen definiert, andere zu analysierende Faktoren sind variabel gestalten.

Folgende feste Größen definieren das Modell:

- Es wird ein Regalblock betrachtet, der zehn Kanäle nebeneinander (in der Breite) umfasst.
- Bedienung des Regals erfolgt durch einen Gabelstapler. Im Falle der Pallet Shuttle Technologie wird auch angenommen, dass ein Gabelstapler kontinuierlich ein Shuttle bedient (1:1 Zuordnung, ein weiteres Shuttle wird jedoch zur Gewährleistung der Verfügbarkeit kostenseitig mitberücksichtigt).
- Sowohl für Stapler als auch für Shuttle werden herstellerunabhängige technische Parameter zugrunde gelegt.
- Es findet im Modell keine gleichzeitige Ein- und Auslagerung im System / in den Kanälen statt. In dem Fall ist Pallet Shuttle Technologie mit den Pallet Flow Systemen aus Sicht der Ein- / Auslagerleistung nicht konkurrenzfähig.
- Folgende (zu untersuchende) variable Größen sind im Modell berücksichtigt:
- Anzahl der Regalebenen beinhaltet die Ausprägungen 1, 3 und 5.
- Tiefe der Regalkanäle beinhaltet die Ausprägungen zwischen 3 und 50, wobei die hohen Werte bei der Kanaltiefe eher theoretischer Natur sind und lediglich für die Untersuchung relevant sind. Für die finale Darstellung der Ergebnisse wurde der Wertebereich auf 8 bis 33 präzisiert.
- Distanz zwischen der Quelle der Paletten und dem Regal (durchschnittliche Entfernung für den Stapler) beinhaltet die Ausprägungen 10 m, 20 m und 30 m.

Für die monetäre Bewertung der Technologien wurden durchschnittlichen Marktpreise (2023) herangezogen.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für
Materialfluss und Logistik IML
Sascha Franke
Joseph-von-Fraunhofer-Str.2-4
44227 Dortmund
sascha.franke@iml.fraunhofer.de