

Gestaltung von gebrauchstauglichen tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstellen – ein Werkstattbericht

Michael Wächter, Angelika C. Bullinger

TU Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

1 Einleitung

Im Kontext der vierten industriellen Revolution entstehen neue Möglichkeiten der Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Menschen, mit denen die Gestaltung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) einhergeht (Botthof & Hartmann, 2015). Instandhaltung im Rahmen von Industrie 4.0 umfasst dabei den Austausch von Zustandsdaten, relevanten Informationen sowie Ressourcen in Echtzeit direkt zwischen Maschinen und die Koordination von Inspektionen, Wartungsarbeiten und Instandhaltungsmaßnahmen ohne notwendigen Eingriff des Menschen (Spath et al., 2013). Dem Instandhalter werden alle relevanten Informationen wie Maschinenzustand, Reparaturanleitungen und Dokumentationen digital, d.h. ortsunabhängig, zur Verfügung gestellt (Scheer, 2013). Die Schnittstelle zwischen Instandhalter und Maschine ist dabei direkt der tangible Bereich der Maschine selbst wie z.B. Bedien- und Steuerelemente und indirekt der tangible Bereich eines mobilen Endgeräts zur Steuerung der Maschine wie z.B. die berührungssensitive Oberfläche oder die Drehdrücksteller eines Tablets. Dieses tangible User Interface (TUI) zur Manipulation der Maschinensoftware wird um alle weiteren hardwaretechnischen Funktionselemente für die Handhabung von mobilen Systemen, z.B. Griffe, Hinstell- oder Transportfunktion, zu einer tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstelle (tMMS) erweitert.

Eine gebrauchstaugliche Gestaltung dieser tMMS beinhaltet großes Potential zur sicheren Bedienung von Industrie 4.0-Technologien und wird vermutlich deren Akzeptanz durch die Anwender steigern (Bauer et al., 2014). Daher ist es sehr verwunderlich, dass sich die Frage nach einer intersubjektiv nachvollziehbaren Vorgehensweise zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS für Industrie 4.0 gegenwärtig weder aus Wissenschaft noch Praxis beantworten lässt.

Im vorliegenden Beitrag wird, verortet im Paradigma der gestaltungsorientierten Forschung (DSR) nach Hevner et al. (2004), ein erster Schritt zur Schließung dieser Lücke präsentiert. Es wird kurz ein nach DSR entwickelter Leitfadens zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS im Produktionsbereich vorgestellt und als Schwerpunkt des Papiers die Ergebnisse

der empirischen Erprobung dieses Vorgehens am Beispiel der Gestaltung eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter präsentiert. Das mobile Assistenzsystem für Instandhalter umfasst dabei neben der tangiblen Mensch-Maschine-Schnittstelle (tMMS) auch eine grafische Benutzerschnittstelle (GUI), die in der Betrachtung zunächst unberücksichtigt bleibt.

Ein Ausblick auf dabei noch offene Forschungsfragen und Implikationen für die Praxis, insb. für Planer und Entwickler, schließt den Beitrag.

2 Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS

Aus der Analyse der DSR-Literatur wurden für den Leitfaden zur Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS (Abbildung 1) die Prozessschritte Problemidentifikation, Definition der Zielstellung, Anforderungsanalyse sowie die iterative Lösungskonstruktion und Evaluation abgeleitet (Wächter & Bullinger, 2016b).

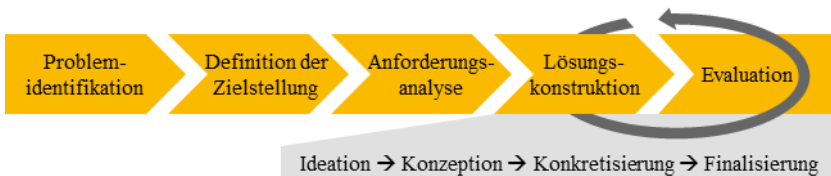


Abbildung 1: Leitfaden zur Entwicklung gebrauchstauglicher tMMS

Zunächst wird im Rahmen der *Problemidentifikation* das Handlungsfeld, in dem die Lösung gestaltet werden soll, abgesteckt und sodann wird die *Zielstellung* inklusive späterer Erfolgsmessungskriterien *definiert*. Während diese beiden Schritte noch durch Experten oder mit Führungskräften durchgeführt werden können, müssen die kontextspezifischen *Anforderungen* immer mit den zukünftigen Nutzern *analysiert* werden, um einen Anforderungskatalog zu erhalten. Die Schritte der *Lösungskonstruktion* (bestehend aus den Unterschritten Exploration und Prototyping) und der *Evaluation* erfolgen iterativ in den Phasen *Ideation*, *Konzeption*, *Konkretisierung* und *Finalisierung*, bis die Evaluation gemäß der gewählten Kriterien positiv abgeschlossen wird. Zu jedem Prozessschritt verweist der Leitfaden auf geeignete wissenschaftliche Methoden z.B. aus der Produktentwicklung oder der empirischen Sozialforschung, um die Anwendung bei unterschiedlichen Einsatzfeldern, Nutzergruppen oder Ergebnisgranularitäten zu unterstützen (Wächter & Bullinger, 2016a).

In diesem Werkstattbericht wird nachfolgend die Praxistauglichkeit des aus der Literatur entwickelten Leitfadens am Beispiel einer aktuellen Problemstellung in der Instandhaltung dargestellt.

3 Gestaltung eines gebrauchstauglichen tMMS

3.1 Problemidentifikation und Zielstellung

Zur Erfüllung ihrer Aufgaben nach DIN 31051 arbeiten Instandhalter ortsungebunden und benötigen dabei Zugriff auf kontextspezifische Informationen zu Maschinen und Anlagen. Die Bewältigung steigender Datenmengen und deren für den Nutzer komplexitätsreduzierende Filterung gewinnen durch Industrie 4.0 noch weiter an Bedeutung (Botthof & Hartmann, 2015).

Aktuell verfügbare Assistenzsysteme zur Unterstützung der Instandhalter entsprechen jedoch weder den systemischen Anforderungen, die sich aus den Veränderungen im Produktionsbereich durch Industrie 4.0 ergeben, noch den Anforderungen der Nutzer. Es wird daher auf die Gestaltung eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter in Produktionsumgebungen der Industrie 4.0 gezielt, das sowohl die Anforderungen der Instandhalter im Rahmen von Industrie 4.0 berücksichtigt als auch eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweist, nachgewiesen über die System Usability Scale (SUS) nach Brooke (1996).

3.2 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse erfolgte mittels Dokumentenanalyse, Expertenbefragungen und Prozessbeobachtungen sowie 18 leitfadengestützten Interviews mit Instandhaltern in Unternehmen der Automobilindustrie und der -Zulieferindustrie.

Die Datenauswertung zeigt zunächst die Anforderung eines Tablet-artigen Assistenzsystems mit einer Displaydiagonale von acht bis zehn Zoll. Zudem zählt eine robuste Bauweise (d.h. Unempfindlichkeit ggü. Wasser/ Öl/ Sturz) für den Einsatz im industriellen Umfeld und die intuitive Bedienung des Systems zu den zentralen, nichtfunktionalen Anforderungen an das System. Darüber hinaus ließen sich folgende funktionale Anforderungen destillieren: aufwandsarme Transportmöglichkeit, Bedienung mittels Touchscreen und physischer Bedienelemente, Stellbarkeit auf ebenen Flächen sowie Anheftbarkeit an Maschinen und Anlagen während des Instandhaltungsprozesses.

Aus den Anforderungen wird der Anforderungskatalog als Grundlage für die anschließende iterative Gestaltung abgeleitet.

3.3 Lösungskonstruktion und Evaluation

In den folgenden Abschnitten werden die iterative *Lösungskonstruktion*, d.h. die Phasen Ideation, Konzeption und Konkretisierung, und die *Evaluation* gezeigt. Dabei wird zunächst jeweils die methodische Vorgehensweise in den Iterationen dargelegt, anschließend werden die Ergebnisse dargestellt.

3.3.1 Ideation

Die Ideation verfolgt das Ziel verschiedene Gestaltungsideen zu den funktionalen Anforderungen als Grundlage für die Lösungskonstruktion in den darauffolgenden Iterationen zu generieren. In diesem Zuge entstehen verschiedene Gestaltungsentwürfe, die anschließend prototypisch umgesetzt und in einem kombinierten Gestaltungsentwurf zusammengefasst werden.

Vorgehen

Zur Vermeidung von Vorprägungen und zur Generierung von möglichst vielen verschiedenen Gestaltungsideen werden vier Gruppen mit jeweils vier bis fünf Nicht-Anwendern mit den Anforderungen konfrontiert. Auf diese Weise entstehen zunächst kontextunabhängige Lösungsvarianten, die in den folgenden Phasen auf den Instandhaltungsprozess adaptiert werden. Das Alter der Teilnehmer (6 weiblich, 11 männlich) lag zwischen 20 und 30 Jahren. Initial wurden mittels Brainstorming verschiedene Ideen zur Umsetzung der funktionalen Anforderungen gesammelt und anschließend prototypisch mit Modelliermasse umgesetzt. Dabei dienten der Einsatz verschiedener Farben zur Funktionsindikation und ein Schneidbrett als Tablet-Ersatz. Im Rahmen der *Evaluation* beurteilten abschließend Experten der Produktergonomie (N=6) in einer Fokusgruppe die vier entstandenen Gestaltungsentwürfe mittels heuristischer Bewertung. Die Teilnehmer dieser Fokusgruppe verfügten dabei über mehrjährige Berufserfahrung auf dem Gebiet der Usability.

Ergebnisse

Aus den Fokusgruppen mit den Nicht-Anwendern resultieren vier Gestaltungsentwürfe mit verschiedenen Umsetzungsvarianten der einzelnen Anforderungen, die in der Iteration Konkretisierung die Grundlage des morphologischen Kastens bilden. Abbildung 2 zeigt den kombinierten Gestaltungsentwurf, der aus den am besten bewerteten Umsetzungsvarianten zusammengesetzt wurde und als Ausgangspunkt für die Ideation dient.



Abbildung 2: Kombiniertes Gestaltungsentwurf als Ergebnis der Ideation

3.3.2 Konzeption

Die Berücksichtigung des Einflusses der Griffform auf die Bewertung eines Assistenzsystems ist zentraler Bestandteil der Konzeption. Hierfür werden verschiedene Griffformen erarbeitet, durch die Anwender bewertet und in einem abgestimmten Konzeptmodell konzentriert.

Vorgehen

Aufbauend auf dem kombinierten Gestaltungsentwurf der Ideation erfolgte zunächst die Gestaltung von drei grundlegend verschiedenen Griffformen. Während Griffform 1 auf den Maßen für Stellteile (DIN EN 894-3) basiert, orientiert sich Griffform 2 an einem aktuell in der Produktion eingesetzten Griff eines mobilen Anlagenpanels. Die Grundlage für Griff 3 stellt der kombinierte Gestaltungsentwurf aus der Ideation dar. Durch die Kombination des verwendeten Zufassungsgriffes bei der Handhabung des mobilen Assistenzsystems mit den anthropometrischen Maßen der Hand (DIN 33402-2) stehen hier ergonomische Fingermulden zur Verfügung. Es erfolgt ein Prototyping der Griffe mittels 3D-Druck. Die gleichfarbigen Griffe wurden jeweils links und rechts an einem Schneidbrett angebracht. Es resultierten für die anschließende Evaluation drei verschiedene Prototypen für das Assistenzsystem (Abbildung 3).

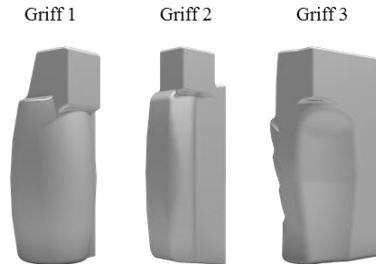


Abbildung 3: Untersuchte Griffvarianten

Die *Evaluation* der verschiedenen Prototypen erfolgte im Rahmen von zwölf Fokusgruppen (n=82). Mit dem Ziel, die Griffformen hinsichtlich ihres Komforts bei der Bedienung über physische Bedienelemente und über Touchscreen bewerten, bestand die Aufgabe im Handling der Prototypen mit einer Hand sowie mit zwei Händen. Zur Bewertung nutzten die Teilnehmer den angepassten Comfort Questionnaire for Handtools nach Kuijt-Evers et al. (2007). Die Teilnehmer bewerteten nacheinander alle drei Prototypen. Dazu erfolgte eine randomisierte Bewertung der Griffe, um möglichen Reihenfolgeeffekten vorzubeugen. Über die Methode „Lautes Denken“ konnten die Teilnehmer anschließend positives und negatives Feedback sowie Verbesserungspotential zu den einzelnen Griffen abgeben.

Ergebnisse

Die deskriptive Analyse der Bewertungen (N=82) zeigen ein deutlich besseres Abschneiden der Griffe 1 und 3 im Vergleich zu Griff 2 (Abbildung 4). Die Items „Professionelle Optik“, „Bewirkt Hautreizungen“, „Verursacht Blasen“ und „Fühlt sich klamm an“ lassen auf Grund der gleichen Materialeigenschaften keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Griffformen erkennen. Die Einflussvariablen für den Komfort rund um die Funktionalität des Griffes zeigen allerdings einen deutlichen Unterschied in den Bewertungen. Auch die untersuchten Einflussvariablen für das Komfortempfinden im Hinblick auf die Beeinträchtigung der Hände durch deren hohe Belastung („Bewirkt eine hohe Belastung der Hand“), ein Taubheitsgefühl und verringertes taktiles Empfinden („Verursacht ein Taubheitsgefühl und verringert das taktile Empfinden“) sowie das Verkrampfen von Muskeln („Verursacht eine Verkrampfung der Muskeln“) zeigen allerdings deutliche Unterschiede in der Bewertung durch die Probanden. Demnach werden die Griffe 1 und 3 als bevorzugte Griffvarianten gesehen.

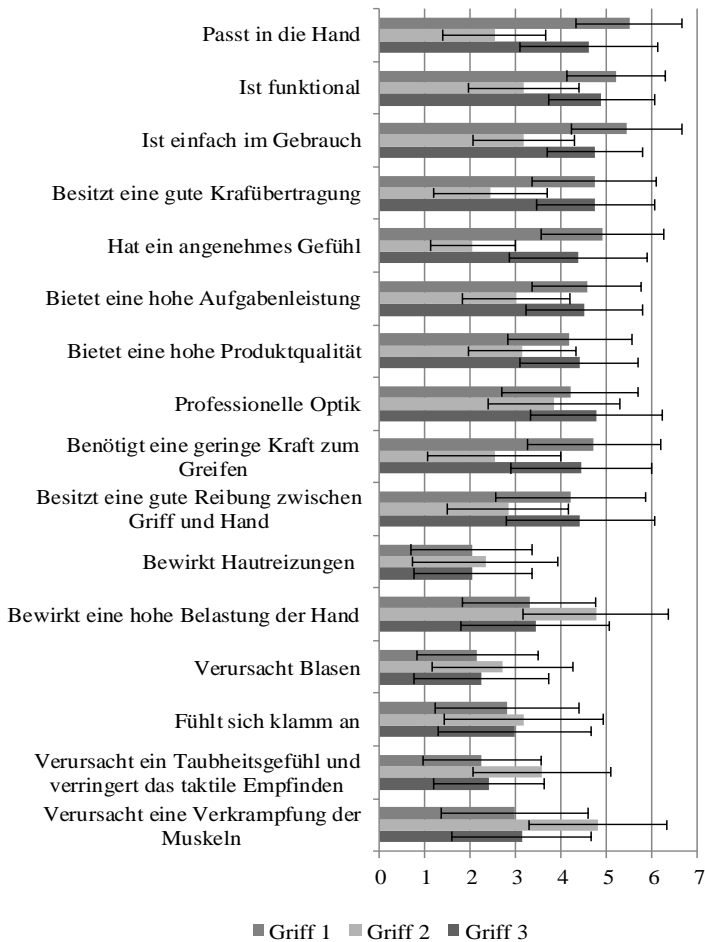


Abbildung 4: Bewertung der Einflussvariablen für das Komfortempfinden der Griffe

Die Auswertung der Bewertung des Gesamtkomforts der verschiedenen Griffe bekräftigt die These der bevorzugten Griffvarianten 1 und 3. Im Durchschnitt bewerten die Befragten den Gesamtkomfort von Griff 1 mit $M=5.00$ ($SD=1,41$) und Griff 3 mit $M=4.40$ ($SD=1,54$) am besten, während Griff 2 mit $M=2,27$ ($SD=1,10$) deutlich schlechter bewertet wird (Abbildung 5).

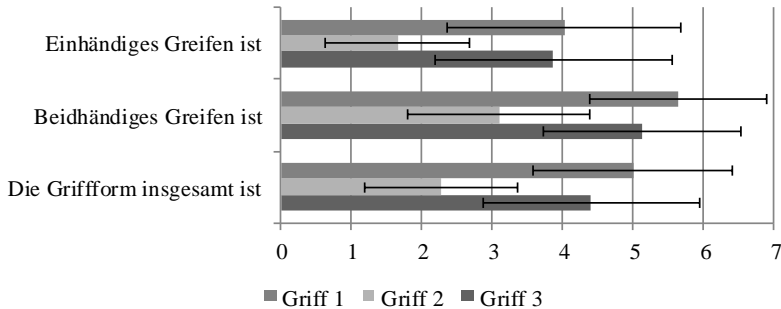


Abbildung 5: Bewertung des Gesamtkomforts der Griffvarianten

Während die Bewertung des einhändigen Greifens unterhalb der Bewertung des Gesamtkomforts liegt, bewerten die Probanden das beidhändige Greifen deutlich besser als den Gesamtkomfort. Durch die unterschiedlichen Bewertungen lässt sich ein Potential in der Gestaltung der Griffform für die Bedienung des mobilen Assistenzsystems mit einer Hand ableiten.

Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) für das erhobene Feedback und die Verbesserungspotentiale zu den Griffen unterstützt die quantitativen Ergebnisse des Fragebogens. Die Anwender wünschen sich eine Kombination der Größe von Griff 3 und der ergonomischen Gestaltung von Griff 3 mittels Fingermulden.

3.3.3 Konkretisierung

Auf Grundlage der Konzeptionsergebnisse entsteht nun die finale Griffform als Basis für die Gestaltung aller weiteren funktionalen Anforderungen des Anforderungskatalogs.

Vorgehen

Es werden auf Basis der vier Gestaltungsentwürfe aus der Ideation verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten der physischen Bedienelemente, der Abstell-Funktion und der Transportfunktion ausgearbeitet und mit Hilfe eines morphologischen Kastens (VDI 2222) aufbereitet. Durch diese Vorgehensweise besteht die Möglichkeit der Kombination verschiedener Varianten der einzelnen Anforderungen. In einer Fokusgruppe mit Experten der Produktergonomie werden jeweils drei Varianten einer funktionalen Anforderung ausgewählt und mittels 3D-Druck als Prototypen hergestellt.



Abbildung 6: Beispielvariante der Geometrieprototypen

Zur *Evaluation* werden im nächsten Schritt drei Fokusgruppen herangezogen (N=15; Instandhalter), um zunächst die kombinierte Griffform mit dem CQH zu bewerten. Dieser Evaluationschritt wird eine Vergleichbarkeit mit den Griffen aus der Konzeption 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.

Als *Ergebnis* der gegenwärtig in Durchführung befindlichen Evaluation resultiert ein abgestimmter Geometrieprototyp, der die Gestaltungsvariante mit der höchsten Gebrauchstauglichkeit widerspiegelt. Dieser wird schließlich im Rahmen der Finalisierung funktions-tüchtig umgesetzt und in einem Usability-Test unter realen Anwendungsbedingungen evaluiert. Dabei testen die Instandhalter in mehreren Einsatzszenarien, z.B. bei der Störungsbeseitigung an einer Anlage, die Gebrauchstauglichkeit des Funktionsprototypen und bewerten diese final mittels System Usability Scale (Brooke, 1996). Diese Vorgehensweise gewährleistet die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Konkretisierung.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die exemplarische Gestaltung einer gebrauchstauglichen tMMS am Beispiel des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter zeigt die praxistaugliche Anwendbarkeit der konzeptionellen Vorgehensweise.

In den Ergebnissen der Konzeption wird der Einfluss der Griffform auf die Komfortbewertung durch den Anwender deutlich. Diese Erkenntnis unterstützt die Herangehensweise einer iterativen Lösungskonstruktion sowie die zeitige Einbindung der Anwender in die

Evaluation. Zudem gewährleistet es eine Integration des Anwenderwissens in einzelnen Iterationen und sichert so eine spätere Akzeptanz des mobilen Assistenzsystems ab.

Wie der Werkstattbericht zeigt, bedarf es noch weiterer Forschung bis zur vollständigen Umsetzung der tMMS und entsprechend kann die Erprobung des Leitfadens noch nicht als abgeschlossen beurteilt werden. Die Frage nach der Gebrauchstauglichkeit des mobilen Assistenzsystems lässt sich abschließend erst nach finaler Evaluation im Anwendungsszenario beantworten. Ebenso ist eine weitere Erprobung mit anderen tMMS als dem mobilen Assistenzsystem und in anderen Anwendungsbereichen von Industrie 4.0, z.B. der Logistik, notwendig.

Die bisherigen Ergebnisse aus der Zwischenevaluation zeigen jedoch, dass der Leitfaden für Planer und Entwickler von Produktionsassistenzsystemen eine strukturierte und praxistaugliche Vorgehensweise für die Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS leisten kann.

Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme“. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- DIN 33402-2, 2005.
Ergonomie - Körpermaße des Menschen
- DIN EN 894-3, 2010.
Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen
- DIN 31051, 2012.
Grundlagen der Instandhaltung
- VDI 2222, 1997.
Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien
- Bauer, W.; Schlund, S.; Marrenbach, D., 2014.
Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland- [Studie], Stuttgart
- Botthof, A.; Hartmann, E. A., 2015.
Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin, Heidelberg, Springer
- Brooke, J., 1996.
SUS: a 'quick and dirty' usability scale. Usability evaluation in industry, S. 189–194
- Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.; Ram, S., 2004.
Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly (1), S. 75–105
- Kuijt-Evers, L. F.; Vink, P.; de Looze, M. P., 2007.
Comfort predictors for different kinds of hand tools: Differences and similarities. International Journal of Industrial Ergonomics (1), S. 73–84
- Mayring, P., 2010.
Qualitative Inhaltsanalyse- Grundlagen und Techniken. 11., aktual., überarb. Aufl., Weinheim, Beltz
- Scheer, A.-W., 2013.
Industrie 4.0- Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?, IMC AG
- Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S., 2013.
Produktions-arbeit der Zukunft - Industrie 4.0- [Studie], Stuttgart
- Wächter, M.; Bullinger, A. C., 2016.
Engineering-Prozess zur Gestaltung eines CPS für Instandhalter. In: Volker Nissen et al. (Hg.). Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI). Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI), 09.-11.03.2016, S. 217–223

Wächter, M.; Bullinger, A. C., 2016.

Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMI für Industrie 4.0- ein Leitfaden für Planer und Entwickler von Produktionsassistenzsystemen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (in Begutachtung)