

Entwicklung von Assistenzsystemen für manuelle Industrieprozesse

Andreas Bächler¹, Liane Bächler², Sven Autenrieth¹, Peter Kurtz³, Thomas Heidenreich²,
Thomas Hörz¹ und Georg Krüll¹

Abstract: In der nachfolgenden Arbeit werden zwei neuentwickelte Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse vorgestellt. In einem nutzerzentrierten und partizipativ angelegten Entwicklungsprozess werden die Anforderungen von leistungsgeminderten und leistungsgewandelten Menschen mit denen der Industrieunternehmen bzw. der Technik verbunden. In diesem mehrstufigen und interdisziplinären Prozess werden die Assistenzsysteme konzipiert, entwickelt, prototypisch umgesetzt und anschließend mit den zukünftigen Nutzern in praktischen Studien evaluiert. Zudem werden pädagogisch-psychologische Aspekte für die Nutzung prozedural-interaktiver Assistenzsysteme betrachtet. Die Ziele für den Einsatz solcher Systeme sind die Verminderung der Komplexität und des Aufwands für das Einlernen von Mitarbeitern, der Erhalt und die Steigerung der Arbeitsfähigkeit, Motivation und Gesundheit sowie die Reduzierung von Produktionsfehlern und –zeiten. Auch die Inklusion und (Wieder-) Eingliederung von leistungsgewandelten und leistungsgeminderten Menschen ins Arbeitsleben sind dabei von Bedeutung und finden Berücksichtigung.

Keywords: Assistenzsysteme, leistungsgeminderte Mitarbeiter, demografischer Wandel, Augmented Reality, manuelle Montage, manuelle Kommissionierung.

1 Motivation

Die Globalisierung und der demografische Wandel in Europa führen zu Veränderungen innerhalb der industriellen Produktion und der dazugehörigen Logistik in Deutschland.

Zusätzlich entwickelt sich die Produktion immer mehr von der Massenfertigung mit langen Produktlebensdauern hin zu einer Fertigung von Einzel- und Kleinserien mit kundenindividuellen Produkten und kurzen Lebenszeiten. Die kleinen Losgrößen führen wiederum zu einer stark steigenden Variantenvielfalt.

Diese Veränderungen und die steigende Komplexität der Produktionsprozesse erfordern eine hohe Flexibilität mit kurzen Montage-, Kommissionier-, Rüst- und Einlernzeiten,

¹ Hochschule Esslingen, Fakultät Maschinenbau, Kanalstrasse 33, 73728 Esslingen
(andreas.baechler@hs-esslingen.de, sven.autenrieth@hs-esslingen.de, georg.kruell@hs-esslingen.de,
thomas.hoerz@hs-esslingen.de)

² Hochschule Esslingen, Fakultät Soziale Arbeit, Gesundheit und Pflege, Flandernstraße 101, 73732 Esslingen
(liane.baechler@hs-esslingen.de, thomas.heidenreich@hs-esslingen.de)

³ Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau, Max-Planck-Ring 12, 98693 Ilmenau
(peter.kurtz@tu-ilmenau.de)

aber auch eine hohe Qualitätssicherheit und niedrige Herstellkosten, um auf dem globalen Markt wettbewerbsfähig bleiben zu können.

Aufgrund dieser Herausforderungen und der Tatsache, dass die Anzahl der repetitiven Tätigkeiten abnimmt, können automatisierte Lösungen oftmals nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden. Des Weiteren sind automatisierte Prozesse nach wie vor meist sehr unflexibel und ihre Anwendung mit hohen Betriebs- und Investitionskosten verbunden und deren Wartung bzw. Bedienung erfordert einen hohen Qualifizierungsgrad.

Der Mensch hingegen bietet mit seinen kognitiven Fähigkeiten, seiner komplexen Wahrnehmung und seinem Greif- und Tastvermögen geeignete Voraussetzungen, um flexibel, schnell und kostengünstig auf sich verändernde Markt- und Produktionsbedingungen zu reagieren.

Häufig auftretende Änderungen der manuellen Arbeitsabläufe führen zu einem interessanten und abwechslungsreichen Arbeitsplatz, zum anderen steigen dadurch aber auch die Anforderungen bezüglich Konzentration, Ausdauer und Fehleranfälligkeit, je länger die Mitarbeiter mit den Tätigkeiten befasst sind [RZ14].

Die kurzen Produktintervalle und die hohe Varianz der Produkte erfordern zur Sicherstellung einer gleichbleibenden hohen Qualität bei manuellen Montage- und Kommissioniertätigkeiten eine ebenfalls hohe Qualifikation der Mitarbeiter.

Neben den genannten industrieseitigen Entwicklungen zeigen aktuelle Zahlen, dass sich der Altersdurchschnitt der Erwerbstätigen, und damit der Anteil der Arbeitnehmer, die einem Leistungswandel unterliegen, in Deutschland stark erhöht. Das Statistische Bundesamt prognostiziert einen Rückgang des Bevölkerungsstandes in Deutschland von 2000 bis 2050 um 9 %. Dabei sinkt der Anteil der für die Produktion wichtigen Gruppe der 20- bis 60-jährigen von 45,5 auf 35,4 Mio.. Die Anzahl der über 60-jährigen steigt hingegen von 19,4 auf 27,5 Mio. Menschen an [SB09]. Diese demografische Veränderung mit einer stetig alternden Gesellschaft und den damit zusammenhängenden Leistungsveränderungen der Mitarbeiter stellen eine zusätzliche Herausforderung für industrielle Betriebe dar. Ergebnisse einer Studie mit 130 Industrieunternehmen zeigen, dass der Anteil an leistungsgewandelten Mitarbeitern in deutschen Unternehmen bereits heute einen markanten Wert von bis zu 20 % der Gesamtbelegschaft einnimmt [HKK13]. Unter leistungsgewandelten Mitarbeitern sind ehemals vollleistende Beschäftigte mit Einsatzeinschränkungen zu verstehen, welche für einen gewissen Zeitraum oder dauerhaft nicht mehr in der Lage sind, ihre bisherigen Arbeitstätigkeiten mit den entsprechenden Anforderungen und Belastungen auszuführen. Hierbei geht es besonders um Mitarbeiter mit erworbenen Behinderungen als Folge einer Krankheit, eines Unfalls oder von Alterserscheinungen. An einem angepassten Arbeitsplatz können diese Mitarbeiter jedoch ihre volle Leistung erbringen [Ad04], [Ja01].

Zusätzlich wird laut der „Engpassanalyse 2013“ des Bundesministeriums für Wirtschaft

und Technologie ein Fachkräftemangel in den industriellen Berufsfeldern festgestellt. Der Mangel an Nachwuchs- und Fachkräften hat zur Folge, dass Unternehmen immer häufiger nicht in der Lage sind in ihren Tätigkeitsfeldern den Wunschkandidaten zu finden. Deshalb ist es zukünftig nicht nur aus sozialen, sondern auch aus wirtschaftlichen Aspekten wichtig, Mitarbeiter mit fortgeschrittenem Alter (ab 50 Jahren) und leistungsgeminderte Mitarbeiter aus Werkstätten für Behinderte Menschen (WfBM) zu beschäftigen [BAS14]. Im vorliegenden Artikel werden Personen mit Beeinträchtigung der funktionalen Gesundheit als „leistungsgeminderte Mitarbeiter“ bezeichnet. Dieser Begriff bezieht sich auf eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit, womit das maximale Leistungsniveau einer Person bzgl. einer Aufgabe oder Handlung unter Test-, Standard oder hypothetischen Bedingungen gemeint ist [Sc07]. Die steigenden Anforderungen an WfBM führen dazu, dass für diese Personengruppe neue Wege der Beschäftigung und dadurch auch der Unterstützung gefunden werden müssen. Auch von Seiten der Industrie steigen die Bemühungen für eine inklusive Gestaltung des Arbeitsmarktes, so wie dies gesetzlich in der UN-Behindertenrechtskonvention (Art. 27) für Menschen mit Beeinträchtigung vorgesehen ist [BAS11].

2 Stand der Forschung

Um in Zukunft manuelle Tätigkeiten im Bereich der Kommissionierung und Montage zuverlässig und wettbewerbsfähig durchführen zu können, sind Innovationen und Veränderungen zur Unterstützung der Arbeitstätigkeiten erforderlich. Besonders im Bereich der technischen Unterstützung durch Assistenzsysteme für leistungsgeminderte und leistungsgewandelte, aber auch für Menschen ohne Beeinträchtigung wird viel geforscht und entwickelt. Im Gebiet der Assistenztechnologien für leistungsgeminderte Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen wird viel durch Sauer et. al. [SPH10] geforscht. Aber auch für normal leistungsfähige Menschen wird durch Schwerdtfeger et al. [SRG11] nach Unterstützungssystemen gesucht. Als Teil der Mixed Reality (Systeme, die die reelle Welt mit einer virtuellen Realität vermischen) ist die erweiterte Realität (Augmented Reality) eine wachsende Technologie, die ihren Einsatz und ihre Anwendung nicht nur im medizinischen Kontext während Operationen oder als Trainingswerkzeug findet [Az97]. Augmented Reality wird auch im Bereich der manuellen Kommissionierung zur Unterstützung des Kommissionierers mit den erforderlichen Informationen mittels eines head-mounted displays eingesetzt [SRG11]. Verschiedene Forschungsaktivitäten von Günthner und Rammelmeier [GR12] zeigen ebenfalls den Einfluss von Augmented Reality mittels einer Datenbrille zur Fehlererkennung und -reduzierung.

3 Umsetzung

Um manuelle Kommissionier- und Montagetätigkeiten auch zukünftig verlässlich mit Menschen durchführen zu können, müssen neue Unterstützungsmöglichkeiten entwickelt

werden.

In diesem Zusammenhang stellen assistierende Systeme einen erfolgs- und zukunfts-trächtigen Ansatz zur Anleitung, Unterstützung und Kontrolle von manuellen Industrieprozessen dar.

Im Folgenden werden Forschungstätigkeiten zur technischen Unterstützung mit Assistenzsystemen von Montage- und Kommissionierprozessen mit leistungsgeminderten und -gewandelten Mitarbeitern, aber auch mit Mitarbeitern ohne Einschränkungen vorgestellt. Damit soll den geschilderten Entwicklungen, deren Folgen sowie den neuen Anforderungen erfolgreich begegnet werden. Es wird ein Assistenzsystem für Montage- und eines für Kommissionierprozesse entwickelt. Das Montageassistenzsystem ist dabei folgendermaßen aufgebaut (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2):



Abbildung 1: Einzelarbeitsplatz mit Assistenzsystem zur Montage von Schraubzwingen

Nach der personalisierten Anmeldung durch einen Werker wird der Montagemodus gestartet. Dort werden den Anwendern individuelle Anleitungen geboten. Hierdurch können Mitarbeiter mit unterschiedlichen Leistungsniveaus, bisher noch nicht bekannte Montagetätigkeiten ausführen. Eine Variabilität der Anleitungsstufen wird durch eine adaptive Führung gewährleistet, was in diesem Zusammenhang eine automatische Anpassung der Anleitung an die Bedürfnisse des jeweiligen Nutzers bedeutet. Als Einstufung für die jeweilige Anleitungsstufe werden die hinterlegten personenbezogenen Daten, die bisher im Prozess verursachten Fehler und die bisher benötigte Zeit für den Montageprozess herangezogen. Ein über dem Montagearbeitsplatz angebrachter Projektor projiziert die notwendigen Entnahme-, Prozess- und Verbauintformationen in-situ, d.h. direkt in den Arbeitsbereich. In einem ersten Schritt wird der Greifbehälter, aus welchem eines oder mehrere Bauteile zu entnehmen sind, mit einem grün hinterlegten und blinkenden Lichtbalken sowie der Entnahmestückzahl angeleuchtet. Nach der Entnahme des korrekten Bauteils wird die Verbauposition durch die grafische Abbildung des Bauteils auf der Montagevorrichtung dargestellt. Nach korrekter Positionierung und Montage des Bauteils beginnt das System mit der Entnahmeanweisung des nachfolgenden Bauteils. Schritt für Schritt erhalten die Mitarbeiter genaue Anweisungen welches Bauteil Sie entnehmen und wie bzw. wo sie dieses positionieren müssen. Das System erkennt, mithilfe eines RGB- und Infrarot-Tiefensensors Fehler und gibt nur bei korrekt ausgeführter Tätigkeit weitere Anweisungsschritte.

Das Montageassistenzsystem kommt dabei in zwei verschiedenen Szenarien zum Einsatz. In einem ersten Anwendungsfall wird das Assistenzsystem in einen Montageprozess für Schraubzwingen an einem Einzelarbeitsplatz (siehe Abbildung 1) implementiert und als zweite Anwendung an einer Montagezelle mit drei verketteten Arbeitsplätzen zur Montage von PKW-Anlassern (siehe Abbildung 2).

Der Aufbau und die Funktionsweise des Assistenzsystems für Kommissionierprozesse sehen dabei folgendermaßen aus:

In einem Durchlaufregallager werden verschiedene Artikel in Behältern bereitgestellt. Quer dazu ist ein höhenverstellbarer Kommissionierwagen, an eine über Linearschienen verschiebbare Assistenzeinheit mit zwei Projektoren, zwei Infrarotkameras, einer höhenverstellbaren Waage und einem Touchscreen Monitor, angekoppelt. An dem Monitor wird ein Kommissionierauftrag ausgewählt und mit der Zusammenstellung des Auftrages begonnen. Auch in der Kommissionierung wird eine Variabilität der Anleitungsstufen durch adaptive und an die Nutzerbedürfnisse angepasste Anleitungen, geboten. Zur Einstufung für die jeweilige Anleitungsstufe dienen ebenfalls die personenbezogenen Daten, die bisher in Kommissionierprozessen verursachten Fehler und benötigten Zeiten.

Mit dem entwickelten Prototypen können entweder einzelne Artikel oder ganze Behälter kommissioniert werden.

Die Entnahme der Behälter oder Einzelteile wird über einen Projektor mit Lichtsignalen angeleitet. Mit Hilfe dieser Augmented-Reality Anzeigen werden für den Prozess erforderliche und unterstützende Informationen in



Abbildung 2: Assistenzsysteme in einer Montagezelle



Abbildung 3: Assistenzsystem für Kommissionierprozesse

Bildern und/ oder Videos als Anleitung direkt in den Arbeitsbereich projiziert. Die Entnahmeposition und -menge sowie weitere unterstützende Informationen werden auf regalseitig befestigte Projektionswinkel abgebildet. Über eine Infrarotkamera sowie eine Waage werden nach der Entnahme die korrekte Entnahmeposition und -menge kontrolliert. Die nachfolgende Ablegeposition in einem Behälter auf der Waage oder im Kommissionierwagen wird ebenfalls über projizierte Informationen abgebildet. Nach erfolgreicher Kommissionierung einer Auftragsposition werden auf dem Monitor Informationen für das Verschieben des Kommissionierwagens bis zum nachfolgenden Entnahmeort angezeigt und der Verschiebeprozess angeleitet.

4 Entwicklungsprozess

Die partizipative Entwicklung der Assistenzsysteme erfolgte dabei in vier Stufen nach dem nutzerzentrierten bzw. -gerechten Entwicklungsprozess, in welchem die Fähigkeiten und Bedürfnisse der zukünftigen Bediener im Mittelpunkt stehen. In einem ersten Schritt wurden dabei die Interaktionspartner Mensch und Maschine untersucht. Danach erfolgt mit den vorliegenden Ergebnissen die Entwicklung, Konstruktion, Fertigung und Inbetriebnahme der Hardware. Parallel dazu werden die Kommissionieranleitungen und das Bediensystem entwickelt, evaluiert und ausgewählt. Parallel dazu erfolgt in einem dritten Schritt die Entwicklung, Evaluierung und Auswahl der Anleitungen inklusive der Piktogramme, Symbole und des Bediensystems. In einem letzten Schritt erfolgt nach der Implementierung der Software die iterative Evaluation der gesamten Assistenzsysteme zuerst in einer Vorstudie mit normal leistungsfähigen und anschließend in einer Feldstudie mit leistungsgeminderten Mitarbeitern.

Die zu Beginn durchgeführte Nutzeranalyse erfolgt durch eine Evaluierung und Analyse der Nutzerbedürfnisse und -anforderungen in Form einer Fragebogenerhebung in einer Werkstatt für behinderte Menschen. Die Fragebögen wurden von pädagogischen Fachkräften der Werkstätte für eine Anzahl von über 70 ihrer leistungsgeminderten Mitarbeiter ausgefüllt. Mit dieser Erhebung wurden Informationen über die Eigenschaften, Fähigkeiten und Bedürfnisse der zukünftigen Nutzergruppe ermittelt. Auf Grundlage dieser Daten wurde die Hardware unter Berücksichtigung von ergonomischen Aspekten sowie die Software unter Einhaltung der Usability Kriterien als intuitive Bedienoberfläche konzipiert. Simultan dazu wurden Anleitungsvarianten und dazugehörige Piktogramme konzipiert, welche die Mitarbeiter in ihren Tätigkeiten anleiten, unterstützen, kontrollieren und ggf. Rückmeldung für eine schnelle und sichere Fehlerbehebung bieten. Die Anleitungen stellen die durchzuführenden Handlungen in verständlicher und projizierter Form als Lichtsignale dar. Die Vielzahl der Piktogramme wurde durch eine Fragebogenerhebung evaluiert und anschließend das Verständnis verschiedener Anleitungsformen in einer praktischen Studie mit über 50 leistungsgeminderten Personen überprüft.

In einer abschließenden Studie wurde das Assistenzsystem für Kommissionierprozesse in Bezug auf den Nutzen und die Beanspruchung den aktuell gängigsten Versionen von

manuellen Kommissioniersystemen (einer Papierliste, einer Displayanleitung und einem Pick-by-Light System) gegenübergestellt und mit 24 leistungsgeminderten Mitarbeitern in einer Feldstudie evaluiert. Die abschließenden Ergebnisse zeigen, dass sich das im Zuge dieser Forschungstätigkeit entwickelte System vor allem durch eine hohe Akzeptanz und eine stark reduzierte Fehlerrate seitens der leistungsgeminderten Mitarbeiter auszeichnet. Durch nähere Betrachtung der abhängigen Messvariablen Fehlerrate und Beanspruchung der vier Referenzsysteme wird der weitere Nutzen des Systems deutlich.

Die abschließende Studie des Assistenzsystems für Montagetätigkeiten an einem Einzelarbeitsplatz wird derzeit noch im Zuge einer Feldstudie in einer Werkstatt für Behinderte Menschen über einen Zeitraum von sechs Wochen getestet. Dort montieren leistungsgeminderte Mitarbeiter an dem Einzelarbeitsplatz Schraubzwingen. Diese montieren zum einen durch Unterstützung des neuentwickelten Assistenzsystems und im Vergleich dazu mit dem bisherigen Stand der Technik, durch die Unterstützung einer Bildanleitung. Die Ergebnisse dieser Studie werden derzeit ausgewertet und voraussichtlich Ende 2015 veröffentlicht.

5 Ausblick

Die entwickelten Assistenzsysteme für manuelle Industrieprozesse können mit kleineren Anpassungen auch in anderen Industrieprozessen wie z.B. dem Verpacken, dem Bestücken von Platinen oder auch dem Schaltschrankbau eingesetzt werden. Auch ein Einsatz im medizinisch-sozialen Bereich als Operationsunterstützung, der Rehabilitation, der Versorgung und Pflege oder dem Ambient Assisted Living ist denkbar. Dort könnten gleichartige Assistenzsysteme im Zuge des Smart Homes bei Haushaltstätigkeiten wie dem Kochen oder dem Auffinden von Haushaltsgegenständen eingesetzt werden.

Gleichzeitig könnte es auch interessant sein die Langzeitwirkung dieser Assistenzsysteme auf die Persönlichkeitsentwicklung der leistungsgeminderten Nutzer zu betrachten. Dies könnten im Zuge einer Langzeitstudie und einer anschließenden Befragung erhoben werden.

Danksagung

Dieser Beitrag ist im Rahmen des Projekts „motionEAP-System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion“ entstanden. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Kennzeichen 01MT12021D gefördert und vom DLR-Projektträger betreut.

Literaturverzeichnis

- [Ad04] Adenauer, S.: Die (Re-) Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess. Das Projekt FILM bei FORD Köln. Angew. Arbeitswiss. (181) (2004), S. 1-18.
- [Az97] Azuma, R. T. et al. A survey of augmented reality. Presence, 6, 4 (1997) S. 355-385.
- [BAS14] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Initiative Inklusion. Maßnahmen zur Förderung der Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt. Online verfügbar unter <http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/a743-flyer-initiative-inklusion.pdf?blob=publicationFile>, zuletzt geprüft am 12.11.2014 (2014).
- [BAS11] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Übereinkommen der Vereinten Nationen über Rechte von Menschen mit Behinderungen. Bonn (2011).
- [GR12] Günthner, W. A., Rammelmeier, T. Auf dem Weg zur Null-Fehler-Kommissionierung. DOI= http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/2012-07_Auf_dem_Weg_zur_Null-Fehler-Kommissionierung.pdf (2012).
- [HKK13] Hörz, T.; Korn, O.; Kölz, M.: Abschlussbericht Innovative Projekte/ Kooperationsprojekte, Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage. Koordinierungsstelle Forschung der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften, Baden-Württemberg (2013).
- [Ja01] Jahn, H.-P.: Datenerfassung und -verarbeitung bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen - mehrere Jahre nach Abschluss eines HdA-Projektes für Leistungsgewandelte, Herbstkonferenz GfA (2001).
- [RZ14] Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Assistenzsysteme in der Produktion. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, wt Werkstatttechnik online Jahrgang 104, H.9. (2014).
- [SPH10] Sauer, A. L., Parks, A. and Heyn, P. C.: Assistive technology effects on the employment outcomes for people with cognitive disabilities: a systematic review. Disability & Rehabilitation: Assistive Technology 5, 6 (2010) S. 377-391.
- [Sc07] Schuntermann, M. F.: Einführung in die ICF. Grundkurs, Übungen, offene Fragen. ecomed. Medizin, Landsberg/Lech (2007).
- [SRG11] Schwerdtfeger, B., Reif, R. and Günthner, W. A.: Pick-by-vision: there is something to pick at the end of the augmented tunnel. Virtual reality 15 (2011) S. 2-3, S. 213-223.
- [SB09] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Begleitheft zur Pressekonferenz am 18. November 2009 (2009).