

Untersuchung des Einsatzes von Augmented Reality im Verpackungsprozess unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen an die Informationsdarstellung sowie die ergonomische Einbindung des Menschen in den Prozess

Analysis of the application of Augmented Reality in the packaging process considering specific requirements on the visualization of information as well as the ergonomic integration of humans into the process

*Benedikt Mättig
Isabel Lorimer
Thomas Kirks
Jana Jost*

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Durch den stetig wachsenden Automatisierungsgrad in der Produktion und Logistik steigen die Anforderungen an die Integration des Menschen in die Arbeitsprozesse. Steigendes Informationsaufkommen und erhöhte Dynamik erfordern, dass der Mitarbeiter flexibel mit den umgebenden Systemen interagieren kann. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, müssen neue Konzepte für die Mensch-Computer-Interaktion geschaffen werden, die auf moderne und intuitive Methoden der Informationsbereitstellung zurückgreifen. Im Zuge dieser Fragestellung hat das Fraunhofer IML eine Studie durchgeführt, die untersucht, wie der Verpackungsprozess durch den Einsatz von Augmented Reality über Datenbrillen verbessert werden kann.

[Schlüsselwörter: Visualisierung, Datenbrillen, Verpackung, Augmented Reality]

Due to the increasing degree of automation in the field of production and logistics the demand to integrate humans into the work process is continuously growing. High volume of information and greater dynamics require a flexible interaction of the employee with systems in his surrounding environment. To fulfill this requirement new concepts for the human-machine-interaction have to be created. These concepts have to be guided by modern and intuitive methods for visualization of information. Concerning this issue the Fraunhofer IML has conducted a study to investigate how the packaging process can be improved by applying Augmented Reality using smart glasses.

[Keywords: Visualization, smart glasses, packaging, Augmented Reality]

1 EINLEITUNG

Der Trendbegriff Industrie 4.0 wird seit einiger Zeit nicht mehr nur in der Forschung und Entwicklung thematisiert, sondern findet bereits Einzug in die industrielle Praxis. Verschiedenste Vorteile hinsichtlich steigender Effizienz werden durch die Kommunikation von Menschen, Maschinen und Produkten prognostiziert. Die Vernetzung von Maschinen ist aufgrund voranschreitender Entwicklungen von Informations- und Kommunikationstechnik im Bereich der Produktion bereits in der Anwendung. Die konsequente Integration des Menschen hingegen ist derzeit noch Thema der Forschung und Entwicklung (vgl. [HIN15]). Die bedarfsgerechte Informationsbereitstellung ist dabei ein Schlüsselfaktor. Diese Erkenntnis geht aus dem Forschungsprojekt SmARPro (Smart Assistance for Humans in Production Systems) des Fraunhofer IML hervor. Ein Konsortium aus Industrie- und Forschungspartnern setzt sich in dem Forschungsprojekt mit der Herausforderung der Mensch-Maschine-Interaktion auseinander. Feststellungen daraus zeigen, dass nur durch die Darstellung situationsrelevanter Daten in Echtzeit der Mensch im Prozess optimal unterstützt werden und somit die Vernetzung gelingen kann. Verschiedene Technologien bieten eine geeignete Basis, um den Informationsaustausch zwischen Menschen und Maschinen zu ermöglichen. So stellt beispielsweise Augmented Reality (AR) eine vielversprechende Möglichkeit dar, um Daten situationsabhängig zu visualisieren.

Bereits Mitte der 90er Jahre wurden die ersten Entwicklungen im Bereich der Augmented Reality bekannt (vgl. [Azu97]). Im Wesentlichen zeichnet sich diese Technologie durch zwei Charakteristika aus: Verschmelzung der realen und virtuellen Welt und eine interaktive

Übertragung von Informationen in Echtzeit. Somit wird die natürliche Wahrnehmung des Benutzers mit computergenerierten Informationen erweitert. Im Laufe der Entwicklung von AR wurden durch diese Vernetzung von Mensch und Technik signifikante Potenziale in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen identifiziert. So findet das Thema auch in der Industrie und Logistik immer mehr Beachtung. Vor allem im Bereich der Logistik wird hinsichtlich der Optimierung von Prozessen großes Potenzial gesehen, da die Abstimmung von Informations- und Materialfluss ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die effiziente Abwicklung logistischer Prozesse ist ([HH11], S. 136). Doch der messbare Nutzen von AR in intralogistischen Prozessen ist noch nicht genau erforscht. Erste Pilotprojekte im Bereich der Logistik haben vor allem die Tauglichkeit von AR in der Kommissionierung untersucht. Das Fraunhofer IML sieht neben der Kommissionierung den Bereich der Verpackung aufgrund verschiedener Optimierungspotenziale als potenzielles Einsatzfeld für AR. Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer IML eine Studie zur Untersuchung des Verpackungsprozesses in Bezug auf die Prozessoptimierung durch die Unterstützung von AR-Technologie durchgeführt.

2 ANWENDUNGEN MIT AR IN DER LOGISTIK

Viele Unternehmen haben den Trend zu Digitalisierung und Vernetzung im Kontext von Industrie 4.0 erkannt. Aus diesem Grund wurden verschiedene Pilotprojekte ins Leben gerufen, die den Herausforderungen intelligenter Produktions- und Logistiksysteme entgegenzutreten sollen. So existiert eine Reihe an Studien, welche die Integration des Menschen in den Fokus stellen. Das Pilotprojekt MARTA (Mobile Augmented Reality Technical Assistance) von VW hat beispielsweise die Informationsbereitstellung mittels AR-Technologie bei der Reparatur von Fahrzeugen untersucht. Neben dem Einsatz von Tablets sind seit November 2015 auch Datenbrillen im Einsatz, die in der Kommissionierung eine Erhöhung der Prozesssicherheit erzielen sollen (vgl. [Bra15]).

Auch der Paketlieferant DHL hat AR im Lagerbetrieb getestet. Bei diesem Test wurden Lagerfachkräfte mit Datenbrillen ausgestattet, um AR-unterstützt zu kommissionieren. Die Datenbrillen blendeten schrittweise Arbeitsanweisungen ein, die Informationen zu der Anzahl und dem zu entnehmenden Artikel sowie den Lagerort beinhalteten. Dadurch konnte, laut DHL, der Kommissionierungsprozess beschleunigt und die Anzahl auftretender Fehler reduziert werden. Innerhalb des Anwendungsfalles von DHL konnte eine 25-prozentige Effizienzsteigerung in der Kommissionierung erzielt werden (vgl. [DHL15]).

Der bayerische Forschungsverbund (ForLog) hat die „Studie zur menschintegrierten Simulation und Prozessunterstützung im logistischen Umfeld unter Verwendung der Virtual und Augmented Reality Technologie“ initiiert. Ziel der Studie ist, in enger Kooperation mit Industrie-

partnern, Demonstratoren und Konzepte für die taktische, operative und strategische Logistik der Zukunft zu entwickeln.

Im Rahmen der Studie wurde die Kommissionierung unter Einsatz einer Pickliste, Pick-by-Voice (PbV) und Augmented Reality über Datenbrillen untersucht. Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse der unterschiedlichen Arbeitssysteme konnten verschiedene Erkenntnisse ermittelt werden. So ergab sich im Vergleich zur Pickliste bei der AR-Kommissionierung eine leicht erhöhte Fehlerrate, die jedoch noch unterhalb der Fehlerrate bei PbV lag. Folglich wurde festgestellt, dass visuell unterstützte Verfahren im Allgemeinen zu besseren Ergebnissen führen. Die Neuartigkeit der AR-Technologie hatte sowohl positive als auch negative Effekte auf den Kommissionierprozess. So musste der Umgang mit der neuen Technologie erst erlernt werden, doch zugleich führte er zu einer hohen Motivation bei den Anwendern. Die Versuchsteilnehmer waren gegenüber der neuen Technologie aufgeschlossen, weshalb die Motivation, im Vergleich zu PbV und dem Einsatz einer Pickliste, als sehr hoch bewertet wurde. Zudem war die kognitive Belastung bei der AR-Kommissionierung am geringsten. Die kognitive Belastung bei Pick-by-Voice fiel sehr schlecht aus, aufgrund von Schwierigkeiten bei der Spracherkennung. Die AR-Technologie wurde somit als sehr benutzerfreundlich eingeschätzt (vgl. [GR09]).

3 VERPACKUNG ALS POTENTIELLES EINSATZFELD VON AR

Insgesamt ist die Anzahl der Pilotprojekte und Studien zum Einsatz von AR in der Logistik überschaubar und konzentriert sich auf den Bereich der Kommissionierung. Doch auch die Verpackung bietet sich als Anwendungsfeld für AR an, um eine Effizienzsteigerung im manuellen Verpackungsprozess zu erzielen, der diverse Optimierungspotenziale aufweist.

3.1 OPTIMIERUNGSPOTENZIALE DER VERPACKUNG

Als Bindeglied in einem Warenverteilzentrum zwischen Kommissionierung und Warenausgang gewinnt der Verpackungsprozess immer mehr an Bedeutung. Ein wesentlicher Treiber für das stärker werdende Bewusstsein bezüglich verbesserter Verpackungsprozesse ist der wachsende Online-Handel. Aufgrund des zunehmenden E-Commerce Sektors muss sich nicht nur die Transportlogistik auf neue Aufgaben, wie Same-Day-Delivery, einstellen. Auch die Verpackung muss neue Herausforderungen der steigenden Dynamik bewältigen. Neue Kundenwünsche fordern nicht nur schnellere Prozesszeiten, sondern auch eine optimale Verpackung. Entsprechend dieser erweiterten Anforderungen an die Verpackung steigt die Vielfalt an Packmitteln sowie -hilfsmitteln und Polstermaterialien. Ein großes Verpackungsspektrum führt durch die zunehmenden Kombinations-

möglichkeiten, die der Arbeiter bei der Verpackung der Ware berücksichtigen muss zu einer steigenden Komplexität im Verpackungsprozess (vgl. [Str14a]). Vor allem der geringe Volumennutzungsgrad stellt eine Problematik in der Praxis dar (vgl. [Thi16]). Aufgrund des schlechten Verhältnisses von Produktvolumen und Verpackungsvolumen wird eine große Menge Luft transportiert und gelagert. Diese Verschwendung erstreckt sich über alle Stufen der Verpackung, von der Produktverpackung bis zur Ladung (vgl. [Lan10a]). Insbesondere beim Verpacken der kommissionierten Ware in die Transportverpackung existiert Optimierungspotenzial, da dieser Prozessschritt manuell durch einen Mitarbeiter erfolgt. Aufgrund der Auswirkungen über die gesamte Supply Chain hat der Volumennutzungsgrad unmittelbaren Einfluss auf die logistischen Kosten. Außerdem sind direkte Kostenersparnisse hinsichtlich der Pack- und Polstermaterialien möglich (vgl. [Lan10a]). Die manuelle Ausführung des Verpackungsprozesses verursacht weitere Optimierungspotenziale in Bezug auf Zeit- und Qualitätsaspekte. Abhängig von der Erfahrung des Verpackers variiert die Dauer des Verpackungsprozesses und die Qualität der Verpackung. Es fehlen spezifische Angaben und Informationen, um eine einheitliche Verpackung zu gewährleisten.

3.2 GRÜNDE FÜR DEN EINSATZ VON AR IN DER VERPACKUNG

Aus den identifizierten Optimierungspotenzialen ergeben sich im Wesentlichen drei Gründe für den Einsatz von AR in der Verpackung: Zeitdruck, Qualitätsdruck und Kostendruck. Diese Faktoren sind als allgemeine Herausforderungen der Logistik bekannt und finden sich auf der Prozessebene der Verpackung wieder. Diese Faktoren stehen in einem Spannungsfeld, da sie voneinander abhängig sind bzw. sich gegenseitig beeinflussen. Unter Zeitdruck entstehen Fehler, welche die Qualität mindern. Eine Optimierung der Qualität hingegen bringt in der Regel eine Kostensteigerung mit sich. Auch eine Erhöhung der Prozesszeit führt zu steigenden Kosten. Somit stehen Kosten, Zeit und Qualität in gegenseitiger Wechselwirkung. Ziel ist es, eine Lösung zu finden, die trotz dieses Spannungsfeldes ein optimales Ergebnis hervorbringt.

Zeitdruck

Aufgrund der immer kürzer werdenden Lieferzeiten stehen Verpacker unter großem Zeitdruck. Folglich bleibt dem Verpacker keine Zeit, verschiedene Verpackungsvarianten auszuprobieren, um das bestmögliche Packschema zu ermitteln. Durch eine bildliche Darstellung und eine echtzeitnahe Vorgabe der Positionierung der Artikel in einem Karton kann die bestmögliche Verpackungsvariante gewährleistet werden, während die Prozesszeit reduziert wird.

Qualitätsdruck

Die Verpackung ist heute ein Imageträger für Unternehmen. Dementsprechend ist eine qualitativ hochwertige Verpackung von großer Bedeutung. Jedoch hängt die Art und Qualität der Verpackung von der Erfahrung des Verpackers ab. Somit ist keine einheitliche Qualität gewährleistet. Durch die Anzeige des passenden Pack- und Polstermaterials im Blickfeld des Verpackers, kann eine konstante und die bestmögliche Qualität der Verpackung ermöglicht werden. Durch eine optimale Verpackung kann zudem die Außendarstellung des Unternehmens beim Kunden positiv beeinflusst werden. Zudem können eventuelle Transportschäden vermieden werden.

Kostendruck

Häufig werden große Kartons für kleine Objektvolumina gewählt und entsprechend zu viel Polstermaterial verwendet. Dies wird vor allem durch den Zeitdruck bedingt. Folglich ist der Volumennutzungsgrad nicht ausgeschöpft, da sich Luft in der Verpackung befindet. Somit wird die Verpackung zum Kostentreiber von direkten und indirekten Verpackungskosten. Durch die korrekte Auswahl der Größe des Kartons und der Menge der Polstermaterialien lassen sich direkte Kosten der Verpackungsmaterialien einsparen. Da die Wahl der Verpackung Einfluss auf die logistischen Prozesse in der gesamten Supply Chain hat, führt eine Erhöhung des Volumennutzungsgrades zu einer Reduzierung der indirekten Verpackungskosten.

Um eine Effizienzsteigerung in der Verpackung zu erreichen, muss das Spannungsfeld von Zeit, Qualität und Kosten in Einklang gebracht werden. Dies wird möglich durch eine visuelle Unterstützung des Verpackers. Die AR-Technologie stellt dafür eine geeignete technische Lösung dar.

4 AUGMENTED REALITY ALS TECHNISCHE LÖSUNG FÜR DIE INFORMATIONSBEREITSTELLUNG

Die Informationsbereitstellung bzw. Visualisierung beschäftigt sich mit der Übermittlung von Informationen zwischen Mensch und Maschine und bildet einen elementaren Bestandteil der Integration des Menschen in industrielle Prozesse [Gra05]. Bei der Informationsdarstellung sollten die grundsätzlichen Eigenschaften der menschlichen Informationsverarbeitung berücksichtigt werden [SSG08]. Zudem ist eine Berücksichtigung bestehender Normen der Mensch-Computer-Interaktion erforderlich. Hier sei die EN ISO 9241 erwähnt, die in detaillierter Form Richtlinien für die Gestaltung von Mensch-Computer-Schnittstellen vorgibt.

4.1 MENSCHLICHE WAHRNEHMUNG VON INFORMATIONEN

Bei der Bereitstellung von Informationen für den Menschen wird zwischen der einfachen Informationsanzeige und der Visualisierung unterschieden. Die Visualisierung grenzt sich dadurch von der Informationsanzeige ab, dass sie Informationen für den Benutzer so aufbereitet, dass sie leicht verständlich und erkennbar sind. Durch dieses Vorgehen wird die Möglichkeit geschaffen, die Kognition zu entlasten, indem eine Verlagerung von kognitiven hin zu Wahrnehmungsprozessen erfolgt. Dies kann z.B. durch den Einsatz von Bildelementen erfolgen, die anstelle der häufig eingesetzten textuellen Arbeitsanweisungen die Erkennung von Informationen erleichtern und beschleunigen [CMS99].

Bei der menschlichen Wahrnehmung bzw. Verarbeitung von Informationen lassen sich zwei grundsätzliche Merkmale herausstellen. Auf der einen Seite basiert der Prozess der Informationsverarbeitung im Gehirn des Menschen auf Gewohnheiten und angelernten Strukturen [Roc85]. So definieren die als Gestaltungsgesetzte bezeichneten Regeln, wie Bedeutungszusammenhänge aus der Kombination von Formgebung und farblichen Charakteristika auf Basis von Erfahrungswerten generiert werden [Wer23]. Auf der anderen Seite lässt sich das Gesetz der Nähe nennen, durch das in der menschlichen Wahrnehmung räumlich benachbarte Objekte als Gruppe oder zusammengehörig interpretiert werden [Hei12].

4.2 VISUALISIERUNG VON INFORMATIONEN ÜBER AUGMENTED REALITY

Unter Berücksichtigung der Rahmenparameter der menschlichen Wahrnehmung, stellt Augmented Reality ein Werkzeug dar, das für die Visualisierung von Informationen geeignet erscheint. Der Begriff Augmented Reality beschreibt eine visuelle Erweiterung der Realität und ermöglicht so, gewohnte visuelle Muster durch virtuelle Informationen zu erweitern, ohne dass sich der Mensch an neue und womöglich unbekannte Strukturen einer Informationsdarstellung anpassen muss. Die intuitive Visualisierung wird erreicht durch eine Anreicherung der realen Umwelt des Menschen durch kontextabhängige computergenerierte Informationen (vgl. [GBR+09], S.7). Es besteht eine Echtzeit-Interaktion zwischen dem Anwender und der Informationsbereitstellung (vgl. [Itw15]).

Die virtuellen Informationen in einem AR-System werden in der sogenannten virtuellen Objektweite vor dem realen Objekt angezeigt, während sich die realen Objekte in einem bestimmten Abstand vor dem Auge des Benutzers befinden. Indem die virtuellen und realen Objekte gleichzeitig vom Betrachter wahrgenommen werden, entsteht eine Überlagerung der Objekte. Diese passen sich in Abhängigkeit der Position und der Blickrichtung des Anwenders perspektivisch an (vgl. [GR12], S.8–9). Durch diese Art der Darstellung wird das Gesetz der Nähe in der

menschlichen Wahrnehmung erfüllt. So wird intuitiv die dargestellte Information dem zugehörigen Objekt zugeordnet.

Für die Visualisierung der Informationen über AR kommen Smart Devices oder Wearables zum Einsatz. Eine klare Abgrenzung der Begriffe ist wissenschaftlich nicht gegeben, da bisher keine einheitliche Definition existiert. Das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML) definiert Smart Devices als „...elektronische Geräte, die kabellos, mobil, vernetzt und mit verschiedenen Sensoren (z.B. Temperatur-, Geosensoren oder Kameras) ausgerüstet sind“ [Cip16]. Daraus geht hervor, dass es sich bei Smart Devices um elektronische Objekte handelt, die mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet sind und mit ihrer Umwelt kommunizieren können. Darunter fallen beispielsweise Tablets oder Smartphones. Den Begriff Wearables definiert Bendel (vgl. [Ben16]) als elektronische Komponenten, die am Körper oder am Kopf getragen werden. Darunter fallen beispielsweise Datenbrillen oder Smart Watches. AR-Funktionen können sowohl durch Smart Devices als auch durch Wearables erfüllt werden. Daher werden diese Geräte unter dem Oberbegriff AR-Devices zusammengefasst.

Für die Verwendung von AR existieren am Markt sowie in der Forschung eine Reihe möglicher Geräte. Auf der einen Seite lassen sich Handhelds nennen, die durch Tablets oder Smartphones repräsentiert werden. Über eine integrierte Kamera, Sensorik sowie eine leistungsstarke CPU sind diese Geräte in der Lage AR über das integrierte Display darzustellen. Darüber hinaus existieren am Markt sowohl kostengünstige als auch industrietaugliche Handheld-Lösungen. Das zweite große Feld der AR-Devices wird durch Datenbrillen repräsentiert. Datenbrillen existieren in zwei unterschiedlichen Varianten. Auf der einen Seite existieren monokulare Brillen, die über ein einseitig angebrachtes Zusatzdisplay Informationen im Sichtfeld des Benutzers anzeigen. Eine echte Überlagerung der Realität mit virtuellen Informationen bietet sich bei diesen Geräten nicht an. Auf der anderen Seite existieren binokulare Brillen, die über zwei halbtransparente Displays verfügen, die unmittelbar vor dem Auge platziert sind. Diese Geräte sind für AR derzeit am besten geeignet und ermöglichen die Informationsaufnahme ohne einen Fokuswechsel der Augen. Ein weiteres Gerät, das vor allem in der zukünftigen Betrachtung des Einsatzes von AR berücksichtigt werden sollte, wird durch die Smart Lens repräsentiert. Über eingebrachte LEDs werden bei dieser Lösung Informationen unmittelbar auf eine Linse projiziert, die der Benutzer im Auge trägt.

5 DURCHFÜHRUNG DER STUDIE

Basierend auf der Fragestellung, ob AR in der Verpackung nutzenbringend ist, und den identifizierten Gründen für den Einsatz von AR, wurde folgende Hypothese auf-

gestellt: Die Verpackung kann mittels AR-Technologie hinsichtlich Qualität, Zeit und Kosten optimiert werden. Diese Hypothese wurde durch einen Hypothesentest in Form eines Experiments untersucht. Das Experiment wurde als Laborstudie, also in einer konstruierten Umgebung, durchgeführt. Vorteil dieser Art des Experiments ist die Möglichkeit Störfaktoren, die die Messwerte der drei Prozessvariablen manipulieren könnten, kontrollieren und steuern zu können. Dieser Aspekt ist bei der späteren Interpretation der Ergebnisse zu beachten, da die Situationsrepräsentativität einer Laborstudie nur teilweise gegeben ist.

5.1 EXPERIMENTELLER AUFBAU

Der Aufbau des Experiments orientierte sich an dem Prozessablauf der Verpackung in einem Warenverteilzentrum, von der Bereitstellung der kommissionierten Ware über die Wahl eines geeigneten Kartons und Platzierung der Artikel darin bis hin zur Fertigstellung des Packstücks mittels Polstermaterialien. Die experimentelle Untersuchung wurde in zwei Gruppen mit je zehn Probanden unterteilt. Die Kontrollgruppe führte das Experiment ohne den Einsatz von AR aus, sodass die Messwerte dieser Gruppe als Vergleichsbasis dienten. Die Experimentalgruppe hingegen führte denselben Verpackungsprozess durch, jedoch mithilfe von AR-Technologie. In dem Experiment mit AR wurde die binokulare Datenbrille „Meta 1“ eingesetzt. Durch die Nutzung einer Datenbrille wird der Proband in seiner Tätigkeit nicht beeinträchtigt, da beide Hände unbehindert zum Verpacken zur Verfügung stehen. Bei dem gewählten Datenbrillenmodell handelt es sich um eine Entwicklerbrille. Folglich ist der Tragekomfort der Brille nicht optimal und somit nicht für den Einsatz in der Praxis geeignet. Dennoch eignet sich die Brille für die Durchführung des Experiments und bietet volle AR-Funktionalität.

Potentielle Störfaktoren, welche die Brille und den Ablauf und somit die Messwerte manipulieren könnten wurden im Voraus identifiziert:

- Beleuchtung (schwankende Lichtverhältnisse können die Funktionsfähigkeit der Datenbrille beeinträchtigen)
- Größe der Probanden (variierende Blickwinkel beeinflussen den reibungslosen Betrieb der Datenbrille)
- Brillenträger (Probanden mit Brille haben Schwierigkeiten beim Tragen der Datenbrille)

Diese Störfaktoren wurden durch verschiedene Methoden kontrolliert und reduziert. So wurde eine konstant helle Beleuchtung im Raum während der Durchführung sichergestellt und Sonneneinstrahlung vermieden. Da die Größe der Probanden nicht beeinflussbar ist, wurde auf eine möglichst zufällige Verteilung der Versuchspersonen geachtet, sodass verschiedene Körpergrößen bei dem Ex-

periment einbezogen wurden. Brillenträger hingegen, wurden bei dem Experiment nicht berücksichtigt. Zulässig waren nur Probanden mit Kontaktlinsen als Sehhilfe.

Ausgangslage für beide Versuchsgruppen waren zehn Artikel unterschiedlicher Form, die in einem Karton aus Wellpappe zu verpacken waren. Dazu standen dem Probanden drei Kartons unterschiedlicher Größe zur Verfügung. Zu Beginn des Experiments standen die zehn Artikel, die drei Kartons und Luftpolsterfolie auf dem Verpackungstisch bereit. Bevor die Zeitaufnahme bei Auswahl eines Kartons gestartet wurde, wurden jedem Probanden die wesentlichen Eckpunkte, die beim Verpacken zu beachten waren, mündlich mitgeteilt:

- Platzierung aller bereitgestellten Artikel in einem einzigen Karton
- Scannen des zu platzierenden Artikels
- Volumenoptimale Verpackung (so wenig Luft wie möglich im Karton)
- Kein Überstand (Karton muss bündig abschließen)
- Auffüllen von Leerraum mit Luftpolsterfolie

Die vorbereitende Selektion der Artikel und der Kartons zielte auf ein möglichst komplexes Verpackungsschema ab, sodass die Platzierung der Artikel und die Auswahl des richtigen, also volumenoptimalen, Kartons nicht offensichtlich waren.

Aufgrund eines zu erwartenden Lerneffekts nach dem sich der Proband an die neue Technologie gewöhnt hat wurde eine Vorher-Nachher-Messung als sinnvoll erachtet. Dementsprechend wurde das Experiment zwei Mal pro Versuchsgruppe durchgeführt mit einer Zeitspanne von einer Woche zwischen den beiden Versuchen. Beim ersten Durchlauf wurde das Ausgangsniveau festgelegt. Dabei kannten die Probanden den Verpackungsprozess im Voraus nicht. Der Begriff „Lerneffekt“ ist in diesem Zusammenhang als „Erfahrung“ zu verstehen. Die Erfahrung, die nach der ersten Durchführung des Experiments erlangt wurde, beeinflusste die Ergebnisse des zweiten Durchlaufs. Bei der anschließenden Datenauswertung wurden nicht nur die Ergebnisse zwischen der Kontroll- und Experimentalgruppe analysiert, sondern auch die Ergebnisse der Vorher-Nachher-Messungen. Die Datenerhebung in diesem Experiment erfolgte durch Beobachtung. Diese Methodik eignet sich zum einen zur Erhebung von Primärdaten und zum anderen konnte auf diese Weise das Verhalten der Probanden bei der Ausführung des Verpackungsprozesses bestmöglich studiert werden. Um eine systematische Erfassung der Daten zu gewährleisten wurde ein Versuchsprotokoll erstellt. Darin wurden verschiedene Parameter aufgelistet, wie zum Beispiel die Wahl der Kartongröße, die benötigte Zeit oder die Menge an verwendeter Luftpolsterfolie. Die Parameter wurden bei

beiden Versuchsdurchläufen notiert und anschließend bei der Datenauswertung gegenübergestellt.

5.2 DURCHFÜHRUNG UND ANALYSE DES EXPERIMENTS OHNE AUGMENTED REALITY

Bei der Durchführung des Experiments ohne den Einsatz von AR erzielten die Probanden der Kontrollgruppe unterschiedliche Ergebnisse, da die Probanden keine Vorgaben hinsichtlich der Kartongröße oder Positionierung der Artikel hatten. So konnten die Artikel in beliebiger Reihenfolge und Ausrichtung in einen der drei Kartons gelegt und bei Bedarf umsortiert werden.

Bei der Kartonauswahl im ersten Durchlauf wurde in keinem Fall der korrekte Karton ausgewählt, da dieser der kleinste der verfügbaren Kartons war. Die Probanden griffen zu den größeren Kartons, worin alle zehn Artikel einfacher Platz fanden, jedoch auch mehr Luftpolsterfolie verwendet werden musste. Im zweiten Versuch wurde der größte Karton nur noch einmal gewählt und dafür öfter zum korrekten Karton gegriffen. Neun von zehn Probanden konnten sich beim zweiten Durchlauf daran erinnern, welchen Karton sie beim ersten Versuch genommen hatten. Dies deutet darauf hin, dass die Probanden sich beim zweiten Versuch verbessern wollten, um das optimale Packschema zu finden. Dieser Lerneffekt wurde bei der Betrachtung des Volumennutzungsgrades sichtbar, der sich von 63% auf 70% verbesserte. Beim Vergleich der Vorher-Nachher-Messungen war der Lerneffekt auch bei der Analyse der benötigten Zeit zu erkennen. So konnte eine durchschnittliche Zeitersparnis von über einer halben Minute im zweiten Versuch generiert werden.

In Bezug auf die direkten Verpackungskosten, die sich aus den Kosten für den Karton und der Luftpolsterfolie berechnete, konnte auch eine Verbesserung erzielt werden. Durch die Wahl des kleineren Kartons im zweiten Versuch, konnten die direkten Verpackungskosten um ca. 10% reduziert werden.

Die Anzahl der Fehlversuche jedoch verbesserte sich nicht wesentlich, von durchschnittlich zehn auf neun Fehlversuche im Vergleich der Vorher-Nachher-Messungen. Die Umsortierung bzw. Neupositionierung eines bereits platzierten Artikels im Karton wurde als Fehlversuch gewertet. Sowohl im ersten als auch im zweiten Versuchsdurchlauf wurden verschiedener Packschemata ausprobiert, um alle Artikel in einem Karton unterzubringen und keinen Überstand zu erzeugen, sodass der Karton bündig abgeschlossen werden konnte.

5.3 DURCHFÜHRUNG UND ANALYSE DES EXPERIMENTS MIT AUGMENTED REALITY

Bei der Durchführung des Experiments mit AR wurden die Probanden durch die Datenbrille visuell im Verpackungsprozess unterstützt, indem die Auswahl des richtigen Kartons sowie das volumenoptimale Packschema

angezeigt wurden. Die vorgegebene Reihenfolge, in der die Artikel in den Karton gelegt werden mussten, wurde im Software hinterlegt. Diese Software wurde im Zuge der Studie am Fraunhofer IML entwickelt, um Arbeitsanweisungen auf der Brille zu visualisieren. Die Entwicklung der Software erfolgte auf Basis der im Vorfeld untersuchten Aspekte der menschlichen Wahrnehmung und Gestaltung intuitiver Visualisierungen.

Über ein Schriftfeld wurden dem Probanden die Informationen und Arbeitsanweisungen, wie „greifen“ und „scannen“ angezeigt. Das Scannen des Codes auf dem Artikel wurde durch die integrierte Kamera der Datenbrille automatisch ausgeführt, wenn der Code in einem bestimmten Abstand zur Brille sichtbar war. Nach dem Scannen wurde durch das Computersystem überprüft, ob es sich um den korrekten Artikel handelte. Wenn dies der Fall war, wurde ein grüner Haken im Sichtfeld angezeigt. Wenn ein anderer Artikel gescannt wurde, trat eine Fehlermeldung in Form eines roten Kreuzes auf. So wusste der Proband, dass er einen falschen Artikel gegriffen hatte.

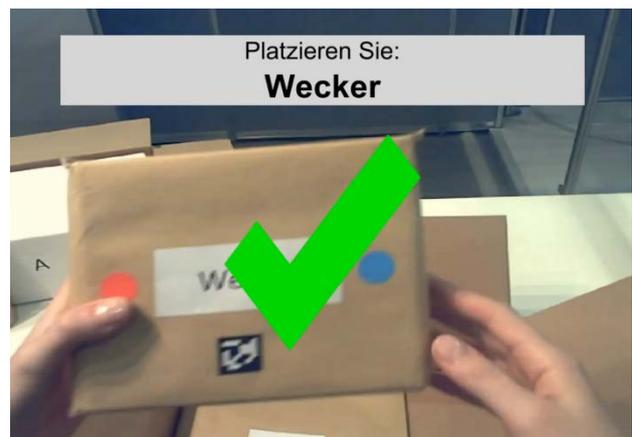


Abbildung 1. Scannen des Artikels und Rückmeldung des Systems

Nachdem der richtige Artikel gescannt wurde, war dieser im Karton zu platzieren. Mit Blick auf den Karton erkennt die Kamera der Datenbrille die Ecken und Kanten des Kartons. Um die genaue Position der einzelnen Artikel für den Probanden visuell darzustellen, wurden virtuelle Rechtecke in den realen Karton projiziert. So konnte der Proband erkennen, wo und in welcher Ausrichtung die Artikel zu platzieren waren. Anhand der Koordinate der linken unteren Ecke der Artikel und deren Abmessungen wurde die genaue Position der Artikel im Karton im Computersystem hinterlegt. Darauf basierend wurden die Artikel als virtuelle Rechtecke perspektivisch im Sichtfeld des Probanden dargestellt. Nach Platzierung eines Artikels wurde die korrekte Positionierung des Artikels vom System überprüft. Mit Einhaltung eines definierten Toleranzbereiches wurde bei Übereinstimmung der Relation ein grüner Haken angezeigt, um die richtige Positionie-

rung zu bestätigen. Danach wurde der nächste Artikel angezeigt.



Abbildung 2. Anzeige der optimalen Position des zu verpackenden Artikels

Nach Abschluss des Durchlaufs wurde dem Probanden ein Fragebogen ausgehändigt. Darin wurde seine persönliche Einschätzung hinsichtlich der Ergonomie und dem Umgang mit der Datenbrille abgefragt. Für die Experimentalgruppe spielte die Ergonomie, im Gegensatz zur Kontrollgruppe, eine wesentliche Rolle, da in der anschließenden Interpretation und Ableitung von Schlussfolgerungen eine Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit von AR vorgenommen wurde.

Durch die Vorgabe des volumenoptimalen Kartons und Packschemas wurde bei jedem Probanden ein einheitliches Ergebnis hinsichtlich der Qualität und Kosten des Kartons erzielt. Der Karton schloss bündig ab und erreichte dabei den maximal zu erzielenden Volumennutzungsgrad von 89 %. Die Kosten des Kartons konnten minimiert werden, da nur die Kosten des kleinsten Kartons zu berücksichtigen waren und keine Luftpolsterfolie benötigt wurde. Diese Messwerte blieben bei den Vorher-Nachher-Messungen konstant. Die benötigte Zeit hingegen verbesserte sich deutlich vom ersten zum zweiten Versuchsdurchlauf. Hier ist anzumerken, dass der Lerneffekt bezüglich der Verwendung der Brille und der Durchführung des Experiments deutlich zu erkennen war. Die Probanden haben im zweiten Versuch intuitiv gehandelt, da sie mit dem Experiment und der AR-Technologie bereits vertraut waren. Die Visualisierung der Artikel wurde als Hilfestellung wahrgenommen und die Probanden konnten im zweiten Versuch effektiver arbeiten. Die durchschnittlich benötigte Zeit im ersten Versuch wurde mit 3:33 Minuten gemessen und betrug im zweiten Versuch 2:26 Minuten. Somit konnte die Prozesszeit um ca. 1 Minuten reduziert werden. Der Lerneffekt spiegelte sich nicht nur im Zeitfaktor wider, sondern wurde auch von den Probanden im Fragebogen als sehr hoch bewertet.

Innerhalb des Fragebogens wurde das eingeschränkte Sichtfeld der Datenbrille als negative Anmerkungen genannt. So empfanden die Probanden die nicht immer

exakte Überlagerung des realen Sichtfeldes mit virtuellen Arbeitsanweisungen als unangenehm. Darüber hinaus wurde der Tragekomfort der Datenbrille kritisiert. Dies ist auf die Größe und das Gewicht der verwendeten Datenbrille zurückzuführen. Die eingesetzte Brille ist unhandlich und nicht für den dauerhaften Gebrauch im industriellen Umfeld geeignet. Insgesamt konnte beobachtet werden, dass dem Experiment durch die Probanden eine hohe Motivation entgegengebracht wurde.

Eine weitere Einschränkung im Experiment wurde von Probanden mit besonders großer oder kleiner Körpergröße wahrgenommen, da der Blickwinkel auf den Karton entsprechend steil oder flach war. Der Blickwinkel wirkt sich direkt auf die Funktionalität der Datenbrille aus. Für eine reibungslose Erkennung mussten alle vier Ecken des Kartons im Blickfeld des Probanden sein. War dies aufgrund des Blickwinkels nicht der Fall kam es zu Verzögerungen im Prozessablauf.

5.4 GEGENÜBERSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse aus dem Experiment mit und ohne den Einsatz von AR wurde der Lerneffekt als Gemeinsamkeit beider Versuchsgruppen festgestellt. Sowohl bei der Kontrollgruppe als auch bei der Experimentalgruppe konnte eine durchschnittliche Verbesserung der Zeit vom ersten Versuch zum zweiten Versuch aufgrund des Lerneffekts generiert werden. Im ersten Durchlauf war der Zeitunterschied mit elf Sekunden gering. Doch wurde im zweiten Durchlauf eine Zeitersparnis von 39 Sekunden im Vergleich der Durchführung mit und ohne AR erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich schließen, dass die Probanden die neue Technologie sehr schnell adaptiert und intuitiv verwendet haben. Folglich ist ein größerer Lerneffekt bei der Experimentalgruppe zu verzeichnen. Dies liegt auch daran, dass die Kontrollgruppe bei beiden Durchläufen selbst entscheiden musste, wie die Artikel bestmöglich zu verpacken waren. Da die Probanden ohne AR kein visuelles Hilfsmittel hatten, wirkten sich die Fehlversuche durch das Ausprobieren verschiedener Packschemata auch auf die benötigte Zeit aus.

Neben der Eliminierung der Fehlversuche und der daraus resultierenden Zeitreduktion wurden durch den Einsatz von AR die Qualität und die Kosten optimiert. So konnte eine Kostensenkung von etwa 30% erzielt werden. Der Volumennutzungsgrad steigerte sich um 19% und es konnte ein einheitliches Packschema bei beiden Versuchsdurchläufen mit AR gewährleistet werden. Dementgegen wurden bei dem Experiment ohne AR unterschiedliche Kartongrößen verwendet und Leerraum im Karton mit Luftpolsterfolie aufgefüllt. In manchen Fällen führte das beliebige Packschema dazu, dass der Karton nicht bündig abschloss und sich nach außen wölbte. Dies stellt ein deutliches Defizit gegenüber der AR-Technologie dar.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER STUDIE

Insgesamt ist festzustellen, dass die Forschungshypothese bezüglich einer optimierten Verpackung durch AR hinsichtlich Qualität, Zeit und Kosten validiert werden konnte. Die identifizierten Optimierungspotenziale der Verpackung konnten folglich mittels AR reduziert werden. Durch die Vorgabe des Kartons und des Packschemas wurde eine gleichbleibende und hohe Qualität der Verpackung erzielt, wodurch die Gefahr von Transportschäden minimiert werden kann. Durch die visuelle Darstellung der Positionierung der Artikel in Echtzeit konnte die bestmögliche Verpackungsvariante für die bereitgestellten Artikel gewährleistet werden. Auch wurde durch den Lerneffekt eine hohe zeitliche Reduktion erreicht. Diese kann durch eine alltägliche Anwendung in der Praxis noch weiter ausgebaut werden. Somit kann mit AR eine höhere Anzahl von Aufträgen in der gleichen Zeit bearbeitet werden und dadurch auch indirekte Prozesskosten gesenkt werden. Die direkten Kosten werden durch die Auswahl der Größe des Kartons und der Menge der Polstermaterialien bestimmt. Ein optimaler Volumennutzungsgrad wurde angestrebt und konnte durch die Wahl des kleinstmöglichen Kartons und den Wegfall des Polstermaterials erreicht werden. Somit konnten mit AR direkte Verpackungskosten eingespart und eine Erhöhung des Volumennutzungsgrades erzielt werden. Trotz der deutlichen Vorteile von AR, die durch das Experiment bestätigt wurden, konnten Optimierungspotenziale hinsichtlich der Durchführung des Experiments festgestellt werden. Die Körpergröße hat, durch die unterschiedlichen Blickwinkel der Probanden auf den Karton, Auswirkung auf den Prozessablauf und sollte beim Verpacken berücksichtigt werden, um Verzögerungen im Ablauf zu verhindern. Eine Möglichkeit ist die Anpassung der Tischhöhe, um die Entfernung des Probanden zum Karton anzugleichen und dadurch den Blickwinkel optimal einzustellen. Außerdem wurde die Schriftgröße in der Anzeige der Brille von einigen Probanden als zu klein und schlecht zu lesen angemerkt. Des Weiteren ist aufgefallen, dass das Platzieren großer Artikel für die Probanden einfacher ist als dies bei kleinen Artikeln der Fall war. Dies ist auf die Anzeige der AR-Brille zurückzuführen, die bei unruhigen Bewegungen der Probanden Bewegungsunschärfe verursacht hat. Das Verwackeln des Bildes wirkt sich stärker auf die virtuelle Darstellung kleiner Artikel aus.

Außerdem wurden der Tragekomfort und die körperliche Belastung der Datenbrille durch die Probanden negativ bewertet. In einer abschließenden Bewertung haben die Probanden den Einsatz von Datenbrillen in der Praxis als möglich erachtet, jedoch die Tauglichkeit der verwendeten Datenbrille „Meta 1“ in Frage gestellt. Der momentane Stand der Technik von binokulare Datenbrillen lässt einen alltäglichen Einsatz zur Unterstützung der Arbeitstätigkeit im industriellen Umfeld noch nicht zu. Die Brillen sind aufgrund der jetzigen Konstruktion unergono-

misch und müssen vor allem hinsichtlich des Tragekomforts weiterentwickelt werden.

Des Weiteren muss die Software der Brille für den betrachteten Anwendungsfall der Verpackung mit einer Software zur dynamischen Berechnung von Packschemata kombiniert werden. Erst, wenn unterschiedlichste Artikel mit hinterlegten Stammdaten dynamisch zu einem optimalen Packschema zusammengesetzt werden können, ist der Einsatz von AR in der Verpackungspraxis sinnvoll. Die Packschemata müssen je nach Artikelspektrum dynamisch berechnet werden können, um die Positionierung der Artikel in der Brille entsprechend anzuzeigen. Auch in diesem Fall müssen technische Weiterentwicklungen stattfinden, bevor der Einsatz von AR in der Verpackung Marktreife erlangen kann. Derzeitige Softwarelösungen, wie PUZZLE vom Fraunhofer IML, verfügen nicht über ausreichende Funktionalitäten, um Artikelspektren mit unterschiedlichen Formen und Anforderungen auf Verpackungsebene abzubilden. Denkbar wäre die Anwendung von AR in Unternehmen mit homogenen und kleinen Artikelspektren, bei denen sich einfache Packschemata ergeben.

Abschließend ist festzustellen, dass unter Voraussetzung der Berücksichtigung der genannten Optimierungspotenziale eine Integration der AR-Technologie in Verpackungsprozesse in Unternehmen als nutzenbringend erachtet werden kann. Dies liegt neben den genannten Vorteilen bezüglich Qualität, Kosten und Zeit auch in der hohen Motivation der Probanden, mit AR zu arbeiten und dem deutlichen Lerneffekt begründet.

Grundsätzlich ist vor der Einführung dieser Technologie in die Praxis, die Durchführung einer Feldstudie zu empfehlen. Erst in einem natürlichen Arbeitsumfeld kann die Plausibilität der Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen dieser Laborstudie überprüft werden. Zudem ist eine Verknüpfung von Anwendungsszenarien denkbar, wie die Verpackung und die vorangehende Kommissionierung. So können potentielle Synergieeffekte genutzt werden, die aufgrund einer durchgängigen Verwendung von AR in unterschiedlichen logistischen Prozessen entstehen können.

LITERATUR

- [Azu97] Azuma, Ronald T.: A Survey of Augmented Reality. In: Presence – Teleoperators and Virtual Environments 6, Nr. 4, 1997, S. 355-385, URL <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> - Abrufdatum 05.11.2015
- [Bra15] Brad, Nadine: Autobauer Volkswagen geht in den Serieneinsatz. Pilotphase erfolgreich; URL <http://www.logistikheute.de/Logistik-News-Logistik-Nachrichten/Markt-News/13875/Pilotphase-erfolgreich-3D-Datenbrillen-in-der-Kommissionierung-im-Einsatz-Da> - Abrufdatum 24.11.2015
- [CMS99] Card SK, Mackinlay JD, Shneiderman B (eds) (1999) Readings in Information Visualization. Using Vision to Think. Morgan Kaufmann Publishers, San-Francisco
- [DHL15] DHL (Hrsg.): DHL testet erfolgreich Augmented Reality-Anwendung im Lagerbetrieb; URL http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2015/dhl_testet_augmented_reality-anwendung.html - Abrufdatum 20.11.2015
- [GR09] Günthner, Willibald A. (Hrsg.); Reif, Rupert: Entwicklung und Evaluierung eines augmented reality unterstützten Kommissioniersystems, Dissertation, Garching, Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik, 2009
- [Gra09] Grandt M (2005) Oberflächengestaltung in Führungs- und Waffeneinsatzsystemen - Grundlagen der Visualisierung. Unterrichtsmaterial zum Kurzlehrgang Software-Ergonomie: Mensch-Computer-Interaktion, Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim
- [Hei12] Heinecke, Andreas M: Mensch-Computer-Interaktion. Springer, 2012.
- [HH11] ten Hompel, Michael (Hrsg.); Heidenblut, Volker: Taschenlexikon Logistik. 3. Aufl., Berlin: Springer, 2011
- [HIN15] Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan: Digitalisierung industrieller Arbeit. Nomos, 2015
- [Lan10a] Lange, Volker; Vortrag: Verpackungstechnik, Veranstalter: TU Dortmund, Veranstaltungsort: Dortmund, 2010
- [Roc85] Rock I (1985) Wahrnehmung – Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen. Spektrum Wissenschaftlicher Verlag, Heidelberg
- [SSG08] Schmidt, L.; Schlick, C. M.; Grosche, J. Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme, Springer, 2008
- [Str14a] Ströhmer, Marcel: Verpackungsplanung und -optimierung mit IT-Unterstützung. Vortrag: Effizientes Verpackungs-Management, Veranstaltungsort: Frankfurt, 25.04.2014
- [Thi16] THIMM Consulting (Hrsg.): Ganzheitliche Verpackungsoptimierung bei der Hager Group. URL <http://www.thimm.de/unternehmen/wirueberuns/thimmconsulting/verpackungsoptimierung/> - Abrufdatum: 13.05.2016
- [Wer23] Wertheimer, M (1923) Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. Psychologische Forschung Band 4
-
- Dipl.-Inf Benedikt Mättig**, Research Assistant at Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics in the department of Packaging and Retail Logistics. Benedikt Mättig was born 1983 in Cologne, Germany. Between 2004 and 2011 he studied Applied Computer Science with Logistics at the Technical University of Dortmund.
- Address:
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML),
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Germany
Phone: +49 231 9743-270, Fax: +49 231 9743-270
E-Mail: benedikt.maettig@iml.fraunhofer.de

B.Sc. Isabel Lorimer, Research Assistant at Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics in the department of Packaging and Retail Logistics.

Isabel Lorimer was born 1989 in Rosenheim, Germany. Between 2010 and 2016 she studied Logistics at the Technical University of Dortmund.

Address:

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML),
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Germany

Phone: +49 231 9743-695, Fax: +49 231 9743-695

E-Mail: isabel.lorimer@iml.fraunhofer.de

M.Sc. Jana Jost, Research Assistant at Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics in the department of Automation and Embedded Systems. Jana Jost was born 1988 in Hagen, Germany. Between 2007 and 2013 she studied Applied Computer Science with Robotics.

Address:

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML),
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Germany

Phone: +49 231 9743-522, Fax: +49 231 9743-522

E-Mail: jana.jost@iml.fraunhofer.de

M.Eng. Thomas Kirks, Research Assistant at Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics in the department of Automation and Embedded Systems.

Thomas Kirks was born 1981 in Schwedt/Oder. Between 2003 and 2007 he studied Information and Communication Technology at the FH Dortmund and got his diploma in engineering. Between 2007 and 2011 he continued studying Information Technology at the Technical University of Dortmund and got his Master degree.

Address:

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML),
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Germany

Phone: +49 231 9743-134, Fax: +49 231 974377-134

E-Mail: thomas.kirks@iml.fraunhofer.de