

Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage

Frederic Kerber^{1,2} und Pascal Lessel^{1,2}

Abstract: Durch zunehmende kundenspezifische Individualisierung von Produkten und kleiner werdenden Losgröße steigt die Komplexität von Prozessen in der Endmontage immer weiter an. Wir stellen daher ein adaptives und gamifiziertes Werkerassistenzsystem vor, das die spezifischen Eigenschaften und Bedürfnisse der Mitarbeiter beachtet, um so die gestiegene Komplexität wieder beherrschbarer zu machen. Neben der Anforderungsanalyse und der Systemvorstellung berichten wir auch über die Ergebnisse einer ersten Usability-Studie.

Keywords: Werkerassistenzsystem, Adaptivität, Gamification, Industrie 4.0

1 Einleitung

Die zunehmende kundenspezifische Individualisierung von Produkten und die daraus resultierende Variantenvielfalt stellt Mitarbeiter in der (semi-)manuellen Endmontage vor Herausforderungen. Wurde in der Vergangenheit teilweise über längere Zeit nur eine Variante gefertigt, erfordert das Konzept kundenindividueller Produkte in Verbindung mit Losgröße 1 [Wa14] eine höhere Flexibilität der Mitarbeiter. Diese müssen in der Lage sein, alle Varianten zu fertigen, wozu sie die entsprechenden Arbeitsanweisungen umsetzen und sich schnell auf die wechselnden Varianten einstellen müssen.

Um den gestiegenen Anforderungen an die Mitarbeiter gerecht werden zu können, soll unter anderem durch das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ [KWH13] die Verknüpfung von Informations- und Produktionstechnik weiter vorangetrieben werden. Dabei ist insbesondere die direkte Kopplung von realer und virtueller Welt relevant, um auf Veränderungen adäquater reagieren zu können. Beispielsweise könnte ein erhöhter Mitarbeiterbedarf durch eine temporäre Automatisierung abgefangen werden. Solche Anpassungen erfordern eine automatische Verarbeitung der jeweiligen Systemzustände, da manuelle Anpassungen zu (zeit-)aufwändig und potentiell fehleranfällig wären.

Der demografische Wandel stellt eine weitere Herausforderung dar [OSH12]. Mehr denn je gilt es auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Mitarbeiter einzugehen. Statt einer „One-fits-all“-Lösung bieten Lösungen, die Eigenschaften und Bedarfe der Mitarbeiter miteinbeziehen, die Chance, die persönliche Leistungsfähigkeit besser zu unterstützen.

¹ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), Intelligente Benutzerschnittstellen, Stuhlsatzenhausweg 3, 66123 Saarbrücken, vorname.nachname@dfki.de

² Saarbrücker Graduiertenschule für Informatik, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken

In diesem Workshop-Beitrag stellen wir ein Werkerassistenzsystem vor, das individuell auf die Mitarbeiterbedürfnisse eingehen kann und darüber hinaus Funktionalitäten bietet, die es ermöglichen, besser mit der gestiegenen Komplexität umgehen zu können.

2 Verwandte Arbeiten

In ihrer Veröffentlichung [Rü13] beschreiben die Autoren die Entwicklung und Evaluation eines Werkerassistenzsystem für die klinische Sterilisierung medizinischer Instrumente. Als Ziele werden dabei die Bereitstellung von Informationen, die Unterstützung des Qualitätsmanagements, die Erfassung prozessrelevanter Daten sowie die Vermeidung von Fehlern genannt – ohne Verzögerungen im Ablauf zu verursachen. In ihrer Vergleichsstudie mit papierbasierten Anweisungen konnte eine signifikante Verringerung von Fehlern ohne signifikante Veränderung der Prozesszeit gezeigt werden. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass die Teilnehmer das Assistenzsystem bevorzugten und ihm signifikant mehr Aufmerksamkeit schenkten. Wir verfolgen ähnliche Ziele in einer anderen Domäne: Durch Adaptivität und Personalisierung wollen wir die bereitgestellten Informationen auf die Bedürfnisse der Mitarbeiter abstimmen – die Verwendung von Gamification (Einsatz von Spielelementen in spielfremden Kontexten [De11]) soll darüber hinaus die Motivation und Aufmerksamkeit steigern.

Der Aspekt der Adaptivität wird von Bannat u.a. in [Ba08] spezieller untersucht. Basierend auf einem sogenannten „Personal Cognitive Assistant“ und dem zugrundeliegenden Prozessmodell können Arbeitsanweisungen mit optimalem Detailgrad für die jeweils aktuelle Situation ausgewählt werden. Im Rahmen unseres Systems werden wir ebenfalls an die Werkerbedürfnisse angepasste Arbeitsanweisungen verwenden – ähnlich zu der vorgestellten Arbeit beziehen wir dabei insbesondere die Historie des spezifischen Mitarbeiters ein, können aber auch werkerübergreifend Informationen verwenden, z. B. um auf allgemeine Fehlerschwerpunkte hinzuweisen.

Die Arbeit von Korn, Schmidt und Hörz [KSH12] veranschaulicht die bereits beschriebene Notwendigkeit von Assistenzsystemen in der Fertigung. Die Autoren nennen dabei insbesondere die steigende Individualisierung der Produkte und den demografischen Wandel als Faktoren, die zu einem gesteigerten Assistenzbedarf führen. Neben einer Gestensteuerung, die durch eine Tiefenbildkamera ermöglicht wird, werden auch Gamification-Elemente eingesetzt, um die Motivation und Aufmerksamkeit der Mitarbeiter zu steigern. Hierbei wird die zeitliche Leistung in einem Tetris-ähnlichen Spiel visualisiert. In dem von uns entwickelten System wird der Gamification-Aspekt über eine reine Zeitkomponente hinaus auf das gesamte Spektrum der manuellen Endmontage ausgeweitet sowie um eine individuelle Komponente erweitert, die dem Mitarbeiter mehr Freiheiten bei der Gestaltung seines Arbeitsalltages einräumt. Ebenfalls mit dem Ziel, dem Mitarbeiter mehr Möglichkeiten bei der Ausgestaltung seiner Arbeitsinhalte zu geben, wird eine Tiefenbildkamera eingesetzt, die die Anordnung von Materialien sowie die Bewegung der Mitarbeiter erfassen kann.

3 Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse zur Entwicklung des hier vorgestellten Werkerassistenzsystems wurde die manuelle Endmontage zweier großer deutscher Industrie-Unternehmen mit möglichst unterschiedlichem Produktspektrum betrachtet. Beim ersten Betrieb werden Ventilscheiben und -blöcke für landwirtschaftliche Maschinen produziert, wobei bereits ein computer-gestütztes Werkerassistenzsystem eingesetzt wird. Dieses stellt allerdings in seiner Ausgangsform lediglich die reinen Arbeitsanweisungen – optional durch multimediale Inhalte veranschaulicht – dar. In einer zweiten Ausbaustufe kann das System in seinen Arbeitsanweisungen zwischen Anfänger- und Experten-Modus unterscheiden – allerdings basiert die Auswahl auf einer vorab festgelegten Einschätzung der Vorgesetzten und gilt gleichermaßen für alle Produktvarianten – eine dynamische Anpassung ist nicht vorgesehen. Das zweite Unternehmen fertigt Küchengeräte für Endverbraucher. Hier werden bisher in erster Linie eine durch einen erfahrenen Mitarbeiter begleitete Anlernphase sowie schriftliche Arbeitsanweisungen als Nachschlagewerk und Mustergeräte mit durchsichtiger Gehäuseausführung genutzt. Um die Bedürfnisse der Mitarbeiter zu erfassen, wurde das bestehende System des ersten Unternehmens analysiert und im zweiten Unternehmen Beobachtungen der Arbeitsvorgänge sowie anschließend semi-strukturierte Interviews durchgeführt. Die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst sind:

- Die Arbeitsanweisung sollte im Mittelpunkt stehen, da sie das wichtigste Element eines solchen Systems darstellt (A1).
- Eine Rückmeldung über (individuelle) Fehler bzw. die jeweilige Fehlerursache ist notwendig, um die Fehlerquellen dauerhaft abstellen zu können (A2).
- Für erfahrene Mitarbeiter müssen Anreize geschaffen werden, damit sie das System beachten und von den erweiterten Funktionen profitieren können, da sie die eigentlichen Arbeitsanweisungen aus dem Kopf befolgen können (A3).
- Das System soll durch die Werker anpassbar sein (z. B. hinsichtlich Materialanordnung und Individualisierung der Benutzerschnittstelle) um ihren spezifischen Bedürfnissen gerecht werden zu können (A4).
- Das System soll sich automatisch an den Werker anpassen können (A5).

4 Systemaufbau und adaptives Pick-by-Light-System

Das vorgestellte Werkerassistenzsystem wurde in einer Client-Server-Architektur umgesetzt, bei der die Clients (einer pro Arbeitsplatz) als Webanwendung auf HTML5 / JavaScript-Basis realisiert sind. Dies ermöglicht die flexible Verwendung von Endgeräten wie beispielsweise (touch-fähigen) All-in-one-PCs oder Tablets.



Abb. 1: Klassisches (links) und adaptives Pick-by-Light-System (Mitte, rechts)

Neben der Darstellung von Inhalten auf den angeschlossenen Clients bietet das System auch Schnittstellen zur Erweiterung, beispielsweise für ein Pick-by-Light-System, bei dem Mitarbeitern die Entnahme von Material durch eine optische Signalisierung angezeigt wird. Die im Rahmen der Montage erfassten Daten (z. B. Qualitätsdaten, Erfahrung der Mitarbeiter, o.ä.) werden dabei nicht isoliert im Werkerassistenzsystem erhoben und gespeichert, sondern über ein zentrales, semantisches Firmengedächtnis in Form einer Graphdatenbank anderen Anwendungen (beispielsweise zur Personaleinsatzplanung [KRV14]) bereitgestellt. Diese durchgängige Datenhaltung stellt sicher, dass Systeme innerhalb des Unternehmens auf einer Datenbasis interagieren und diese auch gemeinsam anreichern können und somit eine manuelle Übertragung oder erneute Erhebung bereits bekannter Daten entfällt. Die Entscheidung, welche Daten erhoben und genutzt werden, sollte individuell mit den Beteiligten bzw. ihren Vertretern, wie beispielsweise dem Betriebsrat, vereinbart werden.

Im Rahmen der System-Erstellung wurde auch ein adaptives Pick-by-Light-System entwickelt. In klassischen Implementierungen wird häufig mittels fest montierter LED-Indikatoren die Entnahme signalisiert und diese durch ebenso stationär befestigte Lichtschranken überwacht (siehe Abb. 1, links). Durch die feste Zuordnung von Materialien zu Bereitstellungsplätzen wird die Flexibilität deutlich eingeschränkt – beispielsweise können Mitarbeiter Materialien nicht eigenständig umsortieren, auch wenn es für sie vielleicht vorteilhaft wäre. Speziell im Kontext einer Multi-Varianten-Fertigung, bei der viele Materialien am Arbeitsplatz vorgehalten werden müssen, wäre eine individuelle Anordnung sinnvoll. Der Verzicht auf ein Pick-by-Light-System stellt dabei keine Alternative dar, da so ein höheres Fehlerpotenzial besteht. Die hier implementierte Lösung macht sich ein optisches System zunutze, das die Positionierung der Materialbehälter mit Hilfe von optischen Markern erkennen und die Entnahme durch den Mitarbeiter mithilfe einer Tiefenbild-Analyse überwachen kann. Die Signalisierung für den Mitarbeiter erfolgt dabei mittels eines Projektionslaser-Systems, das flexibel an die detektierte Position des Materialbehälters projizieren kann (siehe Abb. 1, Mitte und rechts). Aus technischer Sicht wird eine Kinect in Version 2.0 zur Erfassung der optischen Marker sowie der Erkennung der Greifbewegungen der Mitarbeiter genutzt. Zur Identifizierung der Materialbehälter kommen Chilitags [Bo13] zum Einsatz, welche gegenüber QR-Codes den Vorteil bieten, in jeder Ausrichtung erkennbar zu sein.

5 Adaptives und gamifiziertes Werkerassistenzsystem

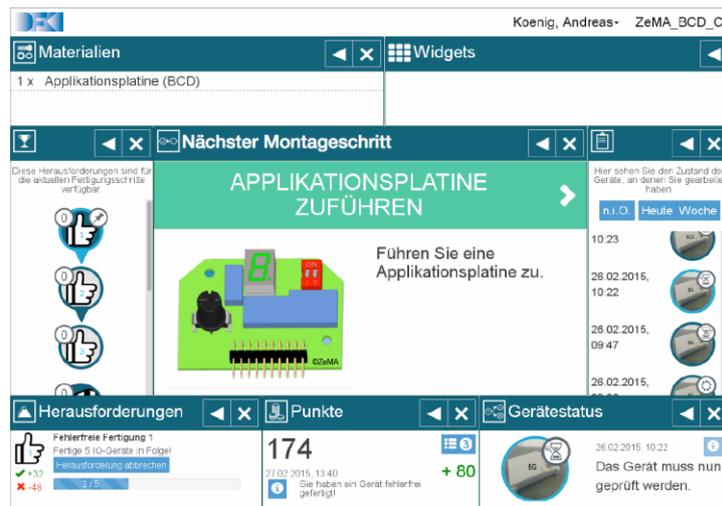


Abb. 2: Adaptives und gamifiziertes Werkerassistenzsystem

Ein Schwerpunkt des entwickelten Werkerassistenzsystems (siehe Abb. 2) besteht in der Adaption der Arbeitsanweisungen an den Mitarbeiter. Im Gegensatz zu einer „One-fits-all“-Lösung oder einer solchen, die nur grob zwischen Anfänger und Experte unterscheidet, wird hier spezifisch für jeden Schritt der Detailgrad der benötigten Arbeitsanweisung unter Berücksichtigung der Werker-Historie bestimmt. Die dabei beachteten Faktoren umfassen sowohl die Qualität der Schrittausführung (korrekt / inkorrekt) als auch die Häufigkeit der Ausführung im zeitlichen Verlauf. Diese Faktoren werden dabei insbesondere variantenübergreifend betrachtet, was bei überwiegend identischen Varianten sicherstellt, dass lediglich die unterschiedlichen Schritte, die besonderer Aufmerksamkeit bedürfen, detailliert beschrieben werden, wohingegen bei den bekannten Schritten auf die Erfahrung der Mitarbeiter vertraut werden kann (dient der Erfüllung von A1, A3, A5). Statt einer knappen Anweisung wie „Kabelbaum montieren“, würden einem weniger erfahrenen Mitarbeiter so nach und nach detaillierte Schritte wie „Stecker A stecken“ angezeigt. Darüber hinaus bietet das System einen mehrsprachigen Ansatz, sodass sowohl Inhalte als auch Elemente der Benutzerschnittstelle in verschiedenen Sprachen anzuzeigen (A5). In Übereinstimmung mit Anforderung A1 wird der Arbeitsanweisung in der Standard-Konfiguration der zentrale und zugleich größte Bereich eingeräumt. Neben der bereits beschriebenen Anpassbarkeit des realen Arbeitsplatzes durch Umsortierung des bereitgestellten Materials, bietet aber auch das Werkerassistenzsystem im Virtuellen die Möglichkeit der Individualisierung, indem beispielsweise einzelne Bereiche (die sogenannten Widgets) in ihrer Größe und Anordnung verändert oder komplett ausgeblendet werden können (A4).

Bezogen auf A2 wurden zwei Konzepte umgesetzt: Zunächst bietet das Werkerassistenzsystem eine detaillierte Auflistung aller von diesem Werker gefertigten Geräte. Somit kann jederzeit nachverfolgt werden, ob die produzierten Geräte korrekt gefertigt wurden oder einen durch den Werker verursachten Fehler enthielten (unterstützt auch A3). Darüber hinaus kann auch der Status der Geräte (z. B. „In Prüfung“) abgefragt werden. Voraussetzung für diese Funktionalität ist eine durchgängige Verfolgbarkeit der Geräte durch den Fertigungsprozess, was z. B. durch RFID-Tags in den Werkstückträgern oder eindeutige Barcodes an den Geräten erreicht werden kann. Um bei einem defekten Gerät zwischen einem Montagefehler und beispielsweise einem Materialfehler unterscheiden zu können, ist die meist langjährige Erfahrung der Reparateure erforderlich. Ohne diese Unterscheidung würden Werker auch für nicht beeinflussbare Fehler verantwortlich gemacht werden, was sich negativ auf ihre Motivation auswirken könnte. Die genaue Analyse der Reparateure bietet aber auch noch eine weitere Chance: Mit Hilfe einer speziell für sie entwickelten Applikation haben sie die Möglichkeit, dem Werker eine – optional mit multimedialen Inhalten angereicherte – Rückmeldung bzgl. des Fehlers zu geben. Dabei kann seitens des Reparateurs der betroffene Fertigungsschritt ausgewählt werden, was genutzt wird, um das gegebene Feedback zielgerichtet vor der nächsten Ausführung anzuzeigen und den Werker somit für diesen Fehler zu sensibilisieren (A2).

Speziell zur Erfüllung von A3 nutzen wir Gamification-Elemente. Mitarbeiter erhalten für Aktionen Punkte (z. B. für fehlerfreie Geräte) und haben zudem die Chance, sich Herausforderungen zu stellen, die ihnen Bonuspunkte einbringen können (z. B. X Geräte in Folge fehlerfrei zu fertigen). Herausforderungen sind nach ihrem Schwierigkeitsgrad gestaffelt und um eine Langzeitmotivation aufzubauen, müssen schwierigere erst freigeschaltet werden. Ein wichtiger Aspekt ist, dass ein Mitarbeiter vollkommen frei entscheiden kann, ob er sich selbst Herausforderungen stellen möchte und diese nicht „diktiert“ werden, was ihn unter Druck setzen könnte und damit die Akzeptanz potentiell reduzieren würde. Durch die freie Konfigurierbarkeit der Widgets (A4), kann sich ein Mitarbeiter auch entscheiden, sämtliche Gamification-Elemente auszuschalten, sollte er sich davon eher abgelenkt fühlen. Auf ein kompetitives Element (z. B. Bestenliste) wurde aktuell verzichtet, da dies auch zu unerwünschten Effekten innerhalb der Mitarbeiterschaft führen kann. Stattdessen sind die Punkte zunächst nur für den Mitarbeiter selbst relevant und könnten, je nach Unternehmenskultur, etwa in längere Pausen, materielle Güter (z. B. kostenloser Kaffee) oder Prämien umgetauscht werden.

6 Usability-Untersuchung und erstes Feedback zu Funktionen

In einer ersten Usability-Untersuchung wurde die Interaktion von fünf Workern (männlich, 26-44 Jahre, vgl. [NM90]) mit dem System betrachtet. Hierzu wurden sie – zunächst ohne Erklärung des Systems – gebeten, ein einfaches, ihnen unbekanntes Produkt aus fünf Bauteilen mit Hilfe des Werkerassistenzsystems zu fertigen und dabei ihre Eindrücke zu schildern („Think aloud“-Ansatz). Im Anschluss wurde die Funktionsweise der Widgets näher erläutert und Detailfragen in Form eines semistrukturierten Interviews gestellt, um Erkenntnisse über die Funktionalitäten zu erhalten.

Nach einer kurzen, selbstständig durchgeführten Eingewöhnungsphase konnten vier von fünf Werkern die gestellte Fertigungs-Aufgabe ohne Probleme lösen, wobei die Zusatzfunktionen des Systems zunächst nicht weiter beachtet wurden. Dies zeigt, dass die Kernfunktionalität (vgl. A1) entsprechend umgesetzt wurde. Die Probleme des fünften Werkers lassen sich auf generelle Schwierigkeiten im Umgang mit Computern zurückführen (laut Vorabfragebogen „Erfahrung mit Computern nicht vorhanden“). Nach kurzer Hilfestellung konnte aber auch hier die Aufgabe gelöst werden. Die Detailfragen haben unter anderem gezeigt, dass die Konzepte zur Nachverfolgung nicht korrekt montierter Geräte und die damit zusammenhängende Rückmeldung der Reparateure positiv aufgenommen wurden. Es hat sich allerdings auch gezeigt, dass die Konzepte zur individuellen Gestaltung der Benutzerschnittstelle noch nicht intuitiv genug umgesetzt wurden. Hinsichtlich der Funktionalität wurde aber begrüßt, dass Widgets vollständig deaktiviert werden können, um so Platz für andere, als wichtiger betrachtete Elemente zur Verfügung zu haben. Hinsichtlich der Gamification-Elemente konnte kein klares Bild erlangt werden, da die geäußerten Anmerkungen eine hohe Varianz aufweisen. Zur näheren Untersuchung wird eine Evaluation mit mehr Teilnehmern und über einen Zeitraum von mehreren Wochen durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Entwicklung des adaptiven und gamifizierten Werkerassistenzsystems wurde zunächst der Ist-Zustand in der manuellen Endmontage zweier großer deutscher Industrie-Unternehmen erfasst, sowie die Anforderungen an ein zukunftsfähiges Werkerassistenzsystem erhoben. Durch die Betrachtung zweier unterschiedlicher Domänen (Ventilscheiben- und Küchengeräte-Produktion) wurde Wert darauf gelegt, nicht nur spezifische Bedürfnisse eines Unternehmens zu betrachten und so eine leichte Übertragbarkeit auf andere Domänen, die eine (überwiegend) manuelle Endmontage adressieren, zu sichern. Um eine dauerhafte Integration in Produktionsprozesse zu ermöglichen, ist in erster Linie eine längere Evaluation des Systems im realen Umfeld durchzuführen, die Aufschluss über Akzeptanz und Verbesserungspotentiale geben kann.

Danksagung

Die hier beschriebenen Arbeiten wurden teilweise mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS13015 (SmartF-IT, www.smartf-it-projekt.de) gefördert. Die Umsetzung des Systems erfolgte zusammen mit den beteiligten Partnern in der Demonstratoranlage des Verbundprojektes. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literaturverzeichnis

- [Ba08] Bannat, A.; Wallhoff, F.; Rigoll, G.; Friesdorf, F.; Bubb, H.; Stork, S.; Müller, H. J.; Schubö, A.; Wiesbeck, M.; Zäh, Michael F: Towards Optimal Worker Assistance: A Framework for Adaptive Selection and Presentation of Assembly Instructions. In Proceedings of the 1st International Workshop on Cognition for Technical Systems, (CoTeSys '08), München, 2008.
- [Bo13] Bonnard, Q.; Lemaignan, S.; Zufferey, G.; Mazzei, A.; Cuendet, S.; Li, N.; und Dillenbourg, P.: Chilitags: Robust Fiducial Markers for Augmented Reality. CHILI, EPFL, Schweiz. <http://chili.epfl.ch/software>, 2013, abgerufen am 24.07.2015.
- [De11] Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled R.; und Nacke L.: From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification". In Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (MindTrek '11). ACM, New York, NY, USA, S. 9-15, 2011.
- [KRV14] Knoch, S.; Reiplinger, M. und Vierfuß, R.: Mobile Staff Planning Support for Team Leaders in an Industrial Production Scenario. In Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM '14), Rom, Italien, International Academy, Research, and Industry Association (IARIA), S. 44-47, 2014.
- [KSH12] Korn, O.; Schmidt A. und Hörz, Th.: Assistive Systems in Production Environments: Exploring Motion Recognition and Gamification. In Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '12). ACM, New York, NY, USA, Article 9, S.1-5, 2012.
- [KWH13] Kagermann, H.; Wahlster, W. und Helbig, J. (Hrsg.): Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Berlin: Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V., http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf, 2013, abgerufen am 24.07.2015.
- [NM90] Nielsen, J. und Molich, R.: Heuristic evaluation of user interfaces. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90). ACM, New York, NY, USA, S. 249-256, 1990.
- [Rü13] Rütter, S.; Hermann, Th.; Mracek, M.; Kopp, S. und Steil, J.: An assistance system for guiding workers in central sterilization supply departments. In Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '13). ACM, New York, NY, USA, Article 3, S. 1-8, 2013.
- [Wa14] Wahlster, W.: Semantic Technologies for Mass Customization, In (Wahlster, W; Grallert, H.-J.; Wess, S.; Friedrich, H. und Widenka, T.): Towards the Internet of Services: The THESEUS Research Program, Springer, Berlin, S. 3-13, 2014.