

# Flexibilitätspotentiale der manuellen Kommissionierung

## Flexibility potential of manual order picking

**Daniel Mezger**  
**Robert Schulz**

*Institute of Mechanical Handling and Logistics  
University of Stuttgart*

*Aus Gründen der einfachen Lesbarkeit wird bei Personenbezeichnungen die männliche Form gewählt, es ist jedoch immer die weibliche Form mitgemeint.*

**D**ie manuelle Kommissionierung ist in Folge heterogener und dynamischer Arbeitsinhalte sowie geringer Investitionskosten nach wie vor weit verbreitet. Dem gegenüber stehen hohe Personalkosten, eine starke Fluktuation und höhere Fehlerquoten. Gleichzeitig mangelt es Unternehmen an der Fähigkeit, ihre Kommissioniersysteme ohne Unterstützung des Systemanbieters an aktuelle Anforderungen anzupassen. Aus dieser Diskrepanz gilt es, die positiven Fähigkeiten des Menschen zu nutzen und die negativen unter Zuhilfenahme von Kommissioniertechnologien zu eliminieren. Die Gestaltung dieser Kommissioniertechnologien setzt dabei Flexibilität für den Anwender voraus. Der Beitrag beschreibt die Entwicklung von Flexibilitätspotentialen in der manuellen Kommissionierung aus Unternehmensperspektive und untersucht, welchen Einfluss mehr Flexibilität im Kommissioniersystem auf die Kommissionierleistung hat.

*[Schlüsselwörter: Manuelle Kommissionierung, Flexibilität, Kommissioniertechnologie, Pick-by-Light, Augmented-Reality]*

**M**anual order picking is still widespread due to heterogeneous and dynamic work content and low investment costs. On the other hand, there are high labour costs, strong fluctuation and high error rates. Simultaneously, companies lack the ability to adapt their picking systems to current requirements without the support of the system provider. From this discrepancy, it is important to use the positive skills of humans and to eliminate the negative ones by means of the picking technologies. The design of these picking technologies requires flexibility for the user. This article describes the development of flexibility potential in manual order picking from a company's perspective and examines the influence that more flexibility in the picking system has on picking performance.

*[Keywords: Manual order picking, flexibility, picking technology, Pick-by-Light, Augmented-Reality]*

## 1 MOTIVATION UND PROBLEMSTELLUNG

Das Sendungsvolumen im Kurier-, Express- und Paketdienstsektor ist im Jahr 2020 um über 10 % auf 4,05 Milliarden Sendungen angewachsen. Für das Jahr 2021 wird mit einem weiteren Zuwachs von 320 Millionen Sendungen gerechnet. Die Corona-Pandemie hat hierbei einen wesentlichen Einfluss [BIE21]. Maßgeblich hat sich dieser Einfluss im Online-Handel niedergeschlagen. Dieser ist im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr um 23 % auf fast 73 Milliarden Euro angewachsen [HDE21].

Diese Steigerungen verursachen Druck auf die Distributionszentren und deren Effizienz der Warenabläufe und stellen die Entscheider in Unternehmen unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile vor die Schwierigkeit, zwischen manuellen, halbautomatisierten und automatisierten Logistik- und Kommissionierlösungen abzuwägen.

Das vorliegende Arbeitspapier basiert auf Untersuchungen und Ergebnissen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten ZIM-Projekte ARKom (Entwicklung eines Pick-by-Augmented-Reality-Systems zur manuellen Kommissionierung in kleinen und mittleren Unternehmen) und FlexLight (Entwicklung eines neuartigen, flexiblen, robusten und kostengünstigen Pick-by-Light-Systems für die manuelle Kommissionierung in kleinen und mittleren Unternehmen). Dazu werden in Kapitel 1 die Motivation und die Problemstellung der manuellen Kommissionierung erläutert. Kapitel 2 zeigt das Anwendungsszenario und die Methode. Im darauffolgenden Kapitel 3 werden die ersten Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Kapitel 4 gibt eine Zusammenfassung und einen Ausblick.

### 1.1 MOTIVATION

80 % der Distributionszentren in Westeuropa werden manuell betrieben. Der Mensch spielt folglich eine zentrale Rolle bei der Erfüllung der Grundfunktionen im Distributionszentrum vom Wareneingang über die Lagerung, Kommissionierung, Verpackung bis zum Warenausgang

[AA18]. Das Distributionszentrum ist hinsichtlich der Bedeutung und des Aufgabengebiets gleichgesetzt mit einem Warenverteilzentrum. Die Hauptaufgaben des Distributionszentrums bestehen im Sammeln und kundengerechten Verteilen der Waren. Sie werden durch die oben aufgeführten Grundfunktionen umgesetzt [YL20]. Die Zusammenstellung der kundenspezifischen Waren erfolgt durch die Kommissionierung. Diese nimmt mit ca. 55 % den größten Anteil an den Logistikkosten in Distributionszentren ein [Fra18]. Die Kommissionierung ist dabei in ihrem grundlegenden Prozess seit 1994 unverändert in der VDI 3590-1 festgehalten. Das Ziel des Kommissionierens besteht darin, „aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen“. Der Kommissioniervorgang differenziert sich in weitere Grundfunktionen. Diese müssen nicht alle zwangsläufig stattfinden, um die Kommissionierung zu ermöglichen, sondern sind je nach unternehmerischer Gegebenheit unterschiedlich gestaltet [VDI94].

## 1.2 PROBLEMSTELLUNG

Trotz steigender Automatisierung in Distributionszentren durch fahrerlose Transportfahrzeuge und Kommissionierroboter finden in vielen Unternehmen nach wie vor manuelle Kommissionierprozesse statt [CGG+18]. Diese werden von Kommissioniertechnologien wie beispielsweise Handhelds, Sprachcomputern, Lichtsignalen an Lagerplätzen oder Datenbrillen unterstützt [HSB11]. Somit kann von einer halb- oder teilautomatisierten Kommissionierung gesprochen werden.

### 1.2.1 KOSTEN

Mit der Hälfte der Logistikkosten nimmt die Kommissionierung einen hohen Stellenwert ein. Die kapitalintensiven Ressourcen, wie Gebäude, Anlagen und Flächen, der hohe Personaleinsatz und die Material- und Informations-handhabung treiben den Kostenanteil der Kommissionierung in die Höhe [Sch09]. Folglich sind Unternehmen gezwungen den zeit-, arbeits- und personalintensiven Kommissionierprozess so effizient wie möglich zu gestalten, um einen Wettbewerbsvorteil zu realisieren. Größere Unternehmen realisieren diese Effizienz und den damit verbundenen Wettbewerbsvorteil durch hohe Investitionen in automatisierte Kommissioniersysteme. Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sehen sich hingegen mit erheblichen Investitionskosten konfrontiert und tendieren folglich zu manuellen Kommissioniersystemen und der Unterstützung von Kommissioniertechnologien, um gegenüber den finanzstärkeren Konkurrenten am Markt zu bestehen [Fra18].

### 1.2.2 KOMMISSIONIERLEISTUNG

Die Kommissionierleistung wird aus der Kommissionierzeit und der Kommissionierqualität berechnet [Sti18]. Die Kommissionierzeit beinhaltet die Weg-, Greif-, Sor-

tier-, Basis- und Totzeiten und ist abhängig von der Auftragszusammensetzung, wie der Anzahl der Kommissionierpositionen und Entnahmen. Automatisierte Kommissioniersysteme wie Shuttles oder Regalbediengeräte weisen gegenüber dem Menschen eine höhere Geschwindigkeit in der Ein- und Auslagerung von Waren auf [HSB11]. Die Kommissionierqualität wird dagegen durch die Fehlerquote der Kommissionierung definiert. Je höher die Fehlerquote, desto geringer ist die Kommissionierqualität und somit zwangsläufig die Kommissionierleistung. Fehlerarten der manuellen Kommissionierung sind Mengen-, Auslassungs-, Typ- und Zustandsfehler sowie bei einer mehrstufigen Kommissionierung Ablage- und Sortierfehler [Lol03]. Die Folgen von Kommissionierfehlern sind teure Nachlieferungen, Retouren oder der Verlust von Kunden. Insbesondere durch den Wandel vom Anbieter- zum Käufermarkt nimmt der Kunde die zentrale Stellung ein. Die Bedürfnisse des Kunden werden somit auch durch die Logistik befriedigt und Kommissionierprozesse dementsprechend angepasst [HSB11]. Eine (Teil-)Automatisierung durch Kommissioniertechnologien verhindert die Fehler in der manuellen Kommissionierung nicht vollständig, mindert sie jedoch deutlich [Fra18].

### 1.2.3 FLEXIBILITÄT

Flexibilität ist die markt- und unternehmensentscheidende Möglichkeit, um auf Unsicherheiten und Risiken, wie beispielsweise die Corona-Pandemie, zu reagieren. Schwankende Nachfragen in qualitativer und quantitativer Form haben direkten Einfluss auf die Distributionszentren und somit auf die Kommissionierung. Das Flexibilitätspotential ist in der manuellen Kommissionierung deutlich höher, da eine Umstrukturierung und Anpassung mit und durch den Menschen deutlich schneller erfolgen kann als in automatisierten Kommissioniersystemen. Das interne Flexibilitätspotential steht dabei in direktem Bezug zum externen Flexibilitätsbedarf: Durch ein erhöhtes Flexibilitätspotential ist eine schnelle Reaktion auf einen erhöhten Flexibilitätsbedarf möglich. Gleichzeitig bedeutet ein permanent vorliegendes Flexibilitätspotential erhöhte Kosten [Sch09].

Daraus ergibt sich das in der Abbildung 1 dargestellte Spannungsfeld der Kommissionierung zwischen Kosten, Kommissionierleistung und Flexibilität. Durch die zugrundeliegenden heterogenen und dynamischen Arbeitsinhalte der Kommissionierung, den gestiegenen Druck des Marktes und die weit verbreitete manuelle Kommissionierung (unterstützt durch Kommissioniertechnologien) bzw. die halbautomatisierte Kommissionierung befinden sich Unternehmen in einem Zwiespalt zwischen der verlorenen Flexibilität und der gestiegenen Abhängigkeit zum Systemanbieter der Kommissioniertechnologien [Sch09].

In der vorliegenden Arbeit wird die Flexibilität in Kommissioniertechnologien genauer betrachtet und Ansätze für eine erhöhte Flexibilität in der halbautomatisierten Kommissionierung werden untersucht.

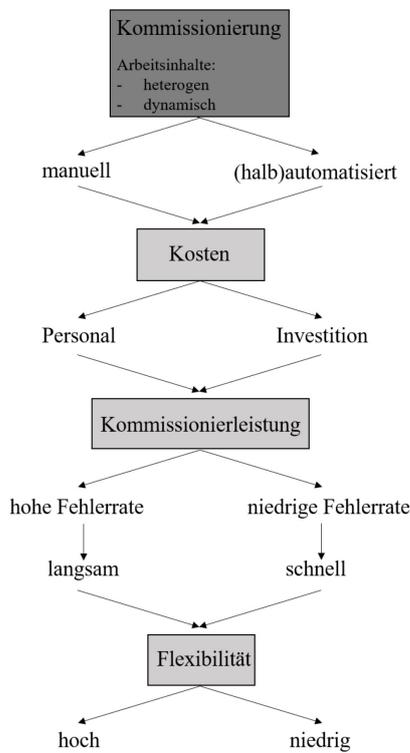


Abbildung 1: Spannungsfeld der Kommissionierung

## 2 ANWENDUNGSSZENARIO UND METHODE

Im Folgenden werden das Anwendungsszenario sowie die Methoden der Untersuchung beschrieben.

### 2.1 ANWENDUNGSSZENARIO

Die entwickelten Flexibilitätsoptimierungen werden im LernLager, dem Forschungs-, Lehr- und Praxislabor für die manuelle Kommissionierung am Institut für Förder-technik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart, durchgeführt. Das LernLager als Versuchsfeld umfasst drei Kommissioniergassen mit ca. 1.000 Lagerplätzen auf einer Kommissionierfläche von 120 m<sup>2</sup>. Die Abbildung 2 zeigt die Anordnung der Regale und die dadurch entstandenen Gassen im LernLager.

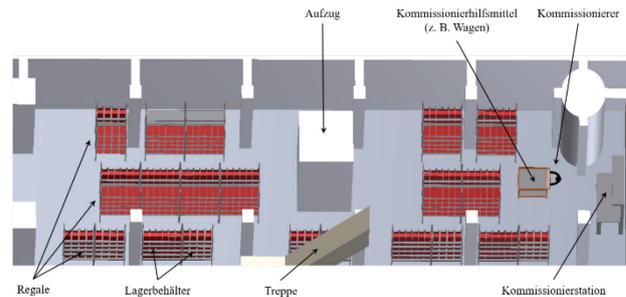


Abbildung 2: Kommissionierlabor LernLager

Die Lagerplätze sind mit realen Produkten bestückt, um einer realitätsnahen Kommissionierung trotz Laborumgebung gerecht zu werden. Um den Schwierigkeitsgrad der Kommissionierung unter Laborbedingungen zu erhöhen, weisen die Produkte für die Probandenversuche geringe Abmessungen sowie geringe Gewichte auf und sind in ihrer Optik sehr ähnlich. Eine eindeutige Identifizierung der zu entnehmenden Artikel ist somit durch das bloße Auge nicht durchführbar. Das Fachbodenregallager beinhaltet fünf Regalreihen mit fünf bis zehn Lagerregalen. Jedes Lagerregal beinhaltet fünf vertikale Abschnitte und vier bis fünf horizontale Abschnitte. Die Lagerplätze sind durch Lagernummern gekennzeichnet. Für den Lagerplatz in der ersten Regalreihe A des ersten Lagerregals auf dem fünften vertikalen und vierten horizontalen Abschnitt ist folglich die Lagernummer A-01-5-4 angebracht, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist.



Abbildung 3: Regalanordnung LernLager

Die Bereitstellung der Artikel findet dezentral statt. Start der Kommissionierung ist immer die Kommissionierbasis mit der Auswahl des Kommissionierauftrags. Der Kommissionierer bewegt sich eindimensional zu den bereitgestellten Waren. Als Kommissionierhilfsmittel wird ein Kommissionierwagen eingesetzt. Der Kommissionierer

entnimmt die entsprechende Ware und legt diese in zugehörige Entnahmebehälter auf dem Kommissionierwagen. Nach Abschluss der gesamten Entnahme werden die Entnahmebehälter an der Kommissionierbasis abgelegt und der Auftrag wird abgeschlossen.

Im LernLager des IFT sind verschiedene Kommissioniertechnologien wie Pick-by-Scan, Pick-by-Voice, Pick-by-Light und Pick-by-Vision anwendbar. Die vorliegende Flexibilitätsoptimierung bezieht sich auf die Kommissioniertechnologien Pick-by-Light und Pick-by-Vision. Pick-by-Scan und Pick-by-Vision wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet, da der Fokus auf visuellen Kommissioniersystemen lag.

## 2.2 METHODE

Bei Pick-by-Light wurde in Versuchen im LernLager gezeigt, dass die intuitive Bedienung einen Vorteil gegenüber anderen Kommissioniertechnologien aufweist. Die im Spannungsfeld beschriebene Kommissionierleistung ist dadurch besonders hoch, da ein schnelles Bearbeiten der einzelnen Entnahmen möglich ist. Auf der anderen Seite leidet die Kommissionierqualität bei Pick-by-Light durch eine mangelnde Quittierung. Lediglich das Betätigen der Lichttaste zur Quittierung des Lagerplatzes verursacht häufig einen Mengen- oder Typfehler. Zusätzlich ist bei Pick-by-Light eine mehrstufige Kommissionierung in Form eines Multi-Orders häufig nicht möglich. Ist beispielsweise nur eine Farbe im Pick-by-Light hinterlegt, ist keine Zuordnung bei mehreren gleichzeitig zu bearbeitenden Kundenaufträgen möglich. Gegenüber Pick-by-Vision oder Pick-by-Voice Systemen wird außerdem bei Pick-by-Light nicht angezeigt, welches der nächste zu bearbeitende Lagerplatz ist. Ein sogenanntes Guiding findet also nicht statt. Weiterhin weist Pick-by-Light im Spannungsfeld ein erhöhtes Investitionsaufkommen durch Eingriffe in die Infrastruktur des Lagers auf. Eine Erweiterung oder Änderung des bestehenden Pick-by-Light-Systems ist meist nur mit Hilfe des Systemanbieters möglich. Folglich ist die Abhängigkeit vom Systemanbieter erhöht und die Flexibilität gering. Somit eignet sich Pick-by-Light für eine Optimierung der Flexibilität.

Bei Anwendungen mit Pick-by-Vision, also eine Kommissionierung mit Datenbrillen, wurde in Versuchen die Möglichkeit der visuellen Anzeige positiv bewertet. Es ist zudem kein weiteres mobiles Gerät wie beispielsweise ein Scanner notwendig. Die Datenbrille wird durch das Tragen auf dem Kopf nach kurzer Anwendung häufig gar nicht mehr wahrgenommen. Gegenüber Pick-by-Light ist die Datenbrille ortsunabhängig und bedarf keiner größeren Eingriffe in die Infrastruktur des Lagers. Die Investitionskosten pro Datenbrille liegen je nach Art und Umfang der Funktionen zwischen 1.000 und 3.500 €. Eine zusätzliche Anbindung an die Software des Brillenanbieters erhöht die Kosten. Die Kommissionierung mit Datenbrillen bedarf

ebenso einer gewissen Eingewöhnung. Der Quittierungsvorgang über die Datenbrille lässt die Fehlerrate sinken, erhöht jedoch die Kommissionierzeit und lässt somit die Kommissionierleistung sinken. Diese wird jedoch durch ein paralleles Bearbeiten von mehreren Aufträgen wiederum positiv beeinflusst. Die Wegzeiten werden folglich minimiert. Dies wird durch eine zusätzliche Anzeige des nächsten zu bearbeitenden Lagerplatzes verstärkt. Die Flexibilität mit Datenbrillen ist durch den Hersteller sowie den Softwareanbieter beschränkt. Somit eignet sich die Datenbrille ebenso für eine Optimierung der Flexibilität.

Eine Gegenüberstellung der beiden Kommissioniertechnologien, wie sie im LernLager aktuell eingesetzt werden, zeigt die Abbildung 4.

	Pick-by-Light	Pick-by-Vision
<b>Investition</b>	hoch	hoch
<b>Qualität</b>	gering	hoch
<b>Zeit</b>	schnell	langsam
<b>Multi-Order</b>	nein	ja
<b>Guiding</b>	nein	ja
<b>Flexibilität</b>	gering	gering

Abbildung 4: Vergleich Pick-by-Light und Pick-by-Vision

Die beiden Kommissioniertechnologien Pick-by-Light und Pick-by-Vision werden im Rahmen der Projekte weiterentwickelt und in ihrem Flexibilitätspotential optimiert. Die entwickelten Flexibilitätspotentiale werden durch experimentelle Versuche im Kommissionierlabor untersucht. Mittels Kontrollgruppen werden die Flexibilitätspotentiale und Kommissionierleistungen mit den herkömmlichen und standardisierten Kommissioniertechnologien Pick-by-Light und Pick-by-Vision verglichen und analysiert. Die Evaluation der Flexibilitätspotentiale erfolgt durch Probandentests. Dafür werden in der Versuchs- und Kontrollgruppe jeweils die identischen Aufträge bearbeitet und die Zeiten sowie Fehler ermittelt. Zusätzlich liefert ein Fragebogen der Probanden zusätzliche Informationen über die Nutzerfreundlichkeit oder Einschränkungen.

## 3 ERGEBNISSE

Bei allen Versuchen wurde angestrebt, dass die Steigerung der Flexibilität der angewendeten Kommissioniertechnologien keine negativen Auswirkungen auf die Kommissionierleistung hat, sondern diese durch ein umfangreicheres und individuelleres Funktionsportfolio optimiert.

Dieses Portfolio umfasst bei Pick-by-Light keine starre Infrastruktur, sondern flexibel einsetzbare LED-Bänder. Dafür eignen sich besonders NeoPixel LEDs, da sie zum einen preiswert sind und somit hohe Investitionskosten vermeiden und zum anderen alle Farben des RGB-

Farbmodells abbilden können. Dadurch lassen sich pro Kommissionierer mehrere Farben verwenden und ein Multi-Order mit Zuordnung einer bestimmten Farbe zu einem Auftrag wird möglich. Die LEDs lassen sich einzeln ansteuern und erlauben folglich eine Wegsteuerung des Kommissionierers vom aktuellen zu bearbeitenden Lagerplatz zum nächstgelegenen Lagerplatz. Der nächstgelegene Lagerplatz wird schneller gefunden, wenn dieser sich in einer anderen Gasse befindet. Ist der nächstgelegene Lagerplatz in derselben Gasse oder gar im selben Regal, kann kein Vorteil durch die Wegoptimierung festgestellt werden. Die Qualität der Kommissionierung kann durch das neue, flexible Pick-by-Light deutlich gesteigert und damit die Fehlerquote gesenkt werden. Dazu werden kostengünstige Near-Field-Communication (NFC) Tags an die Lagerplätze angebracht. Ein zusätzliches Kommissionierarmband, ausgestattet mit einem NFC-Reader, überstreift bei der Entnahme am Lagerplatz den dort angebrachten NFC-Tag und per Vibration wird mitgeteilt, ob es sich um den richtigen oder falschen Lagerplatz handelt. Dazu sind verschiedene Einstellungen möglich. Eine kurze Vibration kann die richtige Entnahmestelle bestätigen, eine lange Vibration wiederum die falsche. Die Angabe der richtigen Menge könnte über die Anzahl der leuchtenden LEDs wiedergegeben werden. Dies erscheint nicht sinnvoll, da der Kommissionierer bei jedem Lagerplatz erst alle LEDs zählen müsste. Die Anzahl der zu entnehmenden Artikel kann über ein am Kommissionierarmband eingebautes Display, beispielsweise durch ein Smartphone, erfolgen. Dies bietet zusätzliche Möglichkeiten, wie ein weiteres visuelles oder auch auditives Feedback. Die genaue Entnahmemenge wird im aktuellen Ergebnis nicht überprüft. Prinzipiell könnte durch die exakt richtige Anzahl an Berührungen des Kommissionierarmbandes am Entnahmebehälter die Entnahmemenge automatisch detektiert werden. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, da der Kommissionierer folglich immer nur einen Artikel entnehmen darf, was wiederum die Kommissionierleistung reduzieren würde. Die Steuerung der LEDs erfolgt über an jedem Regal verbaute Mikrocontroller. Um die Störanfälligkeit der Lichter zu minimieren ist für jedes Regal eine Steuerungseinheit vorgesehen, da die Datensignale konstant vorliegen müssen. Die Breite der einzelnen Lagerplätze kann durch die Anzahl der zu verwendenden LEDs individuell durch den Anwender konfiguriert werden.

Bei Pick-by-Vision ist das Funktionsportfolio durch die Nutzung der Datenbrille Microsoft HoloLens2 erweitert worden. Die bisher verwendete Datenbrille zeigt die zusätzlichen Informationen als Assisted Reality an. Dadurch wurden Informationen statisch eingeblendet. Bewegt der Kommissionierer seinen Kopf, bewegen sich alle eingeblendeten Inhalte mit. Durch die Microsoft HoloLens2 ist eine Augmented Reality möglich. Die Umgebung verschwimmt mehr und mehr mit den eingeblendeten Informationen. Folglich ist ein erweitertes Guiding möglich.

Während bei der Assisted Reality nur die Anzeige des nächsten Lagerplatzes möglich war, ist durch die Augmented Reality eine Anzeige des Weges durch Pfeile über Gassen hinweg zum nächsten Lagerplatz möglich. Somit wird insbesondere beim Gassenwechsel Zeit eingespart und die Kommissionierleistung erhöht. Die Investitionen sind durch diese Brille nicht gesunken, konnten jedoch durch eine einfachere Integration ins System auf demselben Niveau gehalten werden. Die Kommissionierqualität und das Multi-Order sind gegenüber der bisherigen Anwendung unverändert geblieben. Der entscheidende Vorteil der Anwendung mit der Microsoft HoloLens2 ist die Lagerkonfiguration. Es ist nicht mehr notwendig, ein Lagerlayout zu entwerfen. Der Anwender kann mit der Datenbrille durch sogenannte Ankerpunkte die Wege im Kommissionierlager selbst erstellen. Die verschiedenen Ankerpunkte ergeben ein 2D-Wegenetz, das in der Cloud gespeichert werden kann. Sollte sich an der Lagerkonfiguration etwas ändern, muss der Anwender lediglich ein neues Netz erstellen. Über dieses Wegenetz wird der Kommissionierer durch das Lager geleitet. Der einzige Eingriff in die Lagerinfrastruktur erfolgt ausschließlich durch die Anbringung von QR-Codes an den Lagerplätzen. Werden die QR-Codes gescannt, erstellt die Datenbrille automatisch ein 3D-Lagerlayout.

Durch die Optimierungen der Flexibilitätspotentiale haben sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, die bisherigen Funktionsumfänge der beiden Kommissioniertechnologien Pick-by-Light und Pick-by-Vision verbessert.

<b>Optimierung</b>	<b>Pick-by-Light</b>	<b>Pick-by-Vision</b>
<b>Investition</b>	gering	hoch
<b>Qualität</b>	hoch	hoch
<b>Zeit</b>	schnell	schnell
<b>Multi-Order</b>	ja	ja
<b>Guiding</b>	ja	optimiert
<b>Flexibilität</b>	hoch	hoch

Abbildung 5: Optimierte Pick-by-Light / Pick-by-Vision

In dieser Arbeit wurde ein integriertes Leitsystem mit Wegoptimierung für zwei Kommissioniertechnologien entwickelt. Die Evaluation der experimentellen Versuche zeigt, dass neben der robusten Anwendung die Intuition und Flexibilität der Kommissioniertechnologien durch die selbstständige Gestaltung des Anwenders wesentliche Vorteile bringt. Ebenfalls kann bestätigt werden, dass mehr Flexibilität im Kommissioniersystem einen positiven Einfluss auf die Kommissionierleistung hat. Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass in beiden Kommissioniertechnologien weiterer Entwicklungsbedarf besteht und besonders auf den Overload an Informationen geachtet werden muss.

#### 4 FAZIT UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen das Flexibilitätspotential bestehender manueller Kommissionierung auf. Die Kommissioniertechnologien Pick-by-Light und Pick-by-Vision lassen sich flexibler anpassen und gestalten. In weiteren Versuchen werden die beiden Kommissioniertechnologien optimiert. Pick-by-Scan und Pick-by-Voice wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet. Hier besteht ebenso Bedarf an Flexibilisierung, um die Technologien zugänglicher für KMU zu machen.

Durch die gestiegene Flexibilität werden die Abhängigkeiten zu Systemanbietern geringer und insbesondere KMU profitieren durch geringere Kosten, den leichteren Zugang und Einstieg zur halbautomatisierten Kommissionierung und eine gesteigerte Kommissionierleistung. Dem erhöhten Kunden- und Marktdruck kann Stand gehalten werden und die Wettbewerbsfähigkeit bleibt erhalten. Das Spannungsfeld der Kommissionierung lässt sich durch die gestiegene Flexibilität effizienter handhaben.

#### LITERATUR

- [AA18] Altarazi, Safwan A.; Ammouri, Maysa M.: *Concurrent manual-order-picking warehouse design: a simulation-based design of experiments approach*. In: International Journal of Production Research, 2018, 56 23, S. 7103-7121
- [BIE21] Bundesverband Paket & Expresslogistik BIEK: *KEP-Studie 2021: Über 4 Mrd. transportierte Sendungen – Paketdienste halten den Alltag am Laufen*. Pressemitteilung: <https://www.biek.de/presse/meldung/kep-studie-2021.html>
- [CGG+18] Calzavara, Martina; Glock, Christoph, H.; Grosse, Eric. H.; Sgarbossa, Fabio: *An integrated storage assignment method for manual order picking warehouses considering cost, workload and posture*. In: International Journal of Production Research, 2018, 57 8, S. 2392-2408
- [Fra18] Franzke, Torsten: *Der Mensch als Faktor in der manuellen Kommissionierung: Eine simulationsbasierte Analyse der Effizienz in Person-zur-Ware-Kommissioniersystemen*. Springer Gabler, Wiesbaden 2018
- [HDE21] HDE Handelsverband Deutschland: *Online Monitor 2021*. Berlin 2021
- [HSB11] Ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria: *Kommissionierung: Materi-*

alflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2011

- [Lol03] Lolling, Andreas: *Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten*. Dissertation, Dortmund 2003
- [Sch09] Scholl, Philipp: *Skalierbare Kommissioniersysteme: Entwicklung eines Instrumentariums zur Auswahl eines kostenoptimalen skalierbaren Kommissioniersystems unter Berücksichtigung prognostizierter Auslastungsschwankungen*. Dortmund 2009
- [Sti18] Stinson, Matthew: *Bewertung und Optimierung von Lernprozessen in der Person-zur-Ware-Kommissionierung unter Berücksichtigung von Lernkurven*. Dissertation, Stuttgart 2018
- [VDI94] Verein Deutscher Ingenieure: *Kommissioniersysteme: Grundlagen*. VDI 3590-1 Blatt 1, Beuth-Verlag, Berlin 1994
- [YL20] Yong, Chang; Lu, Yun: *An improved particle swarm optimization algorithm in selection of e-commerce distribution center*. In: Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 39 6, S. 8783-8793

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**Daniel Mezger M.Sc.**, Research Assistant at the Institute of Mechanical Handling and Logistics, University of Stuttgart. Daniel Mezger was born 1989 in Öhringen, Germany. Between 2011 and 2017 he studied Business Administration at the University of Stuttgart.

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz**, Director of the Institute of Mechanical Handling and Logistics (IFT), University of Stuttgart.

Address: Institute of Mechanical Handling and Logistics, University of Stuttgart, Holzgartenstraße 15B, 70174 Stuttgart, Germany.  
Phone: +49 (0)711 685 83771, Fax: +49 (0)711 685-83769, E-Mail: robert.schulz@ift.uni-stuttgart.de