

Partizipative Gestaltung eines gebrauchstauglichen mobilen Assistenzsystems für Instandhalter

Michael Wächter¹, Anne Höhnel¹, Thomas Löffler¹,
Angelika C. Bullinger-Hoffmann¹

¹Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz

Zusammenfassung

Mit dem Einsatz mobiler Produktionsassistenzsysteme entstehen neue Anforderungen an die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS). Solche MMS umfassen eine grafische Benutzerschnittstelle über die Softwareoberfläche (GUI) sowie eine tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle (tMMS) über hardwaretechnische Funktions- und Bedienelemente. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser MMS liefert ein großes Potenzial zur sicheren Bedienung und steigert deren Akzeptanz durch die Anwender. Aufbauend auf den Methoden des Usability Engineering wird die nutzerzentrierte Entwicklung einer gebrauchstauglichen MMS für das Ressourcen-Cockpit Phasen dargestellt. Grundlage hierfür bietet ein Anforderungskatalog, der die Bedarfe von Instandhaltern, Service-Technikern sowie Planungs- und Instandhaltungsleitern zusammenfasst. Auch bei der iterativen Entwicklung, Prototypengestaltung und Evaluation wird eine partizipative Vorgehensweise gemeinsam mit den Anwendern gewählt. Im Ergebnis liegen für Teilaspekte der Gestaltung und den zusammengesetzten Geometrieprototypen bereits hohe Bewertungen der Gebrauchstauglichkeit vor.

1 Einleitung

Durch die zunehmende Digitalisierung der Produktion entstehen neue Möglichkeiten der Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Menschen, mit denen die Gestaltung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) einhergeht (Botthof & Hartmann, 2015). Mobile Endgeräte stellen ein zentrales Beispiel für neue MMS im Zuge von Industrie 4.0 dar und besitzen ein hohes Potenzial zur Unterstützung, z.B. im Instandhaltungsprozess. Ursprünglich für den privaten Gebrauch entwickelt, halten diese zunehmend Einzug in den Produktionsbereich und weisen, speziell im Produktionsumfeld, besondere Anforderungen auf (Spath et al., 2013). MMS von mobilen Endgeräten umfassen eine grafische Benutzerschnittstelle (GUI) zur Interaktion des Anwenders mit der installierten Software und eine tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle

(tMMS) zur Interaktion mit den Hardwarekomponenten. Der tMMS werden dabei in Ergänzung des Tangible User Interfaces (TUI), d.h. aller haptischer Bedienelemente zur Manipulation der GUI, auch alle hardwaretechnischen Funktionselemente zur Handhabung, z.B. Griffe und Transportfunktion, zugeordnet. Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser MMS beinhaltet großes Potenzial zur sicheren Bedienung von Industrie 4.0-Technologien und wird vermutlich deren Akzeptanz durch die Anwender steigern (Bauer et al., 2014).

Der vorliegende Beitrag zeigt die nutzerzentrierte, partizipative Vorgehensweise bei der Entwicklung einer gebrauchstauglichen MMS des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter im Projekt S-CPS. Zunächst wird die Erhebung der Anforderungen erläutert und der resultierende Anforderungskatalog dargestellt. Die Vorgehensweise bei der Entwicklung der gebrauchstauglichen MMS unterteilt sich in die iterative Gestaltung von GUI und tMMS, deren Ergebnisse in einem final vorgestellten Prototyp fließen. Ein Ausblick auf dabei noch offene Forschungsfragen und Implikationen für die Praxis schließen den Beitrag.

2 Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse erfolgt die Ermittlung der kontextspezifischen Anforderungen an die zu entwickelnde MMS. Hierzu zählen neben den subjektiven Bedürfnissen der Anwender auch Rahmenbedingungen, die sich aus den Tätigkeiten und dem Arbeitsablauf (DIN 31051) ergeben. Als Ergebnis dieser Phase entsteht ein Anforderungskatalog mit nichtfunktionalen und funktionalen Anforderungen, der die aufgenommenen Kriterien der Anwender und deren Nutzungskontext umfasst.

Die Anforderungsanalyse für das mobile Assistenzsystem für Instandhalter wurde bei Projektpartnern durchgeführt, die stellvertretend für Instandhaltungstätigkeiten in der Automobilindustrie (Audi AG) und in der Automobil-Zulieferindustrie (Continental Automotive GmbH) sowie für Servicetätigkeiten von Ausrüstern der Automatisierungstechnik (Xenon GmbH) stehen. Mittels leitfadengestützter Interviews konnten 36 Instandhalter, 30 Anlagenbediener, neun Planungsleiter sowie jeweils ein Instandhaltungsleiter und Betriebsrat befragt werden. Zusätzlich wurden die prozesstypischen Abläufe und Rahmenbedingungen in der Instandhaltung mittels Dokumentenanalyse und Beobachtungen aufgenommen und analysiert (Hopf & Müller, 2015).

Darauf aufbauend erfolgte eine strukturierte Literaturanalyse (Wächter & Bullinger, 2016a) zur Identifikation vorhandener Anforderungen und Richtlinien für die Gestaltung einer Benutzeroberfläche und der Hardware-Elemente

aus der Literatur. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die iterative Gestaltung des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter.

2.1 Grundlegende Einstellungen der Nutzer

Die Entwicklung eines mobilen Assistenzsystems zur Bereitstellung instandhaltungsrelevanter Informationen beurteilen die Teilnehmer der Befragungen durchgehend als positiv. Als wichtigen Aspekt für eine erfolgreiche Umsetzung lässt sich die Einbeziehung zukünftiger Anwender in den Entwicklungsprozess herausstellen. So sollen die Bedürfnisse und Wünsche bereits in frühe Phasen der Entwicklung einfließen, um anschließend eine hohe Akzeptanz zu erfahren (Höhnel et al., 2015).

Trotz der steigenden Verfügbarkeit verschiedener mobiler Endgeräte wie Datenbrillen, Smartphones oder Smartwatches, halten die mittels leitfadengestützter Experteninterviews befragten Instandhalter den Einsatz eines Tablets mit einer Displaydiagonalen von acht bis zehn Zoll zur Anzeige von Dateninhalten wie z.B. Zeichnungen für sinnvoll. Eine einfache, intuitive Bedienung, eine visuelle Benutzerführung und die Robustheit für den Einsatz im Industrieumfeld stellen dabei die nichtfunktionalen Anforderungen dar.

2.2 Anforderungen an die Benutzeroberfläche

Die befragten Instandhalter und Servicetechniker geben folgende funktionale Anforderungen an, welche mit hoher Priorität in die Entwicklung des mobilen Assistenzsystems einfließen sollen (Höhnel et al., 2015):

- automatische, detaillierte Anzeige der Fehlermeldung und Störungsart
- Möglichkeit zur Kommunikation (Messenger, Telefonieren, E-Mail, Kontakte)
- mobiler Zugriff auf relevante Maschinendaten
- Zugang zu relevanten Webanwendungen über Internet
- Bearbeitung von Dokumenten
- Anzeige von Maschinenplänen (Steuerungspläne, SPS, etc.)
- Anzeige von Handlungsanweisungen
- Ersatzteilhandling (Informationen und Verfügbarkeit)
- Anlagen-, Bauteil- und Maßnahmenhistorie
- Priorisierung der abzuarbeitenden Tätigkeiten

Diese Anforderungen stellen die Grundlage für den inhaltlichen Entwurf der Software und den Rahmen für die Gestaltung einer geeigneten Benutzeroberfläche nach den Kriterien der Software-Usability dar.

2.3 Anforderungen an die tangible MMS

Im Zuge der Nutzungskontextanalyse ergeben sich durch die Betrachtung verschiedener Use-Cases folgende funktionale Anforderungen für die tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle (Wächter & Bullinger, 2015):

- aufwandsarme Möglichkeit zum Transport
- Bedienung mittels Touchscreen und physischer Tasten, Joystick oder Touchpad
- Funktion zum Hinstellen auf ebenen Flächen
- Funktion zum Anheften an Maschinen und Anlagen während der Montage

Die ermittelten Anforderungen bilden die Basis für die iterative Gestaltung der tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstelle.

3 Gestaltung der Benutzeroberfläche

Für die Gestaltung einer gebrauchstauglichen Benutzeroberfläche sind die Gestaltungsmerkmale Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungs-fähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit zur berücksichtigen (DIN EN ISO 9241-210). Um diese Anforderungen sicherzustellen, erfolgt die Gestaltung der GUI iterativ und in Zusammenarbeit mit den Anwendern. Im Folgenden werden die Gestaltung, die Evaluation und die Ergebnisse näher erläutert.

3.1 Methodische Vorgehensweise

Die Entwicklung der Benutzeroberfläche erfolgt iterativ in drei Phasen. Im Anschluss an jede Iteration bewerten die Anwender die entstandenen Konzepte und partizipieren so an der Weiterentwicklung der Oberfläche bis hin zum finalen Prototypen.

In einer *ersten* Iteration werden mit Hilfe des Prototyping-Tools Axure verschiedene Varianten der grafischen Benutzeroberfläche konzipiert. Hier fließen die Ergebnisse der Literaturanalyse zur Gestaltung einer gebrauchstauglichen GUI und die inhaltlichen, funktionalen Anforderungen aus der Anforderungsanalyse ein. Bestehende Gestaltungsgrundsätze, Gestaltungsrichtlinien

und Normen zur Software-Ergonomie (DIN EN ISO 9241-210, Bullinger et al., 2013, Nielsen, 1993, Sarodnick & Brau, 2006) dienen dabei als Basis erster Gestaltungskonzepte. Diese umfassen die Basisoberfläche mit den gewünschten Funktionalitäten der Anwender.

Aufbauend auf diesem grundlegenden Gestaltungskonzept erfolgt in der *zweiten* Iteration die Ausgestaltung der inhaltlichen Anforderungen, z.B. von Handlungsanweisungen. Dazu werden Erkenntnisse aus dem Bereich der kognitiven Ergonomie (Stapelkamp, 2010) einbezogen, um eine geringe kognitive Belastung bei der Verwendung des mobilen Assistenzsystems zu gewährleisten.

In der *dritten* Iteration werden die am besten bewerteten Konzeptvarianten aus den ersten beiden Iterationen miteinander kombiniert und anschließend final durch die Anwender bewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung fließen anschließend in den funktionsfähigen Prototyp der Benutzeroberfläche ein.

3.2 Evaluation der Benutzeroberfläche

Im Rahmen jeder Iteration bewerten die Anwender (n=5) in mehreren Fokusgruppen die verschiedenen Konzeptvarianten. Mit Hilfe der Methode „Paper Prototyping“ (Snyder, 2003) werden den Anwendern im Zuge der ersten beiden Iterationen verschiedene Möglichkeiten zur Gestaltung der Benutzeroberfläche aufgezeigt und anschließend mittels Fragebogen bewertet. Zusätzlich dazu können die Benutzer über die Methode „Lautes Denken“ Feedback zu den verschiedenen Gestaltungsvarianten geben, welches anschließend in die Weiterentwicklung einfließt. Die Auswertung der aufgenommenen Fragebogendaten erfolgt deskriptiv mit der Statistiksoftware SPSS (IBM Corp., 2014), während die Auswertung der qualitativen Daten mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Bortz & Döring (2009) stattfindet.

In der finalen, noch ausstehenden Evaluation bewerten die Anwender im Rahmen eines Usability-Tests den funktionsfähigen Softwareprototyp mittels System Usability Scale (SUS). Der daraus resultierende Score zeigt die Usability eines Gesamtsystems und liefert einen guten Indikator für die erfolgreiche Gestaltung einer gebrauchstauglichen Benutzeroberfläche (Brooke, 1996).

3.3 Ergebnisse

Die deskriptive Analyse der Bewertungen und die qualitativen Daten der ersten beiden Iterationen bilden die Grundlage für den funktionsfähigen Softwareprototyp. Beispielhaft werden im Folgenden die Dashboard-Ansicht (Abbildung 1), die Ansicht zu aktuellen Instandhaltungsaufträgen und der Ausschnitt einer Handlungsanweisung dargestellt und erläutert.



Abbildung 1: Dashboard-Ansicht im Funktionsprototyp

Über die Taskleisten am linken und rechten Bildschirmrand sind die Anwender in der Lage, schnell und intuitiv die gewünschten Kommunikationsfunktionen und Webanwendungen zu wählen. Während auf dem Dashboard eine übersichtliche Kachelansicht mit den Primärfunktionen Anlagenübersicht, Instandhaltungsaufträge, Fehlerdatenbank, Werkzeuge und Ersatzteile sowie Handlungsleitfaden und einem Wiki zum Einsatz kommt, sind die darunterliegenden Ebenen kontextspezifisch gestaltet. Die von den Anwendern gewünschte Übersicht zu den Instandhaltungsaufträgen erfolgt z.B. in Tabellenform mit den wichtigsten Informationen zu Störungscode, Bezeichnung, Typ und ID, vorhandenen Ersatzteilen, Werkzeugen und Leitfäden sowie einem aktuellen Status der Bearbeitung (Abbildung 2).

Code	Bezeichnung	Typ	ID	Ersatzteile	Werkzeug	Leitfaden	Status
B-3-479	Sensor 3 (Palettenerkennung)	Störung	D-15	✓	✓	✓	1 min offen
B-2-384	Sensor 10 (Drucktaster)	Wartung	D-13	🕒	✓	✓	12 min in Bearbeitung
B-3-408	Fehler 69 (Schieberegister)	Störung	D-15	✓	✓	🚫	✓ abgeschlossen

Abbildung 2: Ansicht der Instandhaltungsaufträge im Funktionsprototyp

Die zu einem Störfall passende Handlungsanweisung wird dem Anwender im Funktionsprototyp automatisch vorgeschlagen und ist ebenso über die Anlagen ID und den Störungscode aufzufinden. Über eine bebilderte Anleitung wird der Anwender intuitiv durch die Fehlerbehebung navigiert und kann diese bei Bedarf über die Kamerafunktion und eine Eingabemöglichkeit ergänzen (Abbildung 3).

Anlagen ID: D-15 T55

Störungscode: B-3-479

Beschreibung

Öffnen Sie den Schaltschrank und überprüfen Sie die Farbe der Kontrollleuchte (Pfeil)

Die Kontrollleuchte zeigt folgende Farbe:

grün rot

Abbildung 3: Beispielscreen einer Handlungsanweisung

Die entwickelten Funktionsprototypen bilden die Grundlage für die finale Evaluation und die anschließende Überführung in eine gebrauchstaugliche Softwarelösung für die Instandhaltung.

3.4 Exkurs: Mensch-Technik-Arbeitsteilung

Eng mit der Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstelle verknüpft – und besonders in der Dialogführung der GUI sichtbar –, sind Fragen nach der Mensch-Technik-Arbeitsteilung: Wird der Mensch durch die Technik, die neuen Cyber-Physischen Produktionssysteme, eher instruiert? Oder fungieren Cyber-Physische Produktionssysteme als Assistenten, die Informationen sammeln, aufbereiten und dem Mensch kontextsensitiv bereitstellen, dem Mensch aber insbesondere problemhaltige Entscheidungen und Handlungsimplementierungen überlassen?

Im Projekt S-CPS wurden dazu folgende Empfehlungen aus dem Stand des Wissens abgeleitet (Löffler et al., 2016):

- Bei Routinen wie regelmäßigen Inspektionen und Wartungen sowie vorhersehbaren Störungen können Entscheidungsauswahl und Handlungsimplementierung von Assistenzsystemen instruiert werden, etwa durch vorgeplante, künftig auch durch Algorithmen generierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen. Dies scheint besonders für Anlernprozesse, bei Tätigkeitswechseln oder bei langen, die Gefahr des Vergessens bergenden, Intervallen sinnvoll. Um flüssige und explorative Arbeitsweisen, die zu Prozessverbesserungen und Lernen führen, zu ermöglichen, sollte die Nutzung der Instruktion jedoch fakultativ und individuell gestaltbar sein. Dies verlangt Möglichkeiten zum Ignorieren, Überspringen, Abkürzen oder Modifizieren der Instruktionsschritte sowie einen Verzicht auf kleinteiliges Quittieren.
- Bei Nicht-Routinen – für Instandhalter sind das vor allem Störungen, die erstmals auftreten, die kaum antizipiert werden können und bei denen Ungewissheit über Ursache und Wirkung bestehen – liegt der Fokus der Assistenz auf dem Sammeln und Aufbereiten von Informationen, aus denen der Mitarbeiter Entscheidungen ableiten kann. Oft ist auch schon die Sammlung und Zusammenschau aller relevanten Informationen eine Nicht-Routine bzw. problemhaltige Arbeitsaufgabe, denn die Daten zu einem Instandhaltungs-Objekt liegen in verschiedenen, meist noch proprietären IT-Systemen vor. Um künftig zu vernetzten, kommunikationsfähigen CPPS zu gelangen, in denen Informationen aufwandsarm und bedarfsgerecht auffindbar sind, sollten die Nutzer (Instandhalter, Servicetechniker etc.) und die Entwickler von CPPS möglichst ähnliche Vorstellungen (mentale Modelle) darüber entwickeln, wie die informationellen Ressourcen eines CPPS zusammenspielen und wie gerade bei Nicht-Routinen frei durch die „Cyberwelt“ der Produktion navigiert werden kann. Dafür wurde der Begriff „Digitales Bewusstsein“ geprägt.

Diese Empfehlungen wurden insbesondere bei der Entwicklung der Handlungsleitfäden exemplarisch aufgegriffen. Betreiber und Hersteller von Sondermaschinen orientieren sich dabei erwartungsgemäß stärker auf eine Unterstützung von Nicht-Routinen durch freiwillig nutzbare Empfehlungen und auf Möglichkeiten zur Rückmeldung von Erfahrungen aus den Instandhaltungsprozessen (Wiki-Funktionalität). Betreiber von stärker standardisierten Betriebsmitteln favorisieren dagegen verbindliche Handlungsanweisungen und Quittier-Funktionen.

4 Gestaltung der tangiblen MMS

Um die Anwender schon zu einem frühen Zeitpunkt in die Produktentwicklung einbeziehen zu können, eignet sich die Anfertigung von hardwaretechnischen Prototypen. Die späteren Nutzer erhalten so die Möglichkeit, die gewünschten Anforderungen an die Funktion des Produktes aber auch an die ergonomische Gestaltung, die Haptik und die Optik zu bewerten und schon in den frühen Phasen der Produktentstehung Feedback hinsichtlich der subjektiv wahrgenommenen Usability zu geben (Bertsche & Bullinger, 2007). Der angewendeten Methodik liegt dabei ein strukturierter Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS zugrunde, der die iterative Gestaltung und Evaluation methodisch und inhaltlich dem Entwicklungsstand entsprechend anlegt (Wächter & Bullinger, 2016a).

4.1 Methodische Vorgehensweise

In einer *Vorstudie* werden kontextunabhängige Gestaltungsideen für Griffvarianten gesucht. Vier Fokusgruppen mit Nicht-Anwendern (n=17) gestalten auf Basis der erhobenen Anforderungen mittels Modelliermasse verschiedene Gestaltungsvarianten. Anschließend fassen Usability-Experten (n=5) diese zu einem abgestimmten Gestaltungsentwurf zusammen, welcher die Grundlage für die folgenden drei Iterationen bildet:

In der *ersten* Iteration werden zunächst drei Griffvarianten gestaltet und mittels 3D-Druck umgesetzt. Griff 1 basiert auf dem Gestaltungsentwurf der Vorstudie, Griff 2 auf einem aktuell in der Produktion eingesetztem Tablet-Griff und Griff 3 baut auf den Gestaltungsvorgaben für Stellteile (DIN EN 894-3) auf.

In der *zweiten* Iteration wird aus den am besten bewerteten Griffeigenschaften der Iteration 1 und unter Hinzunahme anthropometrischer Variablen (DIN 33402-2) ein Geometrieprototyp des Griffes gestaltet und mittels additivem Verfahren gefertigt. Zusätzlich werden alle weiteren Funktionselemente, d.h.

die Transportfunktion, die Funktion zum Hinstellen sowie die Bedien- und Steuerelemente für die Benutzeroberfläche prototypisch realisiert. Die Anforderung einer Funktion zum Anheften an die Anlage wird nach Rücksprache mit den Instandhaltern zurückgestellt.

In der *dritten* Iteration wird der Geometrieprototyp des Griffes unter Berücksichtigung der Evaluationsdaten aus Iteration 2 optimiert, funktionsprototypisch umgesetzt und anschließend, mit der grafischen Benutzeroberfläche vereint, in einem Funktionsprototyp im Feldexperiment evaluiert.

4.2 Evaluation

Die Evaluation erfolgt analog für die beiden ersten Iterationen in drei Fokusgruppen mit Instandhaltern (n=15). Die Griffe werden dabei randomisiert getestet und mit einem leicht adaptierten Comfort Questionnaire for Handtools (CQH) (Kuijt-Evers et al., 2007) bewertet. Anschließend werden Verbesserungspotenziale über „Lauter Denken“ (Nielsen, 1993) gesammelt. Alle weiteren Funktionselemente aus dem Anforderungskatalog werden den Anwendern in verschiedenen Ausprägungen in einem morphologischen Kasten (VDI 2222) zur Bewertung vorgelegt. Die bevorzugten Umsetzungsvarianten werden anschließend zu einem Geometrieprototyp zusammengesetzt und mit dem SUS (Brooke, 1996) evaluiert.

Die Fragebogendaten werden deskriptiv ausgewertet (IBM Corp., 2014) und mit qualitativen Daten abgeglichen. Dazu werden die Sprachprotokolle der Fokusgruppen transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Glaser & Strauss, 1967) ausgewertet.

In der aktuell laufenden finalen Evaluation wird der Funktionsprototyp, bestehend aus tMMS und grafischer Benutzeroberfläche, im Rahmen eines Usability-Tests unter Feldbedingungen zusammen mit den Instandhaltern (n=15) evaluiert.

4.3 Ergebnisse

Aus der *Vorstudie* geht der kombinierte Gestaltungsentwurf als Prototyp in die erste Iteration ein. Deren Datenanalyse aus CQH und Lautem Denken zeigt, dass die Griffe 1 und 3 deutlich besser bewertet wurden als Griff 2 (Wächter & Bullinger, 2016b). Unter den Verbesserungspotenzialen ist für die zweite Iteration insbesondere die ergonomische Gestaltung mit Fingermulden (von Griff 1) sowie die runde Griffform hervorzuheben (vgl. Abbildung 4).

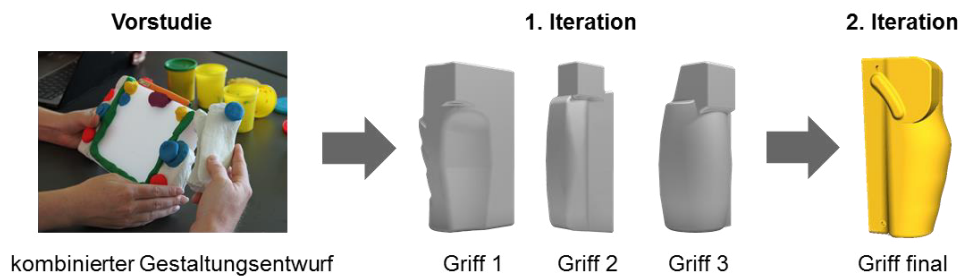


Abbildung 4: Prototypen als Ergebnis der Vorstudie und der beiden Iterationen

Zusätzlich zur finalisierten Griffform bewerten die befragten Instandhalter folgende Ausprägungen der Funktionen zum Hinstellen, zum Transport und zur Steuerung GUI am besten (Abbildung 5).



Abbildung 5: Ergebnis der Bewertung zu den bewerteten Funktionen

Die Instandhalter befürworten einen ergonomisch geformten Einhandgriff auf der Rückseite des mobilen Assistenzsystems, welcher gleichzeitig die Funktion des Hinstellens abdeckt. Eine dazu passende Halterung für den Transport und die Steuerung der Benutzeroberfläche mittels Joystick runden die gewählten Umsetzungsvarianten der Instandhalter ab. Die Bewertung des zusammengesetzten Geometrieprototyp mittels SUS ergibt einen Score von 89 Punkten, was einer sehr hohen Gebrauchstauglichkeit entspricht (Bangor et al., 2009).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projektes S-CPS wurden durch einen nutzerzentrierten, partizipativen und iterativen Entwicklungsprozess GUI und tMMS eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter gestaltet. Durch Nutzerevaluationen von Prototypen wurde eine hohe Gebrauchstauglichkeit – zunächst für Hard- und

Softwarekomponenten separat – nachgewiesen. Eine finale Evaluation des funktionsfähigen Prototyps wird zeigen, ob sich dieser Wert auch im Zusammenspiel zwischen GUI und tMMS und im realen Anwendungskontext bestätigen lässt. Dabei werden auch Hinweise zur Nutzerzufriedenheit mit der jeweils gewählten Mensch-Technik-Arbeitsteilung erwartet.

6 Literaturverzeichnis

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Bauer, W., Schlund, S., & Marrenbach, D. (2014). *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: [Studie]*. Stuttgart.
- Bortz, J., & Döring, N. (2009). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler ; mit 87 Tabellen* (4., überarb. Aufl., Nachdr). *Springer-Lehrbuch Bachelor, Master*. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Brooke, J. (1996). SUS: a 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan (Ed.), *Usability evaluation in industry*. London, Bristol, Pa.: Taylor & Francis, 189–194.
- Bullinger, H. J., Jürgens, H. W., Groner, P., Rohmert, W., & Schmidtke, H. (2013). *Handbuch der Ergonomie: Mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden* (2nd ed.). Koblenz.
- DIN 33402-2 (2005). Ergonomie - Körpermaße des Menschen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 894-3 (2010). Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-210 (2011). Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 31051 (2012). Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research. Observations*. Chicago: Aldine Pub. Co.
- Höhnel, A., Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2015). Effizienzsteigerung in der Instandhaltung durch Sozio-Cyber-Physische Systeme. In *Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress, 25. - 27.02.2015, Karlsruhe*. Dortmund: GfA-Press.

- Hopf, H., Müller, E. (2015). Modellierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen mit Sozio-Cyber-Physischen Systemen. In: Müller, E. (Hrsg.). Vernetzt planen und produzieren – VPP2015 - Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 21, TU Chemnitz, 389 - 398.
- IBM Corp. (2014). IBM SPSS Statistics für Windows. Armonk, NY.
- Kuijt-Evers, L. F., Vink, P., & de Looze, Michiel P. (2007). Comfort predictors for different kinds of hand tools: Differences and similarities. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(1), 73–84.
- Löffler, T., Höhnel, A., Aust, A. (2016). Kompetenzförderliche Interaktion mit CPPS. Arbeiten und Lernen in der digital transformierten Produktion. *Industrie 4.0 Management*, 32 (2016) 3, S. 39-42.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann Publishers.
- Sarodnick, F., & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung* (1. Aufl.). *Praxis der Arbeits- und Organisationspsychologie*. Bern: Huber.
- Snyder, C. (2003). *Paper prototyping: The fast and easy way to design and refine user interfaces*. *The Morgan Kaufmann series in interactive technologies*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann, Elsevier Science.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: [Studie]*. Stuttgart.
- Stapelkamp, T. (2010). *Interaction- und Interfacedesign: Web-, Game-, Produkt- und Servicedesign Usability und Interface als Corporate Identity*. *X.media.press*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- VDI 2222 (1997). *Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Berlin: Beuth Verlag.
- Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2015). Gestaltung gebrauchstauglicher Assistenzsysteme für Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester, & A. Schmidt (Eds.), *Mensch und Computer 2015. Workshopband* (pp. 165–169). Berlin.
- Wächter, M., & Bullinger, A. C. (2016a). 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., & Bullinger, A. C. (2016b). Gestaltung von gebrauchstauglichen tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen – ein Werkstattbericht. In C. M. Schlick (Ed.), *Schriftenreihe der Wissenschaftliche Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V: Vol. 1. Megatrend Digitalisierung. Potentiale der Arbeits- und Betriebsorganisation* (pp. 163–174).

Autoren



Wächter, Michael

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Michael Wächter arbeitet seit 2012 an der Chemnitzer Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement. Sein thematischer Schwerpunkt innerhalb des Industrial Engineering ist die Ergonomie von Arbeitsmitteln, insbesondere die Gestaltung gebrauchstauglicher Hardware-Interfaces bei Mensch-Maschine-Schnittstellen.



Höhnel, Anne

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anne Höhnel ist seit 2009 an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement tätig. Ihre Schwerpunkte sind die Gestaltung von Werker-Informationssystemen, Veränderungsprozesse, interpersonelle Zusammenarbeit und Arbeitsorganisation im demografischen Wandel.



Löffler, Thomas

Dr.-Ing. Thomas Löffler arbeitet seit 2011 an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement. Er leitet das Cluster Industrial Engineering und verantwortet in Lehre und Forschung die Arbeitsgebiete Produktionsergonomie und Produktivitätsmanagement.



Bullinger-Hoffmann, Angelika C.

Prof. Dr. Angelika Bullinger-Hoffmann leitet die Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement an der TU Chemnitz. Die Schwerpunkte von Forschung und Lehre sind Innovation Engineering, Produktergonomie und Industrial Engineering auf Basis des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Dabei stehen Mensch, Technik und Organisation sowie deren Zusammenwirken im Fokus