

Entwicklung eines projektionsgestützten Assistenzsystems für die manuelle Montage

Alexander UNRAU, Daniel RIEDIGER, Sven HINRICHSEN

*Labor für Industrial Engineering, Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Liebigstraße 87, D-32657 Lemgo*

Kurzfassung: Die Anforderungen an die Gestaltung von Montagesystemen verändern sich. Dazu tragen sich verkürzende Innovations- und Produktlebenszyklen sowie eine zunehmende Variantenvielfalt bei, mit der eine Montage von kleinen Losen bis hin zur kundenindividuellen Montage einhergeht.

Besondere Herausforderungen von Industriebetrieben mit Montagebereichen bestehen darin, effiziente Montageprozesse mit einer hohen Prozessfähigkeit zu gestalten. Insbesondere bei Montagetätigkeiten mit größeren Arbeitsinhalten besteht vielfach das Problem, dass es aufgrund einer hohen Vielfalt an Produktvarianten und einer schwankenden Nachfrage zu Montagefehlern kommt. Zudem werden unter diesen Rahmenbedingungen oftmals Mengen- bzw. Produktivitätsziele verfehlt (z.B. Haller et al. 1999, S. 8 ff.). Ursachen hierfür liegen u.a. darin begründet, dass Anlernprozesse von neuen Beschäftigten unzureichend unterstützt werden und Informationen zu einzelnen Montagevorgängen nicht so aufbereitet sind, dass diese in kurzer Zeit vom Menschen erfasst und intuitiv richtig umgesetzt werden können.

Im Rahmen einer am Labor für Industrial Engineering der Hochschule Ostwestfalen-Lippe durchgeführten Studie wurde ein Prototyp eines projektionsgestützten Assistenzsystems für die manuelle Montage entwickelt und getestet. Das System enthält insbesondere Funktionalitäten zur ergonomischen Darstellung von Arbeitsanweisungen. Dazu zählen unter anderem Markierungs- bzw. Positionierungsdarstellungen und eine Pick-to-Light-Funktion. Durch die situationsangepasste Darstellung von Informationen kann die Komplexität von großen Arbeitsinhalten beherrschbar gemacht werden.

Schlüsselwörter: Manuelle Montage, Assistenzsysteme, Werkerassistenz, Gebrauchstauglichkeit, Pick-to-Light, Arbeitsanweisungen

1. Ausgangssituation und Problemstellung

Die steigende Nachfrage nach individuellen Produkten und der schwankende Bedarf von Kunden erhöhen die Anforderungen an Industriebetriebe mit Montagebereichen und an den Werker (vgl. Wiesbeck 2014). Eine der Schwierigkeiten bei der Herstellung variantenreicher Produkte liegt in der Beherrschung von komplexen, sich stetig ändernden Montageinhalten bei gleichbleibender Qualität und Produktivität. Der damit verbundene häufige Wechsel von Arbeitsschritten bewirkt ein relativ frühes Abbrechen der Lernkurve der Werker (vgl. Hunter et al. 1990) und kann zu hohen Anlern- bzw. Einarbeitungszeiten, vor allem bei komplexen Montagetätigkeiten, sowie einer höheren Fehlerrate führen.

Gleichzeitig stehen Industriebetriebe mit großen manuellen Montagebereichen angesichts der demografischen Entwicklung (vgl. Statistisches Bundesamt 2014, S. 49) vor der Herausforderung, Montagesysteme so zu gestalten, dass die Beschäftigungsfähigkeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für diese Tätigkeiten erhalten und eine hohe Produktivität gewährleistet wird.

In der Praxis werden vermehrt neue Medien zur Assistenz in der Montage eingesetzt (vgl. Wiesbeck et al. 2006), allerdings sind die Standardmedien zur Informationsvermittlung in der manuellen Montage nach wie vor Papier und Monitor. Montagebeschreibungen oder -schablonen in Papierform haben den Nachteil, dass sie leicht verschmutzt oder beschädigt werden können. Es kann zu Verständnisproblemen kommen, wenn diese nicht ausreichend genug beschrieben sind oder Sprachbarrieren bestehen. Zu jedem Auftrag muss womöglich ein anderer Montageablaufplan herausgesucht werden. Dies erhöht, insbesondere bei einer hohen Produktvarianz, die Suchzeiten und birgt das Risiko der Verwechslung in sich. Der Montageablauf ist somit anfälliger für Fehler und führt zu höheren nicht wertschöpfenden Nebentätigkeits- und Verteilzeiten.

Des Weiteren liegt das Problem in papierbasierten Methoden in der Verdichtung, Auswahl und der bedarfsgerechten Bereitstellung der Informationen. Aus arbeitspsychologischer Sicht sollte der Mensch nicht mit zu vielen Informationen überlastet werden (vgl. Münzberger 2005) oder zeitaufwändig nach Informationen suchen müssen, da Arbeitsanweisungen bzw. Montageablaufpläne sonst nicht oder nicht mit der nötigen Sorgfalt gelesen werden (vgl. Dreyer 2006). Innovative Assistenzlösungen können mit einer nutzungsgerechten Darstellung von Informationen dagegen dazu beitragen, Flexibilität, Qualität und Produktivität zu steigern, um Anforderungen an eine kundenindividuelle und variantenreiche Montage zu erfüllen (vgl. Müller et al. 2014).

2. Zielsetzung und Methodik

Ein projektionsgestütztes Assistenzsystem kann dazu eingesetzt werden, dem Bediener digitale Instruktionen anzuzeigen, damit er seine Aufgabe erfolgreich durchführen kann. Als Anwendungsgebiet für solche Assistenzsysteme sind Arbeitsbereiche mit manuellen Montagefähigkeiten prädestiniert.

Das projektionsgestützte Assistenzsystem soll insbesondere Funktionalitäten zur ergonomischen Darstellung von Arbeitsanweisungen enthalten und dem Bediener exakt anzeigen, welches Teil an welcher Stelle und auf welche Weise montiert werden muss. Es werden dabei nur die für den einzelnen Arbeitsschritt relevanten Informationen bereitgestellt. Dadurch soll nicht nur die Fehlerquote deutlich verringert, sondern auch die Anlern- und Auftragszeit erheblich verkürzt werden. Durch die situationsangepasste Darstellung von Arbeitsanweisungen und -abläufen kann die Komplexität von großen Arbeitsinhalten beherrschbar gemacht werden. Darüber hinaus soll das System einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz und Qualität, zur Reduzierung von Belastungen und Beanspruchungen für den Beschäftigten und zur Verbesserung der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit des Arbeitssystems leisten.

Die Vorgehensweise zur Entwicklung des Systems orientiert sich an den menschenzentrierten Gestaltungsprozess nach der Norm DIN EN ISO 9241-210:2011, die eine fortlaufende Evaluation mit Benutzern im Entwicklungsprozess vorsieht.

In einem ersten Schritt wurden Mitarbeiterinterviews (n=4) bei einem Hersteller von Holzbearbeitungsmaschinen durchgeführt, um die Anforderungen aus Mitarbeitersicht aufzunehmen.

In einem zweiten Schritt wurde die graphische Benutzeroberfläche entwickelt. Die Grundstruktur beinhaltet vier Bereiche, den Pick-to-Light-Bereich, den Positionierungs- und Markierungsbereich, den Anweisungsbereich mit Anweisungen in Bild-, Textform und Animationen und einen Statusbereich mit der Anzeige von Gamifications, wie z.B. Fortschrittsinformationen und prozessbezogenen Daten.

Das entwickelte Konzept wurde in Probandenversuchen (n=8) evaluiert. Zur Evaluierung des Graphical User Interface (GUI)-Demonstrators wurde ein LEGO-Auto als Montageobjekt gewählt (siehe Abbildung 1), da es auf wenige unterschiedliche Weisen montiert werden kann.

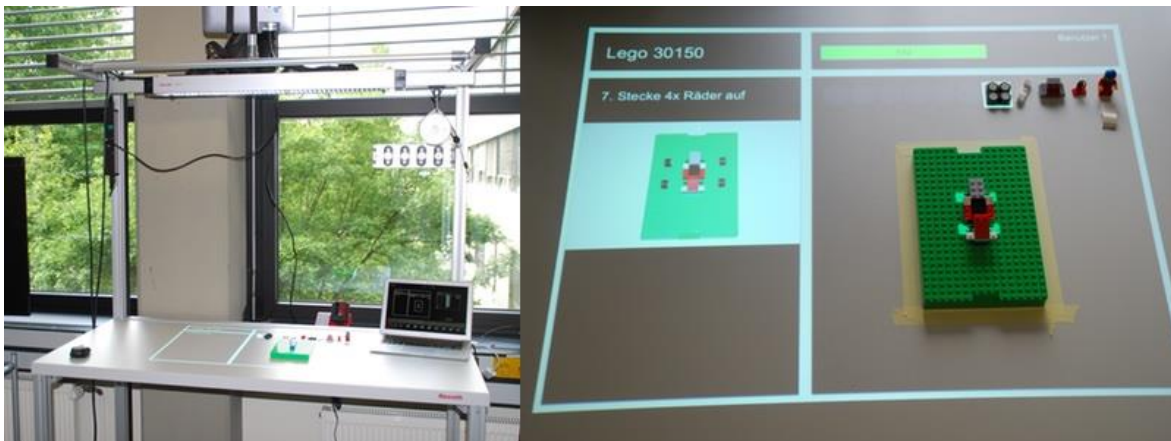


Abbildung 1: Versuchsaufbau des GUI-Demonstrators zur Montage des LEGO-Autos

Anschließend wurde das entwickelte Konzept zur projektionsunterstützten Werkerassistenz an ein Produkt aus einem Industriebetrieb adaptiert, da dieses eine praxisnahe Simulation des entwickelten Montageablaufplan-GUI gewährleistet. An einem Simulationsmontagearbeitsplatz im Labor für Industrial Engineering der Hochschule Ostwestfalen-Lippe wurde das System erprobt.

3. Entwicklung und Testergebnisse

Aus dem Ergebnis der Mitarbeiterinterviews ließ sich deutlich ableiten, dass diese viel Wert auf eine ansprechende und intuitive visuelle Darstellung legen, die nur die jeweils relevanten Informationen abbilden soll. Sie erhofften sich dadurch Anlernzeiten zu verkürzen und Fehler zu vermeiden.

Grundlage für die Entwicklung und Untersuchung war der Anwendungsfall der manuellen Montage eines für den Werker unbekanntes Produkts. Unterstützt wird der Werker von einem Assistenzsystem, das benötigte Informationen zum Arbeitsablauf auf den Arbeitsbereich bzw. auf das Bauteil oder das Produkt projiziert. Zunächst wurde eine Arbeitsanweisung in Papierform untersucht. Daraus wurden dann die zugrundeliegenden Informationen extrahiert. Diese wurden dem Bediener mittels einer projizierten graphischen Oberfläche im direkten Sichtbereich präsentiert (siehe Abbildung 2). Diese Herangehensweise hat den Vorteil, dass der Bediener im Gegensatz zur Verwendung eines Bildschirms seinen Blick vom Arbeitsbereich nicht abwenden muss, um die aktuelle Arbeitsanweisung ablesen zu können. Nach Stößel

et al. kann eine Anzeige der Informationen auf einer Arbeitsfläche am manuellen Arbeitsplatz eine Verbesserung der Effizienz in der manuellen Montage ergeben (vgl. Stößel et al. 2008).

Die Abbildung 2 zeigt links einen Werkstückträger mit Werkstücken auf die zwei grüne Ringe als Positionierungshilfe projiziert werden. Die Behälter mit Unterlegscheiben und Muttern werden im Sinne von Pick-to-Light optisch kenntlich gemacht. Die Arbeitsanweisung in Text- und Bild-Form wird auf die dafür vorgesehene Fläche projiziert. Rechts wird der relevante Behälter im Sinne von Pick-to-Light mit der zusätzlichen Information über die Entnahmemenge angestrahlt.



Abbildung 2: Versuchsaufbau des GUI-Demonstrators

Zur Bewertung des Anzeigekonzeptes wurde eine Usability-Studie (n=10) durchgeführt, welche die Gebrauchstauglichkeit eines Demonstrators darstellte (vgl. Ablassmeier 2009). Kurzum gilt es zu zeigen, ob der Werker seine Montageaufgabe durch den Demonstrator erfolgreich abschließen konnte. Die Usability wurde in Probandenversuchen mittels eines Fragebogens ermittelt.

Nach Brooke wird aus Referenzfragen eine Kennzahl zur Bestimmung der Usability, auch als System Usability Scale (SUS) bezeichnet, berechnet (vgl. Brook 1996). Brooke beschreibt ein bewährtes Verfahren zur Durchführung und Auswertung von Usability-Tests und somit zur Bestimmung der Usability. Der zugehörige Fragebogen umfasst zehn Fragen.

Jede der zehn Fragen kann auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet werden. Dabei entspricht die 1 der Aussage „Ich stimme gar nicht zu“ und die 5, als höchster Wert, der Aussage „Ich stimme voll zu“.

Aus diesen Einschätzungen lässt sich dann der SUS-Wert mittels einer Formel berechnen. Der SUS-Wert ergibt einen Wertebereich von 0 bis 100. Je höher dieser Wert ist, umso benutzerfreundlicher ist das getestete System. Dieser Durchschnittswert kann als Prozentwert interpretiert werden (vgl. Rauer 2011):

- 100% entsprechen einem *perfekten* System ohne Usability-Probleme.
- Werte über 80% deuten auf eine *gute bis exzellente* Usability hin.
- Werte zwischen 60% und 80% sind als *grenzwertig bis gut* zu interpretieren.
- Werte unter 60% sind Hinweise auf *erhebliche* Usability-Probleme.

Ein Vorversuch hat gezeigt, dass die Probanden die visuelle Arbeitsanweisung in Form des Montageablaufplan-GUI der Papierform vorziehen. Die intuitive Navigation durch den Montageablaufplan mittels der Schaltflächen konnte die Probanden überzeugen. Dies hat der SU-Wert belegen können, da dieser von *sehr gut* (91%) im Vorversuch auf *exzellente* (95%) in der Evaluierung des GUI für das LEGO-Auto gesteigert werden konnte. Zudem hat sich gezeigt, dass das entwickelte GUI-

Konzept zur Unterstützung des Werkers bei der Durchführung seiner Montageaufgabe durchaus geeignet sein könnte.

Die anschließende Hauptevaluation an einem industriellen Produkt hat gezeigt, dass die Probanden die visuelle Arbeitsanweisung in Form der Montageablaufplan-GUI gut anwenden konnten, um die Montage erfolgreich abzuschließen. Ein Beleg hierfür ist der SU-Wert, der einer *sehr guten* System Usability entsprach.

4. Kritische Würdigung

Die Erprobung des entwickelten projektionsgestützten Assistenzsystems hat gezeigt, dass in der manuellen Montage auf lange Ein- bzw. Anlernzeiten verzichtet werden könnte. Der Werker kann, ohne Vorkenntnisse über den Montageablauf eines Bauteils und nur nach kurzer Einführung in das projektionsgestützte Assistenzsystem, direkt mit der Montage beginnen. Durch die visuelle Werkerführung kann er einen hohen Übungsgrad erlangen und sich dann ggf. die angezeigten Montageinformationen individuell anpassen, indem er beispielsweise auf die Darstellung der Textinhalte verzichtet und nur mittels visueller Signale durch den Montageprozess geführt wird. Somit kann auch bei bereits angelernten Werkern ein Beitrag zur Fehlervermeidung geleistet werden.

Die Komplexität bezüglich manueller Montageprozesse sowie die gestiegene Variantenzahl können durch die visuelle Werkerführung im Sinne eines projektionsgestützten Assistenzsystems beherrschbar gemacht werden.

Kritisch kann angemerkt werden, dass das Projektionssystem noch nicht in „realen“ Umgebungen erprobt worden ist und noch keine Aussagen zur Robustheit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des Systems getroffen werden können. Diese Anmerkungen stellen gleichzeitig einen Ausblick für die weiteren Schritte dieses Projektes dar.

5. Literatur

- Ablassemeier M. (2009) Multimodales, kontextadaptives Informationsmanagement im Automobil. Diss. TU München. München: 2009.
- Brooke J. (1996) SUS: A "quick and dirty" usability scale. In: P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis 1996.
- Dreyer J. (2005) Situative Informationsbereitstellung an Fertigungseinrichtungen Informationsmodell und Erstellungssystematik. Diss. Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost-Jetter 2006.
- DIN EN ISO 9241-210 (2011) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010. Deutsches Institut für Normung e.V. Januar 2011. Berlin: Beuth Verlag 2011.
- Haller E; Heer O; Schiller E F (1999) Innovation in Organisation schafft Wettbewerbsvorteile – Im DaimlerChrysler-Werk Rastatt steht auch bei der A-Klasse-Produktion die Gruppenarbeit im Mittelpunkt. In FB/IE 48 1, S. 8 - 17.
- Hunter J E; Schmidt F L; Judiesch M K (1990) Individual differences in output variability as a function of job complexity. Journal of Applied Psychology 75 (1990) 1, S. 28-42.
- Müller R; Vette M; Mailahn O; Ginschel A; Ball J (2014) Innovative Produktionsassistenz für die Montage - Intelligente Werkerunterstützung bei der Montage von Großbauteilen in der Luftfahrt. wt Werkstattstechnik online 104 (2014) 9. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag 2014. S. 552-560.
- Münzberger E (2005) Modularer Lehrbrief "Einführung in die Arbeitsmedizin", Abschnitt Einführung in die Arbeitsphysiologie: <http://cpr.uni-rostock.de/gnd/140903658> (aufgerufen am 04.08.2015).

- Rauer M (2011) Quantitative Usability-Analysen mit der System Usability Scale (SUS), //SEIBERT/MEDIA GmbH, Wiesbaden: <https://blog.seibert-media.net/blog/2011/04/11/usability-analysen-system-usability-scale-sus/> (aufgerufen am 19.11.2015).
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2014). Statistisches Jahrbuch 2014 - Deutschland und Internationales. Wiesbaden: 2014.
- Stößel C; Wiesbeck M; Stork S; Zäh M F; Schubö A. (2008) Towards Optimal Worker Assistance: Investigating Cognitive Processes in Manual Assembly. In: M Mitsubishi K Ueda & F Kimura (Eds.), Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. London: Springer 2008. S. 245-250.
- Wiesbeck M (2014) Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. Diss. Technische Universität München. München: Herbert Utz Verlag 2014.
- Wiesbeck M; Zäh MF; Rudolf H; Vogl W (2006) New Media and Technology Support in Manual Assembly. In: Fischer X. et al. (Hrsg.): Research in Interactive Design: Proceedings of Virtual Concept 2006. Playa Del Carmen / Mexiko, 26. November - 1. Dezember 2006. Paris (Frankreich): Springer 2006.