

Der Mensch im Maschinen- und Fahrzeugbau: Quo Vadis?

Angelika C. BULLINGER

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Technische Universität Chemnitz
Erfenschlager Straße 75, D-09125 Chemnitz*

Kurzfassung: Sowohl der Maschinen- als auch der Fahrzeugbau sind aktuell geprägt von den soziotechnologischen Trends der „vierten industriellen Revolution“. Dies stellt die Arbeitswissenschaft vor die Herausforderung der Anpassung tradierter generischer Vorgehensmodelle der Produkt- und Prozessgestaltung. Im Beitrag werden deshalb beispielhaft aktuelle Ergebnisse aus Forschungsarbeiten der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement aus den Bereichen der Produkt- und Prozessergonomie dargestellt, mit denen sich dieser Wandel gestalten lässt. Neben einer Ist-Analyse der Beanspruchung von zunehmend älteren Arbeitspersonen in der Montage, werden Ansätze vorgestellt, die zeigen wie Mensch-Maschine-Schnittstellen, die im Produktionsbereich zukünftig vermehrt durch die Bedienung von Assistenzrobotern mittels Gesten gekennzeichnet sind, intuitiv gestaltet werden können. Außerdem wird beschrieben, wie KMU mit einem speziellen Prozessleitfaden zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen 4.0 dazu befähigt werden, innovative Technologietrends tatsächlich zu implementieren.

Schlüsselwörter: Industrie 4.0, Produkt- und Prozessergonomie, Maschinen- und Fahrzeugbau, Mensch-Roboter-Kollaboration, Gesten, KMU

1. Einleitung

Digitalisierung, Internet of Things, Industrie 4.0, Automation und Augmented Reality – Maschinen- und Fahrzeugbau sind aktuell geprägt von den soziotechnologischen Trends der „vierten industriellen Revolution“. Eine smarte und effiziente, wenig störanfällige sowie in Bezug auf Fertigungskapazitäten wandlungsfähige Produktion basiert auf der echtzeitfähigen, intelligenten digitalen Vernetzung von Maschinen, Menschen und IKT-Systemen (Bitkom 2014). Technologien, wie etwa mobile Assistenzsysteme oder kollaborativ arbeitende Robotersysteme, rücken verstärkt in den Fokus von Prozessgestaltern und leisten dadurch einen technologischen Beitrag zur Produktion 4.0. Entsprechend dem soziotechnischen Konzept wird dabei auch die Neudefinition der Mensch-Maschine-Schnittstelle von digitalen und vernetzten Arbeitsmitteln notwendig. So kann es gelingen, dass auch in Zukunft Arbeitspersonen als selbstbestimmte und eigenverantwortlich handelnde Menschen tätig sind und im sicheren und effizienten Umgang mit den Technologien der vierten industriellen Revolution einen gesteigerten produktionstechnischen Mehrwert schaffen.

Die Aufgabe von Produkt- und Prozessgestaltern ist es also, die sich veränderten Schnittstellen so zu gestalten, dass sie den Anforderungen der Nutzer als

Arbeitspersonen im industriellen Kontext entsprechen und damit gebrauchstauglich sind. Sind diese Schnittstellen zwischen dem Menschen und den intelligent vernetzten interaktiven Systemen in der Produktion nur eingeschränkt gebrauchstauglich gestaltet, führt dies zur Ablehnung der Technologien bei ihren Anwendern und damit zu Einschränkungen der erhofften Effizienzvorteile. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind jedoch in besonderem Maße darauf angewiesen deren innewohnenden dynamischen Fähigkeiten zur Umstrukturierung und Anpassung zu nutzen, um daraus einen Wettbewerbsvorteil zu generieren (Gibcus 2006). Es zeigt sich jedoch, dass v.a. KMU das Potenzial der neuartigen Technologien nicht nutzen, da ihnen Zugänge zu aktuellen Forschungsergebnissen verstellt sind oder ihnen das Prozesswissen zur Gestaltung schnell und kostengünstig anzufertigender Prototypen als Voraussetzung für den Vergleich ihrer bisherigen Lösungen mit Industrie-4.0-Technologien fehlt (Bischoff 2015). Eine für KMU passgenaue kapazitive und kostengünstige Auslegung und Implementation von Industrie-4.0-Technologien inklusive gebrauchstauglicher Mensch-Maschine-Schnittstellen ist daher als ein vordringliches Gestaltungsgebiet anzusehen. Dies stellt insbesondere die Arbeitswissenschaft heute und in Zukunft vor die Aufgabe, die Anpassung bekannter generischer Vorgehensmodelle der Produkt- und Prozessgestaltung auf die sich im digitalen Wandel befindlichen Domänen des Maschinen- und Fahrzeugbaus vorzunehmen.

Die Arbeitswissenschaft muss ihr methodisches Kapital zur Sensibilisierung von KMU nutzen und diese zur Einführung digitaler Technologien befähigen. Erkenntnisse zum demographischen Wandel und dessen Folgen in produzierenden Unternehmen bieten die Basis, auf die bei der Einführung von digitalisierten Prozessen durch Berücksichtigung von Alternsfaktoren aufgebaut werden kann. Erweiterte digitale Menschmodelle können dazu beitragen, dass auch Produktionsprozesse zukünftig effizienter und effektiver analysiert, gesteuert und ergonomisch geplant werden können. Handlungsleitfäden und Demonstratoren zur Gestensteuerung können dazu beitragen, methodisches Wissen zu einer Interaktionsform auch für KMU zugänglich zu machen. Innovative Benutzerschnittstellen und Bedienkonzepte bieten die Möglichkeit, das Spektrum industrieller Mensch-Maschine-Interaktion zu erweitern und von Anfang an gebrauchstauglich aufzubereiten. Zur Illustration der genannten Themengebiete werden nachfolgend beispielhaft Erkenntnisse aus Forschungsarbeiten der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement aus den Bereichen der Produkt- und Prozessergonomie vorgestellt, die den Transfer für KMU bereits inhärent haben.

2. Beanspruchung von Montagemitarbeitern in Abhängigkeit vom Alter

Der demografische Wandel mit seinen strukturellen Veränderungen in der Zusammensetzung der Bevölkerung in Deutschland führt zu tiefgreifenden Veränderungen in der Erwerbsbevölkerung: die Anzahl der Menschen im erwerbsfähigen Alter nimmt ab, der Anteil älterer Mitarbeiter steigt an (Statistisches Bundesamt 2015a; 2015b). Flankiert wird diese Entwicklung von einer Geburtenrate unter dem Bestanderhaltungsniveau, dem Älterwerden der Babyboomer-Generation und der schrittweisen Anhebung des Renteneintrittsalters auf 67 Jahre (Morschhäuser 2002; Sechstes Buch Sozialgesetzbuch 2008; Statistisches Bundesamt 2017). Diese Entwicklungen sind auf dem Arbeitsmarkt bereits spürbar. In den letzten Jahren hat sich die Erwerbsquote der Mitarbeiter in den Gruppen der 60- bis

64-Jährigen und 65- bis 69-Jährigen in etwa verdoppelt (Statistisches Bundesamt 2014), das Durchschnittsalter der Erwerbstätigen liegt aktuell bei 43,4 Jahren (1991: 38,8) (Statistisches Bundesamt 2017).

Diese Veränderungen betreffen auch die Mitarbeiter im Maschinen- und Fahrzeugbau und die zukünftige Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen in Bezug auf die Beanspruchung der Mitarbeiter. Für Produktionsmitarbeiter ergeben sich im Mensch-Maschine-System vielfältige Belastungen aus Arbeitsaufgabe, Arbeitsorganisation, Arbeitsumwelt und der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle selbst (Schlick et al. 2010; DIN EN ISO 6385 2016). Studien zur Belastung dokumentieren, dass ältere Mitarbeiter aufgrund „der Intensität der einwirkenden körperlichen und psychisch-mentalenen Arbeitsbelastungen, deren Zusammenwirken (Mehrfachbelastungen) und vor allem von der Belastungsdauer“ einem Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind (Wübbeke 2005). Mit zunehmendem Alter kommt es zum Nachlassen der körperlichen Leistungsfähigkeit und dem Auftreten von arbeitsrelevanten Leistungsveränderungen ab etwa 45 Jahren (Ilmarinen 2005; Kenny et al. 2008). Unter Zugrundelegung des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes nach Rohmert (1983) würde sich demnach bei gleicher Belastungswirkung eine höhere Beanspruchung bei älteren Mitarbeitern ergeben.

Die aus den wirkenden Belastungen resultierende Beanspruchung von Mitarbeitern wurde in einer quasiexperimentellen Feldstudie mit 35 männlichen Probanden zwischen 21 und 60 Jahren in der Montage eines Automobilherstellers untersucht. Bereits bei geringen Belastungen am Arbeitsplatz, d.h. einer objektiven Belastungsbeurteilung nach EAWS von 12 – 14 Punkten, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Beanspruchung der Mitarbeiter. Abbildung 1 zeigt die Werte der relativen Herzfrequenz, d.h. im Arbeitsprozess ermittelte Herzfrequenz bezogen auf die Maximalherzfrequenz, von drei Altersgruppen: junge (21-31 Jahre), mittlere (34-42 Jahre) und ältere (46-60 Jahre) Werker.

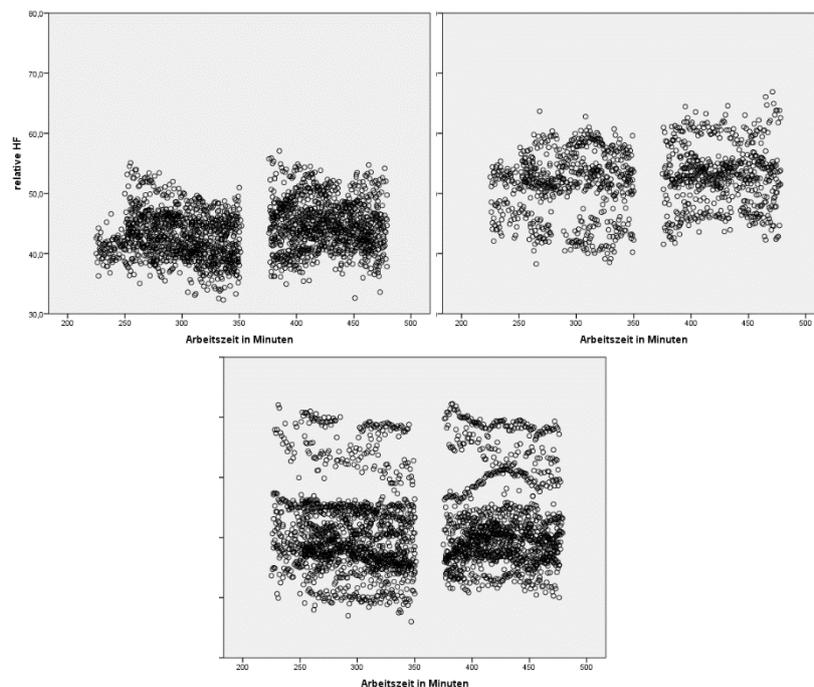


Abbildung 1: Werte der relativen Herzfrequenz an einem Arbeitsplatz mit geringem Belastungsrisiko bei jungen, mittleren und älteren Werkern (v.l.n.r.)

Die Analyse der Werte erfolgte über eine Hierarchische Lineare Modellierung, d. h. ein Mehrebenenmodell, bei dem die hierarchische Struktur der zugrundeliegenden Daten berücksichtigt wird, z. B. die Zuordnung der Messwerte über dem Schichtverlauf zu einem Probanden. Es zeigte sich, dass der Faktor Alter einen entscheidenden Anteil an der Höhe der Beanspruchung (relative Herzfrequenz) hat: die Beanspruchung der Mitarbeiter steigt mit zunehmendem Alter und im Zeitverlauf an. Aus den in Abbildung 2 dargestellten Werten und der zugehörigen Regressionsgleichung unter Berücksichtigung von Arbeitszeit und Alter ergeben sich exemplarisch für 20-, 40- und 60-jährige Probanden die Höhe und der Verlauf der relativen Herzfrequenz. Die relative Herzfrequenz ist umso höher und steigt über die Arbeitszeit stärker an, je älter die Mitarbeiter sind. Die Konstante der Regressionsgeraden der relativen Herzfrequenz unterscheidet sich in Bezug auf das Alter signifikant ($p=0,004$).

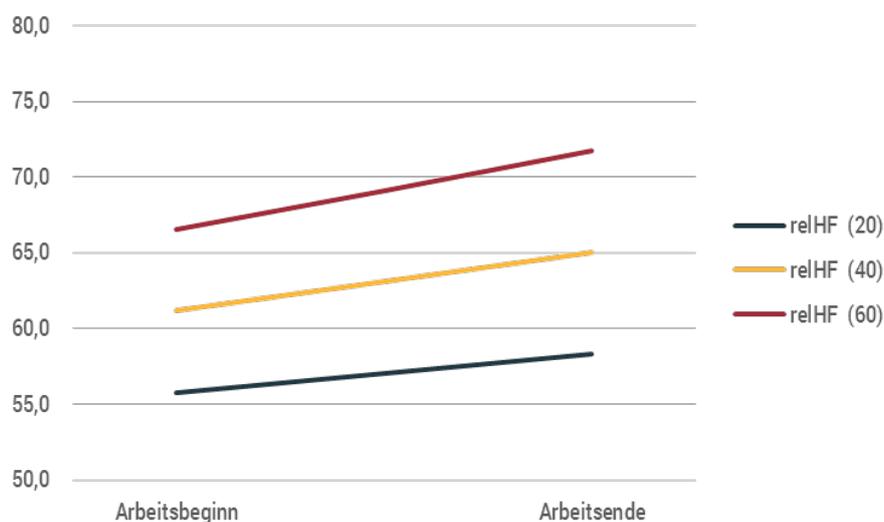


Abbildung 2: Höhe und Verlauf der relativen Herzfrequenz für eine vierstündige Arbeitszeit mit geringer Belastung für Mitarbeiter unterschiedlichen Alters

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Beanspruchung der Mitarbeiter vom Alter abhängig ist. Diese sollte demnach auch in Bezug auf die Planung, Gestaltung und Auslegung zukünftiger Mensch-Maschine-Schnittstellen einbezogen werden.

3. Manual für intuitive Gestensteuerung in der Mensch-Roboter-Interaktion

In der Fahrzeugendmontage erfolgt durch den Einsatz von neuartigen, sensitiven Robotern, die über Gelenkmoment-Sensorik verfügen, gerade bei ergonomisch ungünstigen oder bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten (z.B. Himmelmontage) eine Produktionsassistenz nicht nur für ältere Beschäftigte (Huber 2017). Waren Robotertätigkeiten in der Vergangenheit von menschlichen Tätigkeiten durch Schutzzäune getrennt (Ebersbacher 2013), erlauben Weiterentwicklungen in Sensorik und Robotik jedoch unlängst auch eine unmittelbare, kollaborative Zusammenarbeit an einem Arbeitsplatz (Charalambous et al. 2015) und damit eine neue Qualität in der Kombination kognitiver Fähigkeiten des Menschen mit der physischen Belastbarkeit des Roboters (Heß & Wagner 2016). Effizienz, Effektivität

und Flexibilität einer solchen kollaborativen Mensch-Roboter-Interaktion wird über die Mensch-Maschine-Schnittstelle bestimmt. Die Bedienung eines robotergestützten Assistenzsystems darf dabei nur einen geringen Zeitaufwand in Anspruch nehmen und muss zusätzlich eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweisen (Pires 2005; Krüger et al. 2009). In diesem Zusammenhang werden auch neuartige Bedienmodalitäten von interaktiven Systemen hinsichtlich ihrer wahrgenommenen Intuitivität erforscht. So werden von Nutzern hervorgebrachte Gestenbefehle und ihre Eignung für verschiedene Manipulations-, Selektions- und Navigationsaufgaben vor dem Hintergrund ihrer späteren Übertragbarkeit auf den industriellen Kontext in den Blick genommen.

Ziel ist dabei die Entwicklung eines zunächst generischen Manuals für die Gestaltung von intuitiven Mensch-Maschine-Schnittstellen, die mit Freihandgesten steuerbar sind. So ist es denkbar, dass das Teaching eines Roboters in der Montage zukünftig ausschließlich über Gestenbefehle erfolgt, der Roboter nach der Aufforderung mittels Zeigegeste bestimmte Koordinaten von Teilen ansteuert und dort definierte Aufgaben verrichtet oder eine ausgestreckte Hand dem Roboter vermittelt, seine Aktion sofort abubrechen. Diese Befehle müssen zum einen vom Robotersystem ohne Fehler interpretiert werden und zum anderen für den Werker intuitiv hervorgebracht, d.h. möglichst leicht erlern- bzw. erinnerbar sein. Intuitiv sind Gestenkommandos, wenn sie auf konventionalisierten Alltagsgesten der zwischenmenschlichen Kommunikation gründen (Seeling et al. 2016). Praktiker finden in diesem Manual für als typisch definierte Selektions-, Manipulations- und Navigationsaufgaben von Nutzern mittels Freihandgesten hervorgebrachte Bedienstrategien, etwa für das Auslösen von Funktionen, das Verschieben von Objekten oder das Löschen bzw. Zurücksetzen von Zuständen. Diese auf Basis von Ähnlichkeit zu Typen zusammengefassten Gestenbefehle werden durch weitere in Nutzertests erhobene Daten wie etwa dem subjektiv wahrgenommenen Komfort- und Belastungsempfinden sowie der Fähigkeit der Probanden, sich an das dargebotene Gestenkommando zu erinnern, im Manual näher beschrieben (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Ausschnitt aus Gestenmanual zur Entwicklung intuitiver, gestenbasierter Mensch-Maschine Schnittstellen

Das Manual vermittelt Entwicklern Orientierungswissen, um Gestenvokabulare in interaktive Systeme zu implementieren, die von Nutzern als intuitiv wahrgenommen werden, weil sie auf realweltlichen Objektgebrauchsgesten der Nutzer gründen. Ein zukünftiger Schritt stellt die Erweiterung des allgemeinen Manuals auf spezifische Szenarien digitalisierter Produktionsbereiche dar.

4. KMU-tauglicher Prozessleitfaden zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen 4.0

Mit der Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Menschen entstehen neue Möglichkeiten, um Mitarbeiter bei ihren Arbeitsaufgaben in der Produktion zu unterstützen (Botthof & Hartmann 2015). Um einen erfolgreichen Transfer von Forschungsergebnissen zu gewährleisten, sind kostengünstig herzustellende Prototypen ein Erfolgsfaktor für die Einführung von Industrie 4.0-Technologien in KMU (Bischoff 2015). Für Produktentwicklungen im Bereich der Industrie 4.0 wurde daher ein Prozessleitfaden zur Erstellung von so genannten Low-Cost-Prototypen für den Bereich der digitalisierten Produktion erstellt. Der Fokus lag dabei auf Systemen für die Instandhaltung, da Instandhalter in Unternehmen zumeist ortsveränderlich arbeiten und für die Erfüllung ihrer Aufgaben überall Zugriff auf kontextspezifische Informationen zu Maschinen und Anlagen benötigen. Mit dem Einsatz mobiler Endgeräte besteht die Möglichkeit, der Komplexität steigender Datenmengen infolge der zunehmenden Digitalisierung zu begegnen und relevante Informationen gefiltert bereit zu stellen (Botthof & Hartmann 2015). Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser mobilen Assistenzsysteme, zu denen neben den haptischen Bedienelementen zur Manipulation von grafischen User Interfaces, auch die Hardware zur Handhabung (Griffe, Stell- und Transportvorrichtungen) gefasst werden (Wächter & Bullinger 2017), gewährleistet eine sichere Bedienung von Industrie 4.0-Technologien und steigert die Akzeptanz des Anwenders (Gorecky et al. 2017).

Zur methodischen Konstruktion des Prozessleitfadens fand eine strukturierte Literaturrecherche zu anerkannten Design-Prozessschritten statt (Wächter & Schleicher 2017). Daraus wurden für den Leitfaden zur Gestaltung eines Low-Cost-Prototypen für ein mobiles Assistenzsystem in der Instandhaltung die in Abbildung 4 dargestellten Prozessschritte abgeleitet.

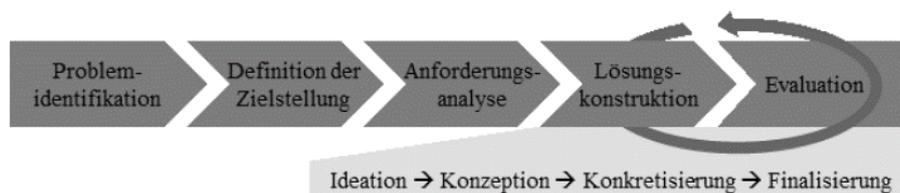


Abbildung 4: Leitfaden zur Entwicklung eines Gestaltungsprozesses gebrauchstauglicher Low-Cost-Prototypen

Im Rahmen der Problemidentifikation sind das Feld, in dem das System oder Produkt gestaltet werden soll und daran anschließend die Zielstellung inklusive späterer Erfolgsmessungskriterien zu definieren. Die kontextspezifischen Anforderungen sind notwendigerweise mit den zukünftigen Nutzern zu analysieren, um letztlich einen nutzerorientierten Anforderungskatalog ableiten zu können. Die Schritte der Lösungskonstruktion (Teilschritte, Exploration und Prototyping) und der

Evaluation erfolgen in den Phasen Ideation, Konzeption, Konkretisierung und Finalisierung iterativ. Innerhalb der Anforderungsanalyse des entwickelten Gestaltungsleitfadens wurden in der Hauptsache Expertenbefragungen und Beobachtungen berücksichtigt sowie Interviews mit Instandhaltern der Automobil- und Zuliefererindustrie durchgeführt. Daraus abgeleitet wurde, dass ein geringgewichtiges Tablet-artiges Assistenzsystem mit einer Displaygröße von acht bis zehn Zoll benötigt wird, das intuitiv mittels Fingergesten zu bedienen sein soll und unempfindlich gegenüber Stürzen oder Verschmutzungen mit Öl oder Wasser ist. Darüber hinaus soll das Assistenzsystem auch mit physischen Bedienelementen steuerbar sein sowie die Möglichkeit bieten, während des Instandhaltungsprozesses auf ebenen Flächen abstellbar oder an Maschinen anheftbar zu sein.

Die Lösungskonstruktion fokussiert die technische Gestaltung des Geometrie-prototyps unter Berücksichtigung der erhobenen Anforderungen. Zunächst erfolgt dazu in einem ersten Schritt die Anpassung des Geometrieprototyps als Basis für die Integration der notwendigen Technik. Die prototypische Herstellung der Griffe mittels 3D-Druck bildet die Grundlage für die Aufnahme eingebetteter Systeme zur Abbildung der im Lastenheft fixierten Anforderungen der Instandhalter. Der zweite Schritt ist entlang der Empfehlungen von Goll (2011) zur prototypischen Entwicklung eines eingebetteten Systems zu vollziehen. Dafür findet unter Berücksichtigung der Zieleigenschaften (u.a. Zuverlässigkeit, Wartbarkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit, Laufzeit-Effizienz, Gewicht und Preis) (Marwedel 2007) die Auswahl der notwendigen Komponenten statt.

Durch die Verwendung von einfacher hardware- und softwaretechnischen Bausätzen wie Joysticks, Drucktaster und Open-Source-Mikrocontrollern lassen sich realistische Low-Cost-Prototypen auch in KMU gestalten. Diese physischen Prototypen vermitteln eine realistische Einschätzung der Handhabung und Interaktionsmöglichkeiten eines zukünftigen Systems, was die Bewertbarkeit der Gestaltungsergebnisse v.a. hinsichtlich des Faktors Gebrauchstauglichkeit begünstigt (Hartson & Pyla 2016). Aus der Bewertung der als notwendig eingeschätzten Bauteile können u.a. mit einem Mikrocontroller als Systemsteuereinheit, Bluetooth-Bauteilen als kabellose Verbindungsart zwischen den Griffen und Tablet-PC sowie Drucktastern als Eingabelemente die notwendigen Komponenten ausgewählt werden. Zusammengesetzt resultiert daraus ein funktionsfähiger Low-Cost-Prototyp eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter (Abbildung 5).



Abbildung 5: Funktionsfähiger Low-Cost-Prototyp eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter

Die vergleichende Evaluation der Prototypen und bestehender Lösungen findet im Rahmen von Usability-Tests statt. Geprüft wird, mittels welcher Lösung die gestellten Aufgaben von Instandhaltern effizienter absolviert werden können und wie Prototyp und bestehende Tablet-Lösung hinsichtlich der Usability bewertet werden. Für die kumulierte Bearbeitungsdauer der Aufgaben von Low-Cost-Prototyp und bestehenden Lösungen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Aus der Analyse der qualitativ erhobenen Daten zur wahrgenommenen Usability lässt sich jedoch folgern, dass mit zunehmender Übung eine sicherere und effizientere Bedienung der Softwareoberfläche mit den physischen Bedienteilen des Prototyps möglich ist. Insgesamt werden nach der Wahrnehmung der Probanden die Aufgaben mittels physischer Bedienteile des Prototyps schneller absolviert. Die Eignung des Low-Cost-Prototyps wird mittels der Analyse der Fragebogendaten gestützt: Die Auswertung des SUS-Fragebogens zeigt, dass Instandhalter den Low-Cost-Prototyp mit $M=88,75$ ($SD=7,27$) signifikant ($p<0,01$) besser als den Tablet-PC mit $M=68,25$ ($SD=11,73$) bewerten.

Auch hinsichtlich des Faktors Produktwahrnehmung, nach Thüring & Mahlke (2007) ein Bestandteil des Konstruktes User Experience, also des Nutzungserlebens von Produkten, ist zu konstatieren, dass der Prototyp in jeder den Faktor konstituierenden Kategorie von den Instandhaltern besser bewertet wird als die bestehende Lösung (Abbildung 6).

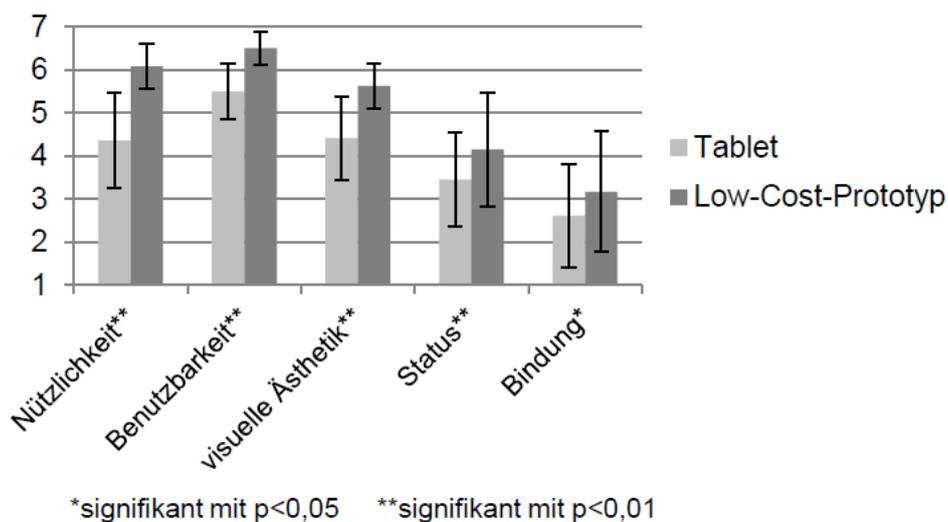


Abbildung 6: Ergebnisse der Produktwahrnehmung im Vergleich

Die exemplarische Gestaltung eines gebrauchstauglichen Low-Cost-Prototyps am Beispiel eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter zeigt die Anwendbarkeit des entwickelten gestaltungorientierten Leitfadens für die Konstruktion gebrauchstauglicher Low-Cost-Prototypen. Es konnte gezeigt werden, dass sich Low-Cost-Prototypen für den Vergleich von neuartigen Mensch-Maschine-Schnittstellen mit bestehenden Lösungen des Produktionsbereichs eignen. Bereits günstige Prototyping-Technologien wie 3D-Druck ermöglichen eine gute Vergleichbarkeit und stellen damit die Möglichkeit für KMU dar, ihre tradiert eingesetzten Lösungen mit als Prototypen umgesetzten aktuellen digitalen Technologien zu vergleichen.

5. Beispiele zukünftiger Interaktionsmodi

Die zukünftigen Interaktionsmodi im Bereich der Industrie 4.0 sind vielfältig und eröffnen weitere technologische Innovationen. Als Exkurs sollen dabei die Möglichkeiten der Digitalisierung und Vernetzung um die technologischen Entwicklungen von 3D-Technologien erweitert werden und unter dem Gesichtspunkt arbeitswissenschaftlicher Industrie-4.0-Fragestellungen in Einklang gebracht werden: Wie im Kapitel II bereits geschildert verschwimmen die Grenzen von Roboterarbeit und manuellen Tätigkeiten (Eberbacher 2013; Charalambous et al. 2015). Neben der beschriebenen gestenbasierten Steuerung der Mensch-Roboter-Kooperation sind auch aktive Zusammenarbeiten relevant, in denen beispielsweise zwischen Mensch und Roboter Übergaben von Lasten stattfinden. Die Planung solcher Mensch-Roboter-Kooperationen kann zukünftig computerbasiert in Virtual (VR)- oder Augmented-Realityumgebungen (AR) erfolgen (Abbildung 7, links). Dabei ist es möglich, Fertigungslinien mittels VR zu planen und diese unmittelbar in der realen Umgebung mittels AR-Brillen zu betrachten. Innerhalb dieser Umgebungen können zudem ergonomierelevante Daten aus erweiterten digitalen Mensch-Modellen visualisiert werden (Abbildung 7, rechts). Daten aus der Modellierung der maximalen menschlichen Muskelmomente auf Basis sphärischer Maximalmomentkörper ermöglichen eine verbesserte, kraftrichtungs- und gelenkwinkelabhängige Berechnung maximaler Aktionskräfte. Durch diese Informationen können Übergabeprozesse von Bauteilen zwischen Mensch und Roboter besser an die Varianz des Menschen und an die Varianz von Kraft und Kraftrichtung angepasst und optimiert werden (Kaiser 2017).

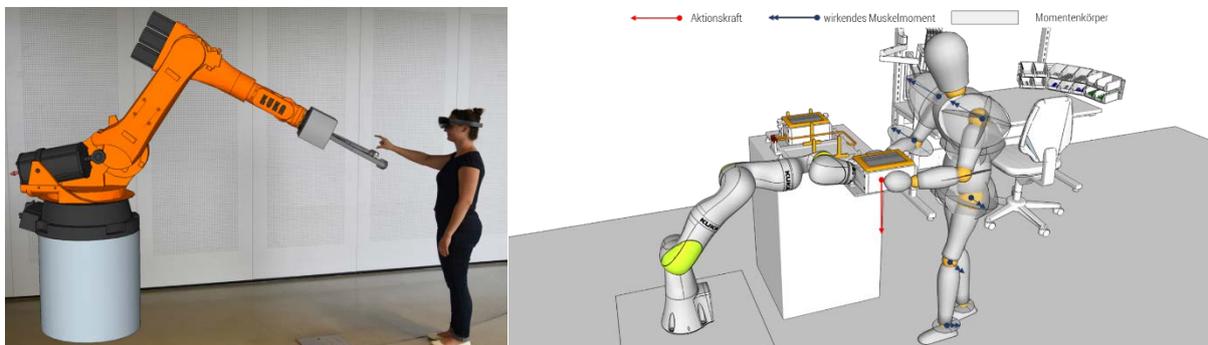


Abbildung 7: (links) AR-Planung am Beispiel eines Roboters; (rechts) Visualisierung maximaler Aktionskräfte in Abhängigkeit der Körperhaltung bei der Übergabe von Lasten von Roboter zu Mensch

Weiterhin können Anlernprozesse für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter vereinfacht und im Entwicklungsprozess vorgelagert werden, in dem Algorithmen virtuell getestet und Mitarbeiter noch vor Inbetriebnahme geschult werden (Eckes & Wagner 2006). Zudem lassen sich in diesen Umgebungen Interaktionskonzepte wie Sprach- und Gestensteuerung sowie Rückmeldungsmöglichkeiten wie die Akustik, visuelle Einblendungen oder taktiles Feedback virtuell testen.

Das taktile Feedback kann auch durch einen Vortex-Generator realisiert werden (Bernhagen et al. 2016). Bei diesem Generator tritt Luft durch Kompression aus einer kreisförmigen Öffnung aus, wobei im Randbereich der Öffnung ein stabiler Luftwirbel entlang einer ringförmigen Achse entsteht. Beim Auftreffen auf der Hand ergibt sich

dabei eine taktile Rückmeldung (siehe Abbildung 8). Diese soll den Anwender bei berührungslosen Gesteninteraktion unterstützen und dadurch den Nachteil des Entfallens von haptischen Rückmeldungen in virtuellen Umgebungen mindern.

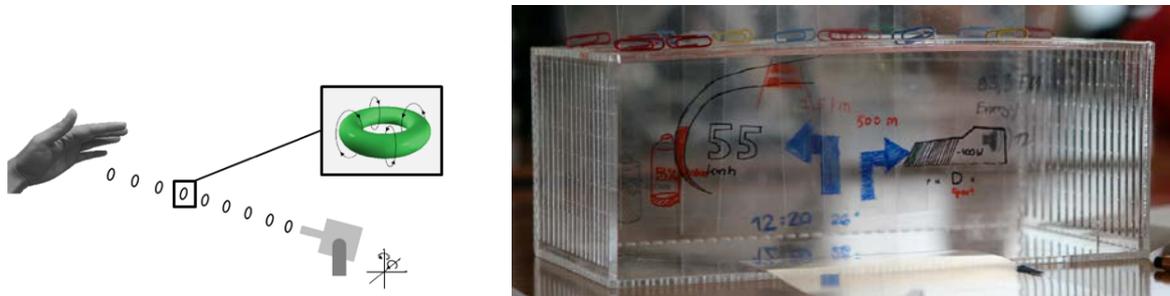


Abbildung 8: (links) Funktionsprinzip des Vortex-Generators; (rechts) FrameBox für 3D-Visualisierungen

Aussichtsreich erscheint darüber hinaus das direkte Visualisieren von 3D-Darstellungen auf sogenannten autostereoskopischen Displays. Diese Art von Monitoren benötigt keine weiteren Hilfsmittel wie 3D Brillen für einen echten Tiefeneindruck einer 3D-Szene und kann in einem spezifischen Anwendungsfall wie dem Maschinen- und Fahrzeugbau als dreidimensionale Visualisierung einer CAD-Zeichnung oder in der Qualitätssicherung nutzergerecht zur Anwendung kommen. Die Gebrauchstauglichkeit kann nach dem in Kapitel 4 dargestellten Prozess sichergestellt werden. Ein einfacher Low-Cost-Prototyp ist in Abbildung 8 (rechts) dargestellt. Mit Hilfe einer sogenannten FrameBox kann ein erstes Design festgelegt werden, bevor die eigentliche Programmierung des Displays vorgenommen wird. Zwischen mehreren, dicht hintereinander gestaffelten Acrylglasplatten können einzelne Folien mit Informationselementen eingefügt werden und ergeben ein wie in Abbildung 8 dargestelltes dreidimensionales User-Interface.

6. Diskussion

Die vorgestellten Beispiele tragen zu Gestaltungsempfehlungen für intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen in Produktionsbereichen durch Gestensteuerung sowie Prozessleitfäden für Prototypenerstellung in KMU bei. Weiterhin legt die Arbeitswissenschaft Grundlagen für die Gestaltung der Arbeit von Morgen, indem der demographische Wandel nicht nur gesamtgesellschaftlich, sondern speziell in der Produktion untersucht wird. Damit ist bereit, auch zukünftige Fragestellungen der Industrie 4.0 durch neuartige Forschungsmethoden und -ansätze zu untersuchen und zu beantworten. Für KMU wird dadurch ein praxisnahes und speziell für die Fragestellungen der Industrie 4.0 angepasstes Wissens- und Methodenangebot erarbeitet, das über die Mittelstand-4.0-Kompetenzzentren in den Maschinen- und Fahrzeugbau und darüber hinaus vermittelt werden und schließlich die Basis für eine Umsetzung in den Unternehmen sein kann.

Im Sinne einer globalisierten Wettbewerbsfähigkeit sind die Unternehmen dazu angehalten, ein Teil der vierten industriellen Revolution zu sein oder es zu werden. Es erfolgt ein Wandel, der weit über die Digitalisierung und Vernetzung von Anlagen, Prozessen und Informationen hinausgeht. Möglichkeiten wie geteilte Fabriken,

„Shared-Factories“, in denen sich mehrere KMU durch gemeinsam nutzbare Produktionseinheiten zusammenfinden, Ideen und Projekte austauschen und somit einen ressourceneffizienten und nachhaltigen Produktionsprozess für hochinnovative Produkte erschaffen, werden somit möglich. Der Mensch als Teil des wertschöpfenden Produktionssystems muss jedoch stets einbezogen werden, um eine schnelle und fortwährende Veränderung der Industriekultur zu erreichen. Es gilt, die natürlichen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften des Menschen im Industrie 4.0-Kontext innerhalb der praxisnahen Disziplin der Arbeitswissenschaft weiter zu erörtern und die Erkenntnisse den produzierenden KMU zu Verfügung zu stellen. Der Wandel muss durch die Arbeitswissenschaft zum kontinuierlichen Fortschritt der Mensch-Maschine-Interaktion gestaltet werden.

7. Literatur

- Bernhagen M, Trezl J, Hertwig D, Dittrich F (2016) Umsetzung einer natürlichen Interaktion mittels Head-Mounted-Display unter Einbezug von taktilen Rückmeldungen. In: Weyers B, Dittmar A (Hrsg.) Mensch und Computer 2016 – Workshopband. Aachen: Gesellschaft für Informatik e. V..
- Bischoff J (2015) Erschließen der Potenziale der Anwendung von „Industrie 4.0“ im Mittelstand. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- BITKOM, Fraunhofer IAO, Industrie 4.0 (2014) Volkswirtschaftliche Potentiale für Deutschland.
- Botthof A, Hartmann EA (2015) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Charalambous G, Fletcher S, Webb P (2015) The Development of a Scale to Evaluate Trust in Industrial Human-robot Collaboration. *International Journal of Social Robotics*, 8 (2) S. 1-17.
- DIN EN ISO 6385 (2016). Ergonomics principles in the design of work systems. Genf: International Organization for Standardization.
- Eckes R, Wagner R (2006) Einsatz von Augmented Reality im Ramp-Up Prozess von automatisierten Fertigungssystemen. In: Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung, Paderborn: Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts.
- Fraunhofer-Institut für sichere Informationstechnologie (2013) Eberbacher Gespräch zu „Sicherheit in der Industrie 4.0“. Darmstadt.
- Gibcus P, Stam E, Telussa J (2006) Entrepreneurship, Dynamic Capabilities and New Firm Growth. Accessed August 24, 2017. <http://ondernemerschap.panteia.nl/pdf-ez/h200623.pdf>
- Goll J (2011) Methoden und Architekturen der Softwaretechnik, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Gorecky D, Schmitt M, Loskyll M (2017) Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. Handbuch Industrie 4.0. Allgemeine Grundlagen. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Hartson R, Pyla PS (2016) The UX book- Process and guidelines for ensuring a quality user experience. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Heß P, Wagner M (2015) Mensch-Roboter-Kollaboration in der Fertigung der Zukunft. *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110 (11), S. 755-757.
- Huber W (2017) Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ilmarinen J (2005) Towards a longer worklife!: Ageing and the quality of worklife in the European Union. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, Ministry of Social Affairs and Health. Retrieved from <http://www.worldcat.org/oclc/71328265>
- Kenny GP, Yardley JE, Martineau L, Jay O (2008) Physical work capacity in older adults: implications for the aging worker. *American journal of industrial medicine*, 51(8), S.610-625.
- Krüger J et al. (2009) Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 54 (1), S. 19 -22.
- Marwedel P (2007) Eingebettete Systeme, Berlin: Springer.
- Morschhäuser M (2002) Betriebliche Gesundheitsförderung angesichts des demographischen Wandels. In: M. Morschhäuser (Hrsg.) Öffentlichkeits- und Marketingstrategie demographischer Wandel. *Gesund bis zur Rente. Konzepte gesundheits- und altersgerechter Arbeits- und Personalpolitik*. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, S. 10-21.
- Pires JN (2005) Semi-autonomous manufacturing systems: The role of the human-machine interface software and of the manufacturing tracking software. *Mechatronics* 15 (10), S. 1191-1205.
- Rohmert W (1983) Formen menschlicher Arbeit. In: W. Rohmert & J. Rutenfranz (Hrsg.), *Praktische Arbeitsphysiologie*. 3. Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.

- Schlick CM, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Seeling T, Bullinger AC, (2016): Natürliche User Interfaces durch das Einbeziehen von Nutzern gestalten. Implikationen für ein Entwickler-Gestenmanual. Mensch-Technik-Interaktion im Industrie 4.0 Zeitalter, Tagungsband 8. VDI/VDE Fachtagung USEWARE.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2014) Erwerbsquote in der Altersgruppe 60+ steigt deutlich. Retrieved from <https://de.statista.com/infografik/1937/erwerbsquote-bei-arbeitnehmern-ab-45-jahren/>
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015a) Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Accessed August 24, 2017. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/BevoelkerungDeutschland2060Presse5124204159004.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015b) Bevölkerungspyramide. Accessed August 24, 2017. <https://service.destatis.de/bevoelkerungspyramide/>
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017) Erwerbstätige sind im Durchschnitt 43 Jahre alt. Accessed August 24, 2017. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/zdw/2017/PD17_26_p002.html
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017) Geburtenziffer in Deutschland weiterhin unter EU-Durchschnitt. Accessed August 24, 2017. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2017/05/PD17_159_126.html
- Thüring M, Mahlke S (2007) Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology* (4), S. 253–264.
- Wächter M, Bullinger AC (2016) Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS für Industrie 4.0 – ein Leitfaden für Planer und Entwickler von mobilen Produktionsassistenzsystemen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(2), 82–88. doi:10.1007/s41449-016-0020-0.
- Wächter M, Schleicher T, Bullinger AC (2017) Strukturierter Literatur-Review als Werkzeug der Arbeitswissenschaft. *Arbeit*, Band 26. In Veröffentlichung.
- Wübbeke C (2005) Der Übergang in den Rentenbezug im Spannungsfeld betrieblicher Personal- und staatlicher Sozialpolitik. *Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: Vol. 290*. Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Fokus Mensch im Maschinen- und Fahrzeugbau 4.0

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Institut für Betriebswissenschaften und
Fabriksysteme / TU Chemnitz

ICM - Institut Chemnitzer Maschinen-
und Anlagenbau e.V.

28. und 29. September 2017

GfA Press

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
vom 28. und 29. September 2017, Chemnitz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2017
ISBN 978-3-936804-23-2

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)
erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet,
den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Isabell Grundmann

Screendesign und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de