

Neue Impulse für visuelle Kommissionierassistentensysteme aus der Mensch-Computer Interaktion

Ein Überblick über die Kommissionierassistentenz im Zeitalter von Industrie 4.0

Markus Funk¹, Lars Lischke² und Sven Mayer³

***Abstract.** Durch den Einzug von computergestützten Systemen in industrielle Produktionsprozesse (Industrie 4.0) werden mehr und mehr Anwendungen möglich, die Arbeitern während komplexen Aufgaben helfen können. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der manuellen Kommissionierung und stellt einen Überblick über computergestützte Assistentensysteme für diese Tätigkeit vor. Hierbei liegt der Fokus auf der Mensch-Computer Schnittstelle, welche im Zuge der Industrie 4.0 eine zunehmend größere Bedeutung erfährt. Zuerst wird ein Überblick über die Mensch-Computer Schnittstellen gegeben, die in Industrie und Forschung vorgeschlagen wurden. Danach werden projektionsbasierte Kommissionierassistentensysteme vorgestellt, die im Rahmen des Forschungsprojektes motionEAP entworfen wurden.*

Inhalt:

1.	Einleitung	2
2.	Designspace am Beispiel von Pick-by-Vision	3
2.1.	Stationäre Systeme	4
2.2.	Körpergebundene Systeme	5

¹ Dipl.-Inf. Markus Funk, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart; Email: markus.funk@vis.uni-stuttgart.de, Tel.: +49 711 685-60092.

² Dipl.-Inf. Lars Lischke, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart; Email: lars.lischke@uni-stuttgart.de, Tel.: +49 711 685-60054.

³ Dipl.-Inf. Sven Mayer, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart; Email: sven.mayer@uni-stuttgart.de, Tel.: +49 711 685-60055.

2.3.	Mobile Systeme	7
3.	Projektionsbasierte Assistenz am Kommissionierarbeitsplatz.....	8
4.	Zusammenfassung und Fazit	11

1. Einleitung

Mensch-Computer Schnittstellen sind heute in fast allen Lebensbereichen anzutreffen. Diese werden laufend weiterentwickelt, um eine effizientere Nutzung und ein besseres Nutzungserlebnis zu ermöglichen. So ist es wichtig, neue Interaktionskonzepte für mobile Geräte zu entwickeln⁴ und Werkzeuge zur Informationsverarbeitung zu verbessern.⁵ Darüber hinaus ermöglichen neue Sensoren verbesserte Interaktionstechniken.⁶ Auch im industriellen Umfeld werden Mensch-Computer Schnittstellen immer wichtiger.

Die manuelle Kommissionierung ist eine der komplexesten und fehleranfälligen Aufgaben, die in der Industrie zu finden sind. Zur Unterstützung der Arbeiter wurden viele Kommissionierassistenzsysteme vorgeschlagen. Um Lagerarbeitern die manuelle Kommissionierung zu erleichtern, werden in diesem Bereich immer mehr Assistenzsysteme eingesetzt. Ein Teil dieser Systeme verfolgt die Aufgabe, den Kommissionierer bei der Suche von Objekten zu unterstützen. Der Gestaltungsbereich solcher Assistenzsysteme kann bzgl. deren Einsatz in drei grobe Bereiche unterteilt werden: I) Systeme, die direkt im Warenlager befestigt sind; II) Systeme, die der Arbeiter z. B. in einem Wagen, mit sich führt; und III) Systeme, die vom Arbeiter an der Kleidung getragen werden.

Dieses Kapitel beschäftigt sich tiefgehend mit festen, mobilen und körpergebundenen Projektionssystemen zur Unterstützung der manuellen Kommissionierung (siehe Abbildung 1). Im Speziellen werden in den folgenden Unterabschnitten ein Projektorhelm und ein intelligenter Kommissionierwagen vorgestellt.

⁴ Vgl. Le, H.V. et al. (2016).

⁵ Vgl. Lischke, L. et al. (2015).

⁶ Vgl. Shirazi, A.S. et al. (2012).

2. Gestaltungsbereich am Beispiel von Pick-by-Vision

Menschen neigen dazu, Elemente zu organisieren und entsprechend der Aufgabe, die sie durchführen, anzuordnen.⁷ Eine wichtige Aufgabe in Industrie- und Handelsunternehmen ist die Kommissionierung, bei der Arbeiter eine genaue Anzahl von Teilen bspw. aus einem Regal in einem Lager entnehmen und in dafür vorgesehene Transportmittel legen müssen. Die Kommissionierung ist eine der häufigsten und kostenintensiven Tätigkeiten in der Intralogistik. Aufgrund der hohen Kostenwirkung der Kommissionierung und der Tatsache, dass die manuelle Ausführung geistig sehr anspruchsvoll ist sowie eine hohe Konzentration erfordert, wurden zur Unterstützung dieser Aufgabe verschiedene Lösungsansätze vorgeschlagen. Traditionell ist die Informationsbereitstellung in der Kommissionierung papiergebunden, d. h. Kommissionierer arbeiten dabei Schritt für Schritt eine Papierliste ab (dies wird auch als *Pick-by-Paper* bezeichnet). Die sog. Pickliste enthält den Namen, die Menge, den Ort und das Ziel von Gegenständen, die entnommen werden sollen. Mit *Pick-by-Vision* wurde in den vergangenen Jahren ein neuer Lösungsansatz zur Unterstützung von manuellen Kommissionieraufgaben vorgeschlagen.⁸ Alle *Pick-by-Vision* Ansätze eint die Verwendung von visuellen Hinweisen zur aktuellen Entnahmeposition. Um dies zu realisieren können beispielsweise Leuchten an Entnahmestellen angebracht werden. In diesem Kapitel werden wir uns auf Kommissionierassistenzsysteme fokussieren, die „Argumented Reality“ –Technologien aus der Visualisierung einsetzen. Bei „Argumented Reality“ wird die reale Szenerie mit digitalen Visualisierungen angereichert. Dies kann z. B. durch Projektion in die reale Umgebung realisiert werden (In-situ Projektion). *Pick-by-Vision* Ansätze können in drei große Kategorien eingeteilt werden: 1) stationäre, 2) mobile und 3) körpergebundene Systeme (siehe Abbildung 1).

⁷ Vgl. Kirsh, D. (1995).

⁸ Vgl. Rukzio, E. et al. (2012); Weaver, K.A. et al. (2010).

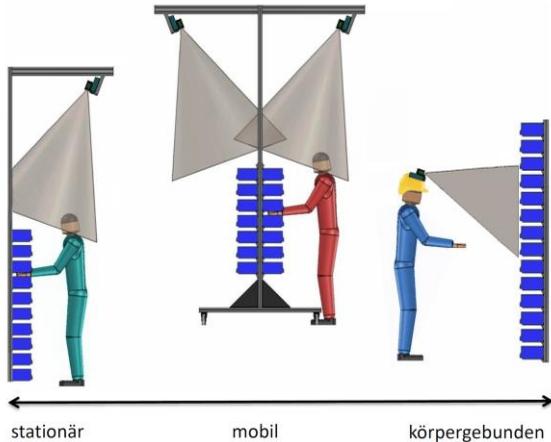


Abb. 1: Gestaltungsbereich von Kommissionier-Assistenzsystemen

2.1. Stationäre Systeme

Zur aktiven Unterstützung des Kommissioniervorgangs nutzen viele Systeme die aktuelle Position des Arbeiters und der zu entnehmenden Teile. Um die aktuelle Position des Arbeiters zu bestimmen und individuelle Informationen anzeigen zu können, nutzt ein Teil der Ansätze Kameras und Projektoren, die in der Umgebung fest verbaut werden. So existiert bspw. ein System, das den Kommissionierer bei der Suche nach Büchern in einem Regal unterstützt.⁹ Das System nutzt dabei eine fest im Raum montierte Kamera, die visuell gekennzeichnete Bücher erkennt. Um dem Kommissionierer das Finden eines Buches zu erleichtern, wird ein fest montierter Projektor genutzt, der die Position des entsprechenden Buches beleuchten kann.¹⁰ Dieser Ansatz wurde u. a. für den Einsatz in Warenlagern abgewandelt.¹¹ Um ausgewählte Objekte anhand ihrer Form und ihres visuellen Erscheinungsbildes zu erkennen, kann eine stationäre Tiefenkamera zusammen mit Computer-Vision-Algorithmen genutzt werden. Zur Verwendung des Systems muss der Arbeiter das Objekt explizit vor die Kamera stellen. Dies führt zu einem zusätzlichen Arbeitsschritt, der die Ausführungszeit erhöhen kann. Ein anderer Ansatz nutzt ebenfalls

⁹ Vgl. Butz, A. et al. (2004).

¹⁰ Diese Arbeit wurde von Crasto, D. et al. (2005) um einen Vordergrund-Erkennungsalgorithmus erweitert, um Änderungen in einem Bücherregal zu erfassen.

¹¹ Vgl. Li, X. et al. (2012).

eine Kamera-Projektor-Kombination, um zu erfassen, wann ein Arbeiter Teile aus einem Kleinteil-Ladungsträger während einer Montage entnommen hat.¹²

Eine kürzlich veröffentlichte Studie untersuchte zudem, wie vorteilhaft ein Kommissioniersystem mit In-situ-Projektionen für Arbeiter mit kognitiven Beeinträchtigungen sein könnte.¹³ Die Ergebnisse zeigen, dass 85,9 % der Befragten von einem interaktiven System profitieren würden. Ferner evaluierten die Autoren der Studie verschiedene Piktogrammvisualisierungen für Kommissionieraufgaben, die für kognitiv beeinträchtigte Arbeiter geeignet sind.¹⁴ In einer vergleichenden Wizard-of-Oz Studie¹⁵ wurden die vier Konzepte *Pick-by-Light*, *Pick-by-Projection*¹⁶, *Pick-by-Display*¹⁷ und *Pick-by-Paper* miteinander verglichen.¹⁸ Die Ergebnisse zeigen, dass *Pick-by-Light* die schnellste Kommissioniermethode war.

2.2. Körpergebundene Systeme

Im Gegensatz zu Ansätzen, die ortsfeste Sensoren, Kameras, Projektoren und Bildschirme zur Unterstützung des Arbeiters nutzen, gibt es auch eine Reihe von tragbaren Systemen. Hier ist im Besonderen die Nutzung von Datenbrillen zur Darstellung von Feedback zu nennen.¹⁹ So werden z. B. modifizierte Varianten des von Biocca et al.²⁰ vorgestellten Aufmerksamkeitskanals für die Kommissionierung genutzt.²¹ Dem Arbeiter wird auf einem HMD eine schlauchförmige Visualisierung angezeigt, dessen Ende sich an der Entnahmestelle im Lager befindet. Hierbei werden optische

¹² Vgl. Bannat, A. et al. (2008).

¹³ Vgl. Bächler, A. et al. (2015b).

¹⁴ Vgl. Bächler, A. et al. (2015a).

¹⁵ Bei diesem Experiment nimmt ein Proband an, mit einem autonomen System zu kommunizieren. Die Reaktionen des Systems erzeugt jedoch ein anderer Mensch im Verborgenen.

¹⁶ Hierbei handelt es sich um eine Spezialisierung von *Pick-by-Light*. Anstelle von festmontierten Leuchten, wird die Entnahmeposition durch dynamisch überprojezierte Information angezeigt.

¹⁷ *Pick-by-Display* erlaubt es den klassischen *Pick-by-Paper* Ansatz dynamisch zu erweitern und so den Arbeiter zu unterstützen.

¹⁸ Vgl. Bächler, A. et al. (2016).

¹⁹ Englisch: head-mounted display (HMD).

²⁰ Biocca, F. et al. (2006).

²¹ Vgl. Reif, R. et al. (2009); Schwerdtfeger, B. et al. (2009).

Erkennungsverfahren eingesetzt, um die Position und Orientierung des Arbeiters im Raum zu bestimmen und den Aufmerksamkeitskanal korrekt anzeigen zu können. In einer entsprechenden Studie wurde gezeigt, dass die Nutzung des Aufmerksamkeitskanals die Fehlerrate in der Kommissionierung signifikant verringern kann.²² Festgestellt wurde jedoch auch, dass das Gewicht des HMDs den Träger belastet und der Aufmerksamkeitskanal die visuelle Aufmerksamkeit beeinträchtigt. Zudem ist eine hoch präzise Raumorientierung des Systems nötig, da es sonst zu Fehlnavigation kommen kann. Des Weiteren können die auf dem HMD dargestellten Inhalte sicherheitsrelevante Informationen im Arbeitsumfeld verdecken, was ein Sicherheitsrisiko darstellen kann.²³ Diese Eigenschaften sorgen dafür, dass sich HMDs nur schwer für Entnahmesysteme im industriellen Umfeld nutzen lassen. Manche Autoren schlugen daher u. a. vor, eine exakte Lokalisierung des HMDs durch das Anzeigen der Entnahmeposition in einem 2D-Modell des Regals zu umgehen.²⁴

Die Kommissionierung ist bisher das einzige Anwendungsfeld, in dem Langzeituntersuchungen zu HMDs durchgeführt wurden. Bspw. testeten Schwerdtfeger et al. ihren Ansatz in einer Studie, in der jeder Proband das HMD zwei Stunden benutzte, um Erkenntnisse über die mögliche Nutzung von *Augmented Reality* (AR) zu erhalten.²⁵ Nach der zweistündigen Nutzung des HMDs klagten viele Probanden über Kopfschmerzen, Schwierigkeiten beim Fokussieren auf die im HMD angezeigten Anweisungen und gaben an, eine 15-minütige Pause zu benötigen. In einer weiteren Studie, in der jeder Proband ein HMD vier Stunden trug, wurden diese Ergebnisse bestätigt.²⁶ Im Gegensatz dazu konnte in einer dritten Studie kein Unterschied in der physischen Belastung zwischen dem Einsatz von HMDs und *Pick-by-Paper* festgestellt werden.²⁷

Neben HMDs existieren mehrere Systeme, die vom Kommissionierer getragene Projektoren für ortsbezogene und personalisierte Informationen nutzen. So wurde bspw. ein im Helm getragener Laser-Projektor vorge-

²² Vgl. Schwerdtfeger, B. et al. (2009).

²³ Vgl. Hua, H.; Gao, C. (2007).

²⁴ Vgl. Weaver, K.A. et al. (2010).

²⁵ Vgl. Schwerdtfeger, B. et al. (2009).

²⁶ Vgl. Grubert, J. et al. (2010).

²⁷ Vgl. Tumler, J. et al. (2008).

stellt, mit dem sich Anweisungen direkt in das Sichtfeld des Trägers projizieren lassen.²⁸ Mit ShelfTorchlight wurde ein vergleichbarer Ansatz entwickelt, um Gegenstände in einem Regal mit zusätzlicher Information zu dynamisch zu versehen.²⁹ Im Unterschied zum Ansatz von Schwerdtfeger et al. wird hier allerdings ein mobiler Projektor, der vom Kommissionierer in der Hand gehalten wird, verwendet. Um dem Kommissionierer die Möglichkeit zu geben, frei mit beiden Händen zu agieren, wurde ein auf dem Rücken getragenes Projektionssystem hergestellt.³⁰ Dieses System ermöglicht die Eingabe von Freihand-Gesten, um mit der in den Raum projizierten Information zu interagieren.

2.3. Mobile Systeme

Um zu vermeiden, dass Kommissionierer durch HMDs eingeschränkt werden, wird u. a. versucht, Feedbacksysteme an mitgeführten Wägen zu befestigen. Da bei der Kommissionierung ein erheblicher Zeitaufwand durch das Zurücklegen von Wegen zur nächsten Entnahmestelle entsteht, wurde der von Weaver et al. präsentierte Ansatz der 2D-Modelle in einer aktuellen Studie um eine intelligente Anzeige mehrerer zu entnehmender Teile erweitert.³¹ Dabei werden alle Entnahmen aus einem Regal gleichzeitig angezeigt. Dieser Ansatz wird in der Studie mit einem an einem Wagen montierten Display³², welches das 2D-Modell des Regals und die Entnahmeposition anzeigt, sowie mit klassischer Unterstützung durch Papierlisten, verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Darstellung auf dem HMD eine signifikant schnellere Entnahme erlaubt als *Pick-by-Paper*. Des Weiteren bietet die Unterstützung durch ein CMD einen Vorteil gegenüber *Pick-by-Paper* in Punkto Fehlerrate, Ausführungszeit und kognitive Belastung. In einer Anwendungsstudie über Montagetätigkeiten wurde jedoch auch gezeigt, dass HMDs gegenüber projektionsbasierten Lösungen Nachteile aufweisen.³³ Diese projektionsbasierten Lösungen werden im folgenden Unterabschnitt näher beschrieben.

²⁸ Vgl. Schwerdtfeger, B. et al. (2008).

²⁹ Vgl. Löchtefeld, M. et al. (2010).

³⁰ Vgl. Winkler, C. et al. (2014).

³¹ Vgl. Guo, A. et al. (2014).

³² Englisch: *cart-mounted display* (CMD).

³³ Vgl. Büttner, S. et al. (2016).

3. Projektionsbasierte Assistenz am Kommissionierarbeitsplatz

Wie in Abschnitt 2 dieses Kapitels aufgezeigt, wurde der aufgestellte Gestaltungsbereich bereits mit stationären (z. B. *Pick-by-Light*) und körpergebundenen Systemen (z. B. HMDs, *Pick-by-Voice*) untersucht. Mobile Systeme sind bisher jedoch selten. Darüber hinaus ist zu beobachten, dass die Mensch-Computer Schnittstelle bei der Kommissionierung mithilfe projektionsbasierter Systeme noch nicht vollständig untersucht wurde. Der Vorteil von projektionsbasierten Systemen liegt klar bei der Skalierbarkeit. Während traditionelle *Pick-by-Light* Systeme an jede mögliche Entnahmeposition verbaut werden müssen, können projektionsbasierte Systeme die Entnahmepositionen dynamisch beleuchten.

Im Folgenden soll das durch das BMWi-geförderte Forschungsprojekt motionEAP³⁴ vorgestellt werden.³⁵ Ziel des Projekts ist es, In-Situ Projektion in allen drei Ebenen des vorgestellten Gestaltungsbereich (stationär, mobil und körpergebunden) zu integrieren.

In der Kategorie körpergebundene Kommissionierassistenz wurde der Prototyp „HelmetPickAR“ entwickelt, da HMDs Probleme im Tragekomfort mit sich bringen und Probleme mit der Helligkeit des dargestellten Inhalts haben.³⁶ Dieser kombiniert einen Projektor und eine Microsoft Kinect integriert in einen Bauhelm auf dem Kopf des Arbeiters (vgl. Abb. 2, links). Der Arbeiter bekommt durch den Projektor Hinweise zur Entnahme von Artikeln direkt in das Sichtfeld projiziert. Die Microsoft Kinect ermöglicht es, manuelle Arbeitsschritte mit Hilfe der integrierten Tiefen- und RGB-Kamera automatisch zu erkennen. Die Position des Arbeiters wird durch ein optisches Trackingsystem in dem prototypischen Aufbau erfasst. Durch die Arbeitsschritterkennung und die Erkennung der Position des Arbeiters ist „HelmetPickAR“ in der Lage, kontext-sensitives Feedback passend zum durchgeführten Arbeitsschritt zu geben.

³⁴ Projekt motionEAP: <http://www.motionEAP.de>.

³⁵ Vgl. Funk, M. et al. (2016a).

³⁶ Vgl. Funk, M. et al. (2016b).



Abb. 2: In-Situ Projektion in der manuellen Kommissionierung³⁷

Der Prototyp des „HelmetPickAR“ ist aktuell noch mit einem Kabel mit einem stationären PC verbunden. In zukünftigen Versionen soll die verwendete Technologie komplett vom Kommissionierer getragen werden können, um den Aktionsradius des Systems zu vergrößern. Im Rahmen einer Studie wurden Kommissioniervorgänge mit „HelmetPickAR“ und einer traditionellen Papierliste miteinander verglichen.³⁸ Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass „HelmetPickAR“ bei komplizierten Lagerhäusern Vorteile gegenüber *Pick-by-Paper* hat. Ist die Aufgabe allerdings nicht kompliziert (z. B. bei nur drei Ablagepositionen), weist der traditionelle *Pick-by-Paper* Ansatz jedoch Zeitvorteile auf.

Da besonders im operativen Arbeitsumfeld die Akzeptanz von körpergebundener Technologie oftmals nicht gegeben ist, wurde im Rahmen des vorgestellten Projekts ein mobiles Assistenzsystem entworfen, das nicht am Körper getragen werden muss. Dieses mobile System mit dem Namen „OrderPickAR“ erweitert einen traditionellen Kommissionierwagen mit drei Kamera-Projektor Paaren (vgl. Abb. 3, rechts). Zwei dieser Kamera-Projektor Paare zeigen auf den Kommissionierwagen, während ein weiteres Kamera-Projektor Paar in das Lagerhaus zeigt. Der Projektor, der in Richtung Lagerhaus zeigt, projiziert dem Arbeiter Pfeile in Richtung des nächsten Faches, aus dem Gegenstände entnommen werden sollen. Der Arbeiter schiebt oder zieht den Kommissionierwagen dann in Richtung der Pfeile, bis das Fach im Sichtfeld des Kamera-Projektor Pairs ist. Sobald das Fach im Sichtfeld ist, werden das Fach mit einem grünen Licht angestrahlt und die Anzahl der zu entnehmenden Gegenstände angezeigt,

³⁷ Links ist der Prototyp „HelmetPickAR“ abgebildet, der körpergebundene projizierte Assistenz für die Kommissionierung liefert. Rechts wird der mobile „OrderPickAR“ Prototyp gezeigt, der mobile Projektoren auf einem Kommissionierwagen trägt; vgl. Funk, M. et al. (2016b); Funk, M. et al., (2015).

³⁸ Vgl. Funk, M. et al. (2016b).

so dass der Arbeiter das Fach und die Anzahl zu entnehmender Artikel direkt vor sich sieht.

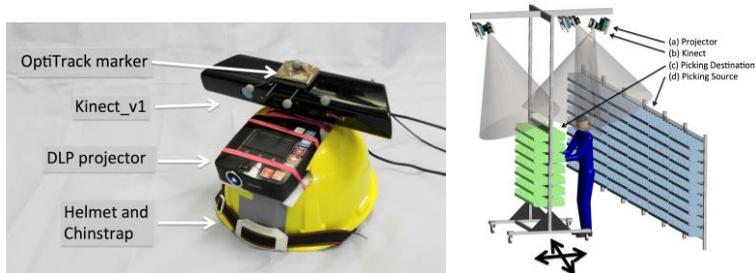


Abb. 3: „HelmetPickAR“ (links) und „OrderPickAR“ (rechts) mit den verbauten Komponenten

Beim „OrderPickAR“ wird ebenfalls die Microsoft Kinect dazu verwendet, die jeweiligen Arbeitsschritte zu erfassen. Dabei zeichnet der „OrderPickAR“ Prototyp genau auf, wann der Arbeiter welche Gegenstände aus dem Lagerhaus entnommen hat. Die zwei Kamera-Projektor Paare, die den Kommissionierwagen anleuchten, dienen zur Beleuchtung der Ablageposition für die entnommenen Gegenstände (siehe Abb. 2, rechts). Wiederum kann die Microsoft Kinect erkennen, wann der Arbeiter die Gegenstände im Wagen abgelegt hat, so dass der nächste Auftrag angezeigt werden kann. In einer Studie wurde das „OrderPickAR“ System mit *Pick-by-Paper*, *Pick-by-Voice*, und *Pick-by-Vision* Systemen verglichen. Die Resultate belegen das Potential des „OrderPickAR“ Systems, da hier sowohl die Kommissionierzeit als auch die -fehler signifikant geringer waren als bei den anderen untersuchten Kommissionierassistenzsystemen.³⁹ Ebenfalls im Rahmen des motionEAP Projektes haben Forscher der Hochschule Esslingen ein stationäres Kommissionierassistenzsystem entworfen.⁴⁰ In dieser Arbeit wurde ein Kamera-Projektor Paar stationär an einem Kommissionierregal verbaut. Da das Kamera-Projektor Paar fest mit dem Kommissionierregal verbunden ist, muss eine Wageneinheit entlang des Regals an die Entnahmeposition geschoben werden. Über eine Wegemesseinheit wird die Position der Wageneinheit festgestellt und dementsprechend Feedback über den fest installierten Projektor gegeben. Die Microsoft Kinect wird ebenfalls zur Entnahmeüberwachung benutzt. Zusätzlich ist in diesem stationären System eine Waage verbaut, die in

³⁹ Vgl. Funk, M. et al. (2015).

⁴⁰ Vgl. Bächler, A. et al. (2016).

einem Zwischenschritt die korrekte Anzahl der entnommenen Gegenstände über eine Gewichtsprüfung validiert.

4. Zusammenfassung und Fazit

Die manuelle Kommissionierung ist eine der zeitintensivsten und fehleranfälligen Aufgaben in der Industrie. Aufgrund der hohen Komplexität ist in nächster Zeit gerade für kleinere und mittlere Kommissioniersysteme nicht mit einer vollständigen Automatisierung der Kommissionierung zu rechnen. Deshalb ist es besonders wichtig, den Arbeiter während des Kommissioniervorgangs durch modernste Computertechnik zu unterstützen. Neben Forschungsfragen aus dem Bereich der Indoor-Lokalisierung ist die Entwicklung der Mensch-Computer Schnittstelle grundlegend für unterstützende Systeme in der Kommissionierung. Um zu verhindern, dass Arbeiter während der Kommissionierung auf weitere gesonderte Informationen, wie z. B. Papierlisten oder Bildschirme, achten müssen, wird der Einsatz von *Augmented Reality* empfohlen. Da bereits gezeigt wurde, dass HMDs hohe Störeinflüsse haben können, und die Gefahr besteht, dass sicherheitsrelevante Informationen verdeckt werden, eignen sich Systeme, die Informationen in das Lagerumfeld projizieren, bestens für den Einsatz in der Kommissionierung. Dabei zeichnen sich mobile und körpergetragene Systeme durch einen kostengünstigeren und flexibleren Einsatz als ortsgebundene Systeme aus.

Literatur

- Bächler, A.; Bächler, L.; Kurtz, P.; Kruell, G.; Heidenreich, T.; Hoerz, T. (2015a): A study about the comprehensibility of pictograms for order picking processes with disabled people and people with altered performance, in: Damiani, E. et al. (Hrsg.): Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, Cham et al., S. 69-80.
- Bächler, A.; Kurtz, P.; Hoerz, T.; Kruell, G.; Bächler, L.; Autenrieth, S. (2015b): About the development of an interactive assistance system for impaired employees in manual order picking, in: Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, S. 4.
- Bächler, A.; Bächler, L.; Autenrieth, S.; Kurtz, P.; Hoerz, T.; Heidenreich, T.; Kruell, G.A. (2016): A comparative study of an assistance system for manual order picking—called pick-by-projection—with the guiding systems pick-by-paper, pick-by-light and pick-by-display, in: 49th

- Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), S. 523-531.
- Bannat, A.; Gast, J.; Rigoll, G.; Wallhoff, F. (2008): Event analysis and interpretation of human activity for augmented reality-based assistant systems, in: 4th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, S. 1-8.
- Biocca, F.; Tang, A.; Owen, C.; Xiao, F. (2006): Attention funnel: omnidirectional 3d cursor for mobile augmented reality platforms, in: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems, S. 1115-1122.
- Büttner, S.; Funk, M.; Sand, O.; Röcker, C. (2016): Using head-mounted displays and in-situ projection for assistive systems – a comparison, in: Proceedings of the 9th ACM international conference on pervasive technologies related to assistive environments, S. 1-8.
- Butz, A.; Schneider, M.; Spassova, M. (2004): Searchlight - a lightweight search function for pervasive environments, in: Ferscha, A.; Mattern, F. (Hrsg.): Pervasive Computing, Berlin Heidelberg, S. 351-356.
- Crasto, D.; Kale, A.; Jaynes, C. (2005): The smart bookshelf: A study of camera projector scene augmentation of an everyday environment, in: Seventh IEEE Workshops on Application of Computer Vision, S. 218-225.
- Funk, M.; Shirazi, A.S.; Mayer, S.; Lischke, L.; Schmidt, A. (2015): Pick from here!: an interactive mobile cart using in-situ projection for order picking, in: Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, S. 601-609.
- Funk, M.; Kosch, T.; Kettner, R.; Korn, O.; Schmidt, A. (2016a): MotionEAP: An Overview of 4 Years of Combining Industrial Assembly with Augmented Reality for Industry 4.0, in: Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business.
- Funk, M.; Mayer, S.; Nistor, M.; Schmidt, A. (2016b): Mobile In-Situ Pick-by-Vision: Order Picking Support using a Projector Helmet, in: Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments.
- Grubert, J.; Hamacher, D.; Mecke, R.; Böckelmann, I.; Schega, L.; Huckauf, A.; Urbina, M.; Schenk, M.; Doil, F.; Tumler, J. (2010): Extended investigations of user-related issues in mobile industrial ar, in: 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), S. 229-230.

- Guo, A.; Raghu, S.; Xie, X.; Ismail, S.; Luo, X.; Simoneau, J.; Gilliland, S.; Baumann, H.; Southern, C.; Starner, T.A. (2014): Comparison of order picking assisted by head-up display (hud), cart-mounted display (cmd), light, and paper pick list, in: Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers, S. 71-78.
- Hua, H.; Gao, C. (2007): Design of a bright polarized head-mounted projection display, in: Applied Optics, 46, Nr. 14, S. 2600-2610.
- Kirsh, D. (1995): The intelligent use of space, in: Artificial Intelligence, 73, Nr. 1-2, S. 31-68.
- Le, H.V.; Mayer, S.; Wolf, K.; Henze, N. (2016): Finger Placement and Hand Grasp during Smartphone Interaction, in: Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, S. 2576-2584.
- Li, X.; Chen, I.Y.-H.; Thomas, S.; MacDonald, B.A. (2012): Using kinect for monitoring warehouse order picking operations, in: Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation, S. 15-22.
- Lischke, L.; Mayer, S.; Wolf, K.; Shirazi, A.; Henze, N. (2015): Subjective and Objective Effects of Tablet's Pixel Density, in: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 2769-2772.
- Löchtefeld, M.; Gehring, S.; Schöning, J.; Krüger, A. (2010): Shelftorchlight: Augmenting a shelf using a camera projector unit, in: Adjunct Proceedings of the Eighth International Conference on Pervasive Computing, S.1-4.
- Reif, R.; Günthner, W.A.; Schwerdtfeger, B.; Klinker, G. (2009): Pick-by-vision comes on age: evaluation of an augmented reality supported picking system in a real storage environment, in: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, S. 23-31.
- Rukzio, E.; Holleis, P.; Gellersen, H. (2012): Personal projectors for pervasive computing, in: IEEE Pervasive Computing 11, Nr. 2, S. 30-37.
- Schwerdtfeger, B.; Pustka, D.; Hofhauser, A.; Klinker, G. (2008): Using laser projectors for augmented reality, in: Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology, S. 134-137.
- Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Günthner, W.A.; Klinker, G.; Hamacher, D.; Schega, L.; Bockelmann, I.; Doil, F.; Tumler, J. (2009): Pick-by-vision: A first stress test, in: 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, S. 115-124.

- Shirazi, A.S.; Funk, M.; Pfeleiderer, F.; Glück, H.; Schmidt, A. (2012): MediaBrain: Annotating Videos based on Brain-Computer Interaction, in: Mensch & Computer, S. 263-272.
- Tumler, J.; Doil, F.; Mecke, R.; Paul, G.; Schenk, M.; Pfister, E.A.; Huckauf, A.; Bockelmann, I.; Roggentin, A. (2008): Mobile augmented reality in industrial applications: Approaches for solution of user-related issues, in: Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, S. 87-90.
- Weaver, K.A.; Baumann, H.; Starner, T.; Iben, H.; Lawo, M. (2010): An empirical task analysis of warehouse order picking using head-mounted displays, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 1695-1704.
- Winkler, C.; Seifert, J.; Dobbstein, D.; Rukzio, E. (2014): Pervasive information through constant personal projection: the ambient mobile pervasive display (amp-d), in: Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems, S. 4117-4126.