

Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS für Industrie 4.0 – ein Leitfaden für Planer und Entwickler von mobilen Produktionsassistenzsystemen

Michael Wächter¹ · Angelika C. Bullinger¹

Online publiziert: 29. Juli 2016
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Zusammenfassung In Folge der vierten industriellen Revolution sowie der zunehmenden Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Menschen entstehen neuartige Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS), z. B. in Form von mobilen Produktionsassistenzsystemen. Eine intersubjektiv nachvollziehbare Vorgehensweise bei der Gestaltung sichert dabei gebrauchstaugliche und durch die Nutzer akzeptierte mobile MMS. Im Artikel wird eine solche Vorgehensweise in Form eines Leitfadens zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS (tMMS) präsentiert, der, verortet im Forschungsparadigma der gestaltungsorientierten Forschung (DSR), Wissenschaft und Praxis bei der Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS für Anwendungen in Industrie 4.0 umsetzungsnah unterstützen kann.

Praktische Relevanz Zur Gestaltung hochgebrauchstauglicher tangibler MMS für mobile Anwendungen im Rahmen von Industrie 4.0 wird ein anwendungsbereiter Leitfaden vorgestellt. Diese strukturierte und methodisch unteretzte Vorgehensweise hilft u. a. Planern und Entwicklern von Produktionsassistenzsystemen bei der Entwicklung und Evaluation von tMMS.

Schlüsselwörter Industrie 4.0 · Tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle · Gebrauchstauglichkeit · Design Science Research

Designing tangible HMI in industry 4.0 – a guideline for planners and developers of mobile production-assistance-systems

Abstract As a result of the fourth industrial revolution and the increasing networking of machines and humans new human-machine interfaces (HMI), i. e. mobile Production-Assistance-Systems, arise. The design of highly utilizable and user-accepted mobile HMI needs an intersubjective approach. This article describes the development of such a guideline for the design of usable tangible HMI (tHMI), based on Design Science Research (DSR) and using the methods of Usability Engineering. The conceptual proceeding further provides hints for science and practical applications with the goal of designing utilizable tHMI and also gives an outlook regarding further research questions.

Practical Relevance This article presents the design of highly utilizable human-machine interfaces for mobile applications within the frame of the internet of things. The methodically structured approach primarily assists planners and developers of Production Assistance Systems in the design as well as evaluation of tHMI.

Keywords Industry 4.0 · Tangible human-machine-interface · Usability · Design Science Research

Einleitung

Im Zuge der vierten industriellen Revolution entstehen neue Vernetzungsmöglichkeiten zwischen Anlagen, Maschinen und Menschen, die mit der Neukonzeption von Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) einhergeht (Botthof und Hartmann 2015).

✉ Michael Wächter
michael.waechter@mb.tu-chemnitz.de

¹ Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, Technische Universität Chemnitz, 09107 Chemnitz, Deutschland

Solche MMS können eine *grafische Benutzerschnittstelle* (GUI) zur Interaktion des Bedienders mit der installierten Software sowie eine *tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle* (tMMS) zur Interaktion mit der Hardware umfassen. Unter tMMS werden dabei in Erweiterung des Begriffs des *Tangible User Interface* (TUI), d.h. den haptischen Bedienelementen zur Manipulation der GUI, auch alle weiteren hardwaretechnischen Funktionselemente zur Handhabung, z. B. Griffe oder Hinstell- und Transportvorrichtungen, gefasst. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser tMMS beinhaltet großes Potenzial zur sicheren Bedienung von Industrie 4.0-Technologien und wird vermutlich deren Akzeptanz durch die Anwender steigern (Bauer et al. 2014).

Ein zentrales Beispiel für neue MMS im Kontext von Industrie 4.0 stellen mobile Endgeräte dar. Ursprünglich für den privaten Gebrauch entwickelt, halten diese zunehmend Einzug in den Produktionsbereich und werden u. a. zur Multimaschinensteuerung eingesetzt (Spath et al. 2013). In der Literatur zum Usability-Engineering lassen sich zwar einige Gestaltungshinweise zur Entwicklung von TUI im stationären Einsatz finden (Bullinger et al. 2013; DIN EN 894-3 2010). Vorgehensweisen zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS für mobile Endgeräte und deren abweichende Anforderungen (VDI 3850 2015) fehlen jedoch. Diese Lücke überrascht angesichts der Anzahl und Innovationshöhe von Produkt- und Produktionsveränderungen im Rahmen von Industrie 4.0.

Um diese Lücke zu schließen, wird im vorliegenden Artikel ein wissenschaftlich hergeleiteter, zur Anwendung durch Praktiker aufbereiteter Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS für Industrie 4.0-Technologien vorgestellt. Der Leitfaden basiert auf dem Paradigma gestaltungsorientierter Forschung (DSR) nach Hevner et al. (2004).

Anschließend an eine knappe Präsentation der zugrundeliegenden strukturierten Literaturrecherche wird der Leitfaden am Beispiel der Gestaltung einer gebrauchstauglichen tMMS eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter vorgestellt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf schließen den Artikel.

Stand der Wissenschaft

Die strukturierte Literaturrecherche im Untersuchungsfeld orientiert sich an Creswell (2009) und besteht aus 12 Schritten, verteilt auf die vier Phasen: *Festlegung der Suchstrategie*, *Abgrenzung des Suchfeldes*, *Auswahl und Kategorisierung* sowie *Finalisierung der Datengrundlage*.

Im ersten Schritt erfolgte die Identifizierung der Kernbegriffe Design Science Research, Hardware und Usability. Da aus der Kombination der drei Themenbereiche nur eine

geringe Anzahl an Veröffentlichungen hervorging, wurden im weiteren Verlauf die Datengrundlage D1 von Design Science und die kombinierte Datengrundlage D2 von Hardware und Usability analysiert. Dazu erfolgte zunächst die Untersuchung der Publikationen auf Relevanz der Titel, des Abstracts sowie des Beitrages. Die Erweiterung der Datengrundlagen um relevante Literaturquellen der verbliebenen Veröffentlichungen komplettiert den Suchvorgang.

Als Grundlage resultieren 54 Publikationen für Design Science Research (D1A) sowie 24 Publikationen für Hardware und Usability (D2A). Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Literaturanalyse näher erläutert.

Design Science Research beschreibt ein pragmatisches Forschungsparadigma zur Lösung von praxisrelevanten Problemstellungen mit Hilfe von verschiedenen Gestaltungsmethoden (Hevner 2007). In der letzten Dekade lässt sich eine Zunahme relevanter Literatur zum Thema DSR verzeichnen, ohne dass die Beiträge eine explizite Vorgehensweise für die Gestaltung und Evaluation von Artefakten beschreiben. Fehlende Leitfäden zur Gestaltung und Evaluation von Artefakten wie z. B. tMMS gelten als wissenschaftliche Lücke innerhalb der DSR-Community (Gacenga et al. 2012). Insbesondere zur Evaluation von Artefakten, d.h. der strategischen und methodischen Vorgehensweise, herrscht Uneinigkeit (Carlsson et al. 2011). Bewertungsrichtlinien sind jedoch notwendig, um die wissenschaftliche Stringenz von DSR kontinuierlich zu verbessern (Winter 2008). Die vergleichende Analyse der Design-Prozesse aus der finalisierten Datengrundlage bildet die Basis für die methodische Vorgehensweise innerhalb des Leitfadens. Hierfür wurden die Design-Prozesse hinsichtlich anerkannter Prozessschritte vertieft untersucht (Tab. 1).

Am häufigsten werden in der Literatur die fünf Schritte Problemidentifikation, Definition der Zielstellung, Anforderungsanalyse, Lösungskonstruktion und Evaluation verwendet. Die Schritte Lösungskonstruktion und Evaluation erfolgen dabei iterativ, bis eine zufriedenstellende Gestaltung erreicht wird (Hevner 2007).

Die Veröffentlichungen zu *Hardware-Usability*, dem zweiten Teil der Literaturrecherche, sind den Kategorien Gestaltung und Evaluation von gebrauchstauglicher Hardware zuzuordnen. Dabei umfasst der Begriff *Hardware* die gesamte tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle. Während in der Literatur verschiedene Veröffentlichungen und Normen zur *Gestaltung* von Bedienelementen im stationären Einsatz (Bullinger et al. 2013; VDI 3850 2015; DIN EN 894-3 2010) zu finden sind, fokussieren die Publikationen zur Gestaltung von Funktionselementen vorwiegend auf die Gestaltung von Griffformen und die subjektive Komfortbewertung durch den Anwender (Harit und Dolšak 2013; Kuijt-Evers et al. 2007).

Abhängig vom Entwicklungsstadium können zur *Evaluation* der Hardware-Usability verschiedene qualitative und

Tab. 1 Vergleich der analysierten DSR-Prozesse
Table 1 Comparison of the analyzed DSR processes

Autor(en)	Gemeinsame Elemente im DSR-Prozess							
	Problem-identifikation	Definition der Zielstellung	Anforderungsanalyse	Entwicklung des Artefakts	Demonstration	Evaluation des Artefakts	Kommunikation	Implementierung
Takeda et al. (1990)	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Nunamaker und Chen (1990)	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Hevner et al. (2004)	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten
Walls et al. (2004)	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Venable (2006)	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Gregor und Jones (2007)	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten
Peppers et al. (2007)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten
Baskerville et al. (2009)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten
Österle und Otto (2010)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten
Carlsson et al. (2011)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Piirainen und Briggs (2011)	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten
Sein et al. (2011)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Kuechler und Vaisnavi (2012)	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Enthalten	Nicht enthalten	Nicht enthalten
Ostrowski et al. (2012)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten
Weber et al. (2012)	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Enthalten	Nicht enthalten

quantitative Methoden zum Einsatz kommen. Qualitativ eignen sich Heuristiken zur Bewertung erster Gestaltungsentwürfe im Rahmen einer iterativen Gestaltung, lassen den Anwender allerdings außen vor (Nielsen 1993). Die Methoden Fokusgruppe und Lautes Denken ermöglichen die Verbalisierung der Gedanken zum Untersuchungsgegenstand durch den Anwender und werden häufig zur Evaluation von MMS verwendet (Sarodnick und Brau 2006). Zur Erhebung quantitativer Aussagen können anerkannte Fragebögen, wie der System Usability Scale (SUS) von Brooke (1996) zur Bewertung der System-Usability sowie der Comfort Questionnaire for Handtools (CQH) nach Kuijt-Evers et al. (2004) zur Bewertung des Komforts von Griffformen zum Einsatz kommen. Zur Evaluation von funktionstüchtigen Prototypen werden bevorzugt Usability-Tests verwendet, um die umgesetzten Funktionen an realistischen Aufgabenstellungen zu erproben (Sarodnick und Brau 2006). Dieses Repertoire an Werkzeugen bil-

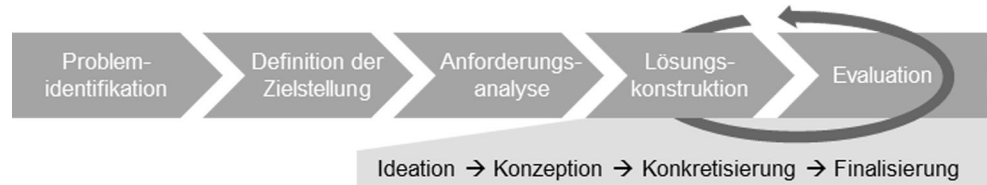
det die Grundlage für die methodische Ausgestaltung des Leitfadens.

Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS

Abgeleitet aus den identifizierten Prozessschritten der analysierten DSR-Prozesse umfasst der Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS die fünf Prozessschritte Problemidentifikation, Definition der Zielstellung, Anforderungsanalyse sowie iterative Lösungskonstruktion und Evaluation (Abb. 1).

Zur besseren Illustration wird nachfolgend eine beispielhafte Anwendung des Leitfadens bei der Gestaltung einer gebrauchstauglichen tMMS präsentiert. Die tMMS ist ein mobiles Assistenzsystem für Instandhalter im Produktionsbereich 4.0.

Abb. 1 Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS
Fig. 1 Guideline for the design of usable tHMI



Tab. 2 Überblick zur iterativen Lösungskonstruktion und Evaluation
Table 2 Overview for the iterative design and evaluation

			Ideation	Konzeption	Konkretisierung	Finalisierung
Lösungs-konstruktion	Exploration	Grundlage	Anforderungskatalog	Kombinierter Gestaltungsentwurf	Abgestimmtes Konzeptmodell	Abgestimmter Geometrieprototyp
		Teilnehmer	Nicht-Anwender	Experten der Produktergonomie		
		Methoden	Fokusgruppe, Brainstorming	Fokusgruppe, DIN EN 894-3	Fokusgruppe, Morphologie	Fokusgruppe
	Prototyping	Zwischenergebnis	Gestaltungsideen	Konzeptentwürfe	Konzeptvarianten	Angepasster Geometrieprototyp
		Teilnehmer	Nicht-Anwender	Experten der Produktergonomie		
		Methoden	Fokusgruppe, Modelliermasse	CAD, 3D-Druck, DIN 33402-2		CAD, 3D-Druck
Evaluation		Zwischenergebnis	Gestaltungsentwürfe	Physische Konzeptmodelle	Geometrieprototypen	Funktionsprototyp
		Teilnehmer	Experten der Produktergonomie	Anwender, Nicht-Anwender	Anwender	
		Methoden	Fokusgruppe, Heuristik	Fokusgruppe, Lautes Denken, Fragebögen		Usability-Test, Fragebögen
		Ergebnis	Kombinierter Gestaltungsentwurf	Abgestimmtes Konzeptmodell	Abgestimmter Geometrieprototyp	Evaluierteter Funktionsprototyp

Problemidentifikation und Definition der Zielstellung

Vor dem Hintergrund ihres orteungebundenen Einsatzes und den steigenden Datenmengen durch die Digitalisierung benötigen Instandhalter den mobilen Zugriff auf kontextspezifische Informationen zu Maschinen und Anlagen. Aktuell verfügbare mobile Endgeräte für den industriellen Einsatz decken zwar den Bedarf nach z. B. Stoßfestigkeit und Wasserdichte, besitzen allerdings hohes Verbesserungspotential bei der Integration produktionsspezifischer Anforderungen, die sich aus den Veränderungen im Produktionsbereich durch Industrie 4.0 und den Anforderungen der Nutzer ergeben. Es ist daher das Ziel, eine gebrauchstaugliche tMMS des mobilen Assistenzsystems zu entwickeln, das diesen Anforderungsgerecht wird.

Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse erfolgt die Ermittlung der kontextspezifischen Anforderungen an die zu entwickelnde tMMS. Hierzu zählen neben den subjektiven Bedürfnissen der Anwender auch Rahmenbedingungen, die sich aus den Tätigkeiten und dem Arbeitsablauf

(DIN 31051 2012) ergeben. Als Ergebnis dieser Phase entsteht ein Anforderungskatalog, der die aufgenommenen Kriterien der Anwender und deren Nutzungskontext umfasst.

Aufbauend auf der Zielstellung, ein mobiles Assistenzsystem für Instandhalter zu entwickeln, wurde eine Anforderungsanalyse in Unternehmen der Automobilindustrie und der Automobil-Zulieferindustrie durchgeführt. Mittels Dokumentenanalysen, Expertenbefragungen und Prozessbeobachtungen sowie 18 leitfadengestützten Interviews mit Instandhaltern konnten die Anforderungen an die tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle erfasst werden. Hierbei befürworteten die Befragten den Einsatz eines Tablet-artigen Assistenzsystems mit einer Displaydiagonale von acht bis zehn Zoll. Zudem konnte eine robuste Bauweise (d. h. Unempfindlichkeit ggü. Wasser/Öl/Sturz) für den Einsatz im industriellen Umfeld und eine intuitive Bedienung als nichtfunktionale Anforderungen erfasst werden. Zusätzlich wurden folgende funktionale Anforderungen im Zuge der Beobachtungen identifiziert: aufwandsarme Transportmöglichkeit, Bedienung mittels Touchscreen und physischer Bedienelement sowie Stellbarkeit auf ebenen Flächen sowie Anheftbarkeit an Maschinen und Anlagen während des In-

standhaltungsprozesses. Der resultierende Anforderungskatalog ist die Grundlage für die nächsten Schritte.

Iterative Lösungskonstruktion und Evaluation

Die Lösungskonstruktion (mit den beiden Teilschritten Exploration und Prototyping) und Evaluation erfolgen jeweils in den vier Iterationen *Ideation*, *Konzeption*, *Konkretisierung* und *Finalisierung*. Dabei werden pro Iteration Lösungskonstruktion und Evaluation dem Entwicklungsstand entsprechend angelegt. Die dazu erforderlichen Grundlagen, Teilnehmer, einzusetzende Methoden sowie die Ergebnisse der einzelnen Iterationen sind in Tab. 2 dargestellt.

Ideation

Ziel der Ideation ist die Generierung verschiedener Gestaltungsideen zu den funktionalen Anforderungen als Grundlage für die Phasen der Lösungskonstruktion in den folgenden Iterationen. So werden verschiedene Gestaltungsentwürfe konzipiert, prototypisch umgesetzt und zu einem kombinierten Gestaltungsentwurf zusammengefasst.

Die *Exploration* und das *Prototyping* erfolgen in Fokusgruppen mit jeweils vier bis sechs Nicht-Anwendern, um Vorprägungen zu vermeiden und möglichst viele Ideen generieren zu können. Im Teilschritt der Exploration werden zunächst mittels Brainstorming verschiedene Ideen zur Umsetzung der funktionalen Anforderungen gesammelt und anschließend im Rahmen des Prototyping mit Modelliermasse umgesetzt (Abb. 2). Dabei dient ein Schneidbrett als Tablet-Ersatz und der Einsatz verschiedener Farben zur Unterscheidung der einzelnen Funktionen.



Abb. 2 Beispiel eines kombinierten Gestaltungsentwurfes
Fig. 2 Example of a combined design draft

Anschließend evaluieren Experten der Produktergonomie die vier entstandenen Gestaltungsentwürfe in einer Fokusgruppe mittels heuristischer Bewertung. Die Teilnehmer der Evaluation sollten dabei über mehrjährige Berufserfahrung auf dem Gebiet der Produkt-Usability verfügen.

Konzeption

Um den Einfluss der Griffform auf die Bewertung eines Assistenzsystems zu berücksichtigen, steht in der zweiten Iterationsphase die Entwicklung einer geeigneten Griffform im Mittelpunkt. Dafür werden verschiedene Griffformen auf unterschiedlichen Grundlagen erarbeitet und anschließend durch die Anwender bewertet.

Aufbauend auf Ergebnissen der Literaturrecherche und der Ideation erfolgt während der *Exploration* die Gestaltung von drei verschiedenen Griffformen. Dabei orientiert sich Griffform 1 an den Maßen für Stellteile (VDI 2222 1997) und Griffform 2 an einem aktuell in der Produktion eingesetzten Griff eines mobilen Anlagenpanels. Basierend auf dem kombinierten Gestaltungsentwurf der Ideation, den verwendeten Zufassungsgriff und der anthropometrischen Maße für die Hand (DIN 33402-2 2005), erfolgt anschließend die ergonomische Gestaltung mit Fingermulden von Griff 3 (Abb. 3). Zur Bewertung der verschiedenen Griffe werden diese im Zuge des *Prototypings* mittels 3D-Druck hergestellt und jeweils links und rechts an einem Schneidbrett angebracht. So entstehen in Summe drei verschiedene Prototypen für das Assistenzsystem.

Die *Evaluation* der verschiedenen Griffformen erfolgt mit Nicht-Anwendern und zukünftigen Anwendern im Rahmen von mehreren Fokusgruppen. Die Teilnehmer erhalten

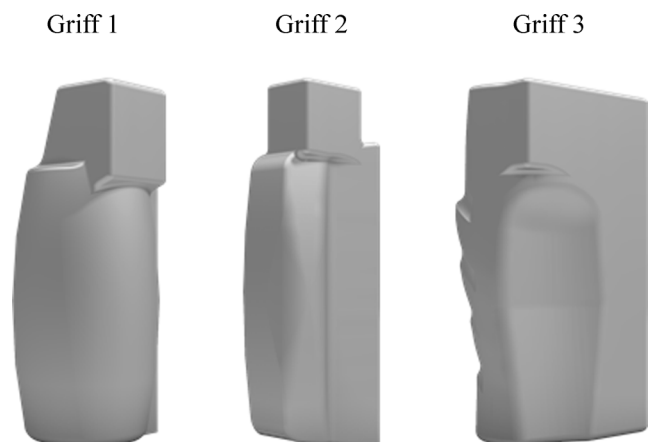


Abb. 3 Verschiedene Varianten der Griffform
Fig. 3 Different handle shapes

jeweils die Aufgabe, den Prototypen mit einer Hand sowie mit beiden Händen zu greifen und die Griffe anschließend mit Hilfe des Fragebogens CQH zu bewerten. Um mögliche Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, erfolgt die Bewertung der verschiedenen Griffformen randomisiert. Anschließend wird, unter Verwendung der Methode „Lautes Denken“, positives und negatives Feedback sowie Verbesserungspotenzial zu den einzelnen Griffen aufgenommen.

Konkretisierung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Konzeption entsteht die finale Griffform als Basis für die Gestaltung aller weiteren funktionalen Anforderungen des Anforderungskatalogs.

Im Rahmen der *Exploration* werden auf Grundlage der vier Gestaltungsentwürfe aus der Ideation verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten der Abstell-Funktion, Anheft-Funktion und der Transportfunktion ausgearbeitet und mit Hilfe eines morphologischen Kastens (VDI 2222 1997) aufbereitet. Diese Vorgehensweise erlaubt die Kombination verschiedener Varianten der einzelnen Anforderungen. Eine Fokusgruppe mit Experten der Produktergonomie destilliert schließlich drei Varianten jeder funktionalen Anforderung bevor diese im Zuge des *Prototyping* mittels 3D-Druck hergestellt werden.

Zur *Evaluation* werden zunächst Fokusgruppen mit den Anwendern zur Bewertung der kombinierten Griffform mittels CQH herangezogen, um eine Vergleichbarkeit mit den Griffen aus der Konzeption zu gewährleisten. Anschließend erhalten die Teilnehmer die Möglichkeit, die verschiedenen Gestaltungsvarianten der funktionalen Anforderungen zu bewerten und ihr Feedback zu geben. Nach der Auswertung der abgegebenen Bewertungen erfolgt die Zusammenstellung der drei am besten beurteilten Gestaltungsvarianten zu Geometrieprototypen. Diese werden in einer zweiten Evaluationsrunde mit den Anwendern diskutiert und mittels System Usability Scale (Brooke 1996) evaluiert.

Finalisierung

In der letzten Iterationsschleife erfolgen aufbauend auf den Evaluationsergebnissen der Konkretisierung letzte Anpassungen im Zuge der *Lösungskonstruktion* und die finale Umsetzung des abgestimmten Geometrieprototyps zu einem Funktionsprototyp. Dieser repräsentiert die aufgenommenen Anforderungen und dient als Grundlage für die *Evaluation* des mobilen Assistenzsystems im Rahmen eines Usability-Tests mit realistischem Anwendungsszenario. Der wiederkehrende Einsatz der eingesetzten Evaluationsmethoden ermöglicht dabei einen Vergleich der verschiedenen Entwicklungsstadien. Die abschließende Bewertung

zeigt die durch die Anwender empfundene Gebrauchstauglichkeit der gestalteten Lösung.

Zusammenfassung und Ausblick

Aufbauend auf der strukturierten Literaturanalyse zu Design Science Research und Hardware – Usability zeigt der vorliegende Beitrag einen konzeptuellen Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler Mensch-Maschine-Schnittstellen (tMMS). Am Beispiel der Gestaltung eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter werden zunächst die Problem- und Zielstellung sowie die methodische Vorgehensweise der Anforderungsanalyse mit den resultierenden Anforderungen an die tMMS dargestellt. Die exemplarische Gestaltung inklusive der einzusetzenden Methoden zeigt die praxistaugliche Anwendbarkeit des Leitfadens.

Wie die beispielhafte Anwendung zeigt, bietet der Leitfaden bietet Planern und Entwicklern bereits jetzt praktische Unterstützung bei der gebrauchstauglichen Gestaltung von tMMS im Rahmen von Industrie 4.0. Wissenschaftlich bedarf es noch weiterer empirischer Erprobungen des Leitfadens mit verschiedenen tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen, um den Leitfaden weiter zu entwickeln und die methodische Vorgehensweise für unterschiedliche tMMS angemessen zu detaillieren und zu generalisieren.

Danksagung Dieser Beitrag wäre ohne die Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unmöglich gewesen (Projekt: S-CPS, FKZ: 02PJ4020 ff).

Literatur

- Baskerville R, Pries-Heje J, Venable J (2009) Soft design science methodology. In: Vaishnavi V, Purao S (Hrsg.) DESRIST '09: Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. ACM, New York, NY, S. Article No. 9
- Bauer W, Schlund S, Marrenbach D (2014) Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: [Studie]. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart
- Botthof A, Hartmann EA (2015) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer, Berlin Heidelberg
- Brooke J (1996) SUS: a „quick and dirty“ usability scale. In: Jordan PW (Hrsg) Usability evaluation in industry. Taylor & Francis, London Bristol, S 189–194
- Bullinger HJ, Jürgens HW, Groner P, Rohmert W, Schmidtke H (2013) Handbuch der Ergonomie: Mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden, 2. Aufl. Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz
- Carlsson SA, Henningsson S, Hrastinski S, Keller C (2011) Socio-technical IS design science research: developing design theory for IS integration management. Inf Syst E-Bus Manag 9(1):109–131
- Creswell JW (2009) Research Design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches, 3. Aufl. Sage, Los Angeles
- DIN EN 894-3 (2010) Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen

- DIN 31051 (2012) Grundlagen der Instandhaltung
- DIN 33402-2 (2005) Ergonomie – Körpermaße des Menschen
- Gacenga F, Cater-Steel A, Toleman M, Tan W (2012) A proposal and evaluation of a design method in design science research. *Electron J Bus Res Methods* 10(2):89–100
- Gregor S, Jones D (2007) The anatomy of a design theory. *J Assoc Inf Syst* 8(5):Article No. 1
- Harih G, Dolšák B (2013) Tool-handle design based on a digital human hand model. *Int J Ind Ergon* 43(4):288–295
- Hevner AR (2007) A Three Cycle View of Design Science Research. *Scand J Inf Syst* 19(2):87–92
- Hevner AR, March ST, Park J, Ram S (2004) Design science in information systems research. *MIS Q* 28(1):75–105
- Kuechler W, Vaishnavi V (2012) A framework for theory development in design science research: multiple perspectives. *J Assoc Inf Syst* 13(6):395–423
- Kuijt-Evers LF, Groenesteijn L, Looze MP de, Vink P (2004) Identifying factors of comfort in using hand tools. *Appl Ergon* 35(5):453–458
- Kuijt-Evers LF, Vink P, Looze MP de (2007) Comfort predictors for different kinds of hand tools: Differences and similarities. *Int J Ind Ergon* 37(1):73–84
- Nielsen J (1993) Usability engineering. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco
- Nunamaker JF, Chen M (1990) Systems development in information systems research. In: 23rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS): Proceedings. IEEE, S. 631–640
- Österle H, Otto B (2010) Consortium research: A method for researcher-practitioner collaboration in design-oriented IS research. *Bus Inf Syst Eng* 2(5):283–293
- Ostrowski L, Helfert M, Xie S (2012) A conceptual framework to construct an artefact for meta-abstract design knowledge in design science research. In: 45th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), S. 4074–4081
- Peppers K, Tuunanen T, Rothenberger MA, Chatterjee S (2007) A design science research methodology for information systems research. *Inform Syst J* 24(3):45–77
- Piirainen K, Briggs RO (2011) Design theory in practice – making design science research more transparent. In: Jain H, Sinha AP, Vitharana P (Hrsg.) DESRIST '11: Proceedings of the 6th International Conference of Design Science Research in Information Systems and Technology. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 47–61
- Sarodnick F, Brau H (2006) Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung, 1. Aufl. Praxis der Arbeits- und Organisationspsychologie. Huber, Bern
- Sein M, Henfridsson O, Purao S, Rossi M, Lindgren R (2011) Action design research. *MIS Quarterly* 35(1):37–56
- Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (2013) Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0 [Studie]. Fraunhofer, Stuttgart
- Takeda H, Veerkamp P, Yoshikawa H (1990) Modeling Design Process. *AI Magazine* 11(4):37–48
- VDI 2222 (1997) Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien
- VDI 3850 (2015) Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen
- Venable J (2006) The Role of Theory and Theorising in Design Science Research. In: DESRIST '06: Proceedings of First International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology
- Walls JG, Widmeyer GR, El Sawy, Omar A (2004) Assessing information system design theory in perspective: how useful was our 1992 initial rendition? *JITTA* 6(2):43–58
- Weber S, Beck R, Gregory RW (2012) Combining design science and design research perspectives – findings of three prototyping projects. In: 45th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), S. 4092–4101
- Winter R (2008) Design science research in Europe. *Eur J Inf Syst* 17(5):470–475