

Entwicklung eines interaktiv, adaptiven Montageassistenzsystems

Manuel KÖLZ¹, Andreas BÄCHLER¹, Peter KURTZ², Thomas HÖRZ¹

¹ *Fakultät Maschinenbau, Hochschule Esslingen
Kanalstraße 33, D-73728 Esslingen*

² *Fachgebiet Arbeitswissenschaften, TU Ilmenau
Max-Planck-Ring 12, D-98693 Ilmenau*

Kurzfassung: Ziel eines aktuellen Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines adaptiven Montageassistenzsystems, welches ältere Mitarbeiter unterstützen, gleichzeitig aber auch leistungsgeminderten Menschen ermöglichen soll, manuelle Montagetätigkeiten – trotz der steigenden Produktkomplexität entsprechend den industriellen Anforderungen – qualitätsgerecht durchzuführen. In einer Vorstudie wurden verschiedene Interaktions- und Adaptivitätsparameter auf unterstützende Assistenz in der Montageausführung untersucht. Die experimentellen Untersuchungen wurden in einer Montagezelle in U-Form nach dem Fließfertigungsprinzip mit speziellem Werkstückträgersystem für Kfz-Anlasser durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Gestaltungsgüte der visuellen Interaktion sehr stark von den Umgebungseinflüssen sowie dem Routinegrad des Ausführenden abhängt.

Schlüsselwörter: Assistenzsystem, manuelle Montage, Werkerführung, Adaptivität, Mensch-Maschine-Interaktion, Null-Fehler-Produktion

1. Hintergrund und Ziel

In den letzten Jahren hat sich das Verbraucherverhalten stark gewandelt. Weg von Massenprodukten mit langer Lebensdauer hin zu individualisierten Produkten mit kürzeren Lebenszyklen. Diese Veränderungen wirken sich in der industriellen Produktion mit einem steigenden Anteil an Kleinserien mit geringen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt aus. Für die Produktionstechnologien bedeutet dies, dass eine automatisierte Montage aufgrund der hohen Flexibilitätsanforderungen zukünftig immer häufiger nicht mehr wirtschaftlich rentabel ist und die manuelle Montage mit dementsprechend hohen Anforderungen vor allem in Deutschland wieder mehr an Bedeutung gewinnt (Lotter 2012). Manuelles Montieren erfordert ein hohes Maß an Geschicklichkeit und Anpassbarkeit. Eine methodisch systematische Arbeitsgestaltung und Einarbeitung können in diesem Sinne eine wertvolle Unterstützung geben. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines adaptiven Montageassistenzsystems, welches als Antwort auf die Folgen des demographischen Wandels ältere Mitarbeiter unterstützen soll (Statistisches Bundesamt 2009). Gleichzeitig soll damit aber auch leistungsgeminderten Menschen ermöglicht werden manuelle Montagetätigkeiten - trotz der steigenden Produktkomplexität entsprechend der jeweiligen Leistungsfähigkeit und den industriellen Anforderungen - qualitätsgerecht durchzuführen (Bächler 2014). Derartige Assistenzsysteme kostengünstig und mit hoher Marktakzeptanz bereitzustellen ist eine weitere Anforderung in diesem Vorhaben (Hörz et al. 2013). Aufgrund dessen wurde in einer ersten Voruntersuchung ein mögliches

Adaptionskonzept zur individuellen Anleitung auf seine Realisierbarkeit hin untersucht.

2. Methodische Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Zielerreichung gliedert sich in vier Phasen. Ausgehend von der Erarbeitung mehrerer alternativer Ansätze zur Gestaltung einer adaptiven Werkerführung in Anlehnung an die REFA-Planungssystematik (Refa 1993), gilt es in der ersten Phase verschiedene Konzepte zu entwickeln, eines auszuwählen, auszuarbeiten und umzusetzen. Anschließend erfolgt in der zweiten Phase die Auswahl einer der Zielsetzung entsprechend geeigneten Montageaufgabe bzw. eines geeigneten Montageobjektes zur praxisnahen Simulation. Die Gestaltung des Versuchsaufbaus erfolgt in Phase drei, gefolgt von der Versuchsdurchführung.

2.1 Konzeption einer adaptiven Werkerführung

Unter Adaption wird im Folgenden die automatische Anpassung der Anleitung (Art und Umfang der Informationsbereitstellung) an das jeweilige Leistungsniveau des Anwenders (hier: Probanden) durch das Assistenzsystem verstanden. Bei den Leistungsniveaus wird zwischen vier Stufen, Anfänger, Geübter, Profi und Experte, differenziert.

Aus drei Konzepten wurde mittels eines paarweisen Vergleichs und einer Nutzwertanalyse, dass sich am besten dafür eignende Konzept (siehe Abb. 1) ermittelt. Zu den Bewertungskriterien zählen u. a. die Dynamik des Systems, die Fehleranfälligkeit, die Flexibilität, die Förderung und Motivationswirkung auf die Probanden sowie die individuelle Anpassbarkeit auf den einzelnen Anwender.

Anfänger	Geübter	Profi	Experte
Taktzeitermittlung je Arbeitsplatz	Taktzeitermittlung je Arbeitspaket	Taktzeitermittlung je Arbeitspaket	Taktzeitermittlung je Arbeitspaket
$t^* > 1,5 \times \text{MTM}$	$1,5 \times \text{MTM} > t^* > 1,2 \times \text{MTM}$	$1,2 \times \text{MTM} > t^* > 1,1 \times \text{MTM}$	$1,1 \times \text{MTM} > t^*$
* Gleitender Mittelwert der letzten 5 Durchgänge			
Nach 20 fehlerfrei montierten Anlässen, schaltet das System, wenn 90% der letzten 20 Durchgänge innerhalb einer entsprechenden Streubreite (SB) liegen automatisch in eine höher Anleitungsstufe			
$\text{SB} > 15 \text{ sek.}$	$15 \text{ sek.} > \text{SB} > 9 \text{ sek.}$	$9 \text{ sek.} > \text{SB} > 4 \text{ sek.}$	$4 \text{ sek.} > \text{SB}$

Abbildung 1: Adaptivitätskonzept mit Untergliederung in die jeweiligen Leistungsniveaus.

Das favorisierte Adaptivitätskonzept leitet den Werker im Anfänger-Modus bei der Entnahme und dem Verbau mittels in-Situ (direkt in den Arbeitsbereich) projizierter Videos, Symbolik, Textunterstützung und farblicher Positionskennzeichnung an.

Nach fünf Montagedurchgängen erfolgt die Ermittlung des gleitenden Mittelwerts der letzten fünf durchgeführten Montageprozesse je Arbeitsplatz. Liegt dieser Wert unterhalb dem 1,5 fachen des zugrundeliegenden Methods Times Measurement (MTM) – Zeitwert (MTM 2011), wird der Werker im Weiteren als Geübter angeleitet. Der Anleitungsumfang reduziert sich damit von der Anleitung mittels Videos und Animationen auf die Darstellung mit Hilfe von Bildern. In Anlehnung an geltende Industriestandards und aufgrund der notwendigen Referenzierbarkeit auf einen normierten bzw. allgemeingültigen Standardwert fiel im vorliegenden Anwendungsfall die Wahl auf die MTM-Verfahren. Im Profi-Modus erfolgt die Anleitung mittels Symbolik, Textunterstützung und farblicher Positionskennzeichnung, während hingegen im Experten-Modus lediglich die Entnahme mittels Symbolik angeleitet wird. Der Verbau erfolgt hierbei ohne Anleitung. Bei fehlerhafter Prozessausführung stuft das System das aktuelle Leistungsniveau des Werkers jeweils niedriger ein und unterstützt erneut mit einer entsprechend umfangreicheren Anleitung. Um ein längeres Verweilen auf einem der mittleren Leistungsniveaus zu vermeiden und um den Werker entsprechend zu fördern, werden zusätzlich immer die letzten 20 Prozessdurchgänge bewertet. Wenn 90% (18 der 20 Durchgänge) innerhalb einer entsprechenden Streuung (Maß für Leistungsschwankungen) liegen, so reduziert das System selbständig den Anleitungsumfang und stuft den Werker mit einem höheren Leistungsniveau ein.

2.2 Montageaufgabe

Zur Untersuchung des Adaptivitätskonzeptes, sowie zur Nachbildung einer möglichst realen Arbeitssituation, wurde als Anwendungsfall aus der industriellen Praxis die Montage eines PKW-Starters aufgegriffen. In Abbildung 2 ist ein vollständig montierter, aus 22 Einzel- und Normteilen sowie 21 Fügeoperationen bestehender, PKW-Starter dargestellt.



Abbildung 2: PKW-Starter.

Zur Vorbereitung auf die Studie wurde im Vorfeld der zur Herstellung notwendige Prozessablauf angepasst. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Auslegung des Werkstückträgers als Montagevorrichtung, um alle erforderlichen Fügeoperationen nach den Kriterien einer Montagegerechten Produktgestaltung ausführen zu können. (Hesse 2012)

Der Versuchsaufbau zur Montage des PKW-Starters entspricht einer geschlossenen U-Zelle (Abbildung 3) im Fließfertigungsprinzip. Das umlaufende Karree mit mobilem Bandedement (um ins Innere der Fließfertigung zu gelangen) unterstützt einen ununterbrochenen Materialfluss der Werkstückträger.

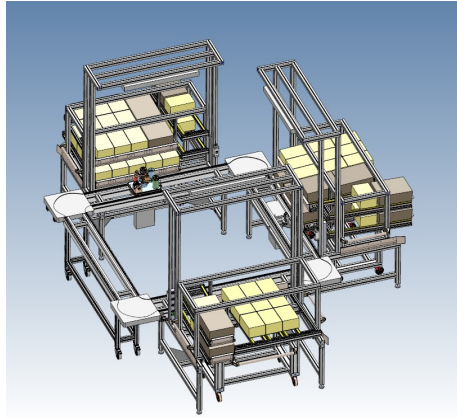


Abbildung 3: Geschlossene U-Zelle mit drei Arbeitsplätzen und mobilem Bandelement.

2.3 Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung standen drei Konzepte zur Auswahl, die miteinander verglichen wurden. Im Rahmen einer durchgeführten Nutzwertanalyse stellte sich für die Voruntersuchungen, die Versuchsdurchführung an nur einem Arbeitsplatz, als die zu favorisierende Variante heraus. So ist zu erwarten, dass sich bei repetitiver Durchführung der Arbeitsinhalte mit gleichbleibenden Routinen und entsprechender Wiederholhäufigkeit der Lerneffekt bei den Probanden schneller einstellt. Dies ermöglicht probandenbezogene Einstufungen in variierende Leistungsniveaus innerhalb dieser Vorstudie. Nachteilig, aber in diesem Entwicklungsstadium jedoch noch als vernachlässigbar einzustufen, sind die nicht berücksichtigten Laufwege. Diese führen im realen Prozess zu immer wiederkehrenden Unterbrechungen der Konzentration und beeinflussen den Anwender individuell (leistungssteigernd oder –schwächend).

Ein an den Praxisversuch anschließender Fragebogen mit Fragestellungen zum Hintergrundwissen und dem persönlichen Befinden der Probanden sowie zu den im Versuch gemachten Erfahrungen und Empfindungen unterstützt die Interpretation der Ergebnisse und die Ableitung entsprechender Handlungspotenziale.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Voruntersuchung entsprechen den erhobenen Daten von fünf Probanden (Studenten verschiedener Fakultäten und Disziplinen) im Alter von 24 bis 25 Jahren, mit und ohne technischer Ausbildung.

Entsprechend der Zielsetzung, die Anleitung auf ihren selbsterklärenden Charakter hin zu evaluieren, eine Lernkurve bei gleichzeitiger Null-Fehler-Produktion zu ermitteln sowie eine gestufte Informationsbereitstellung auf deren Praxistauglichkeit zu evaluieren, konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden.

Das zu untersuchende Konzept ermöglicht dem Anwender das Durchlaufen einer Lernkurve. Die in Abbildung 4 dargestellten Montagezeiten über den Montagedurchgängen zeigt eine asymptotische Annäherung aller fünf Probanden, zwischen dem fünften und zehnten Durchlauf im Experten-Modus, an eine Montagezeit von ca. 50 Sekunden.

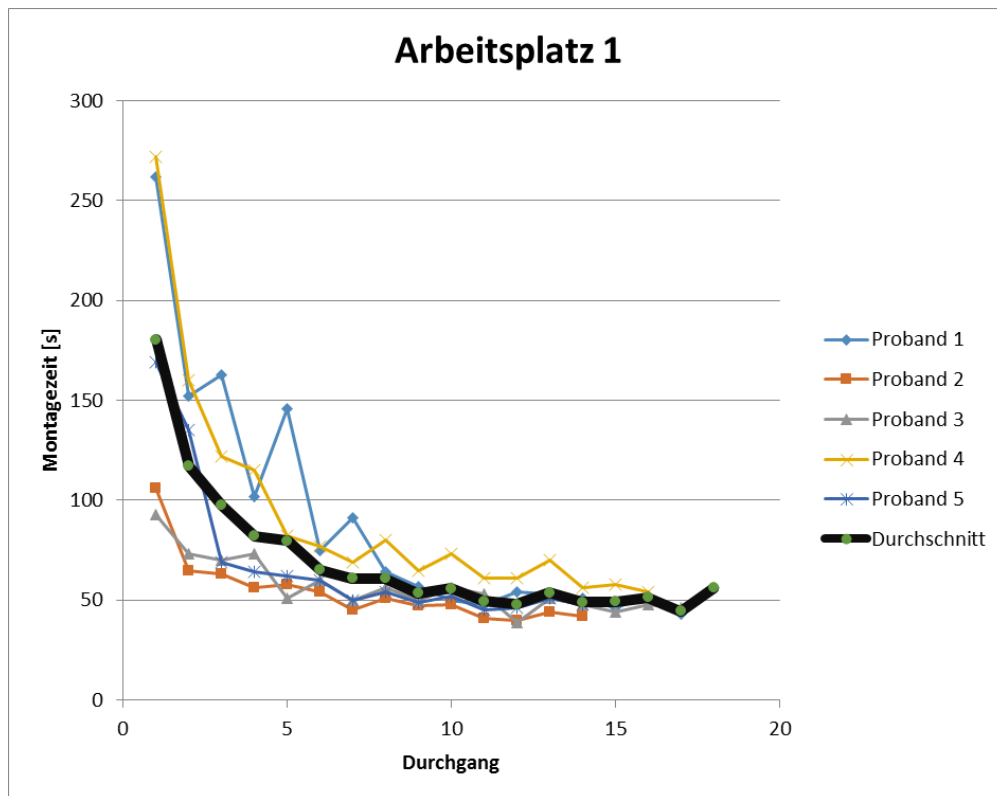


Abbildung 4: Lernkurve der Probanden für die Montageinhalte eines PKW-Starters am Arbeitsplatz 1 von 3.

Alle Probanden wurden durch das System befähigt ohne zusätzliche Unterstützung den Montageprozess ohne Fehler durchzuführen und den Ablauf in eine Stereotype zu überführen. Bei der Abstufung der Anleitung sowie den dafür gewählten Zeitfaktoren zeigten sich sehr große Differenzen zwischen fachlich affinen und fachfremden Probanden. Tendenziell neigt das entwickelte Konzept, wie der Abbildung 5 zu entnehmen ist, zur Unterforderung der Anwender. Jedoch war die, durch das System ausgelöste Motivation bei allen Probanden durchweg positiv.

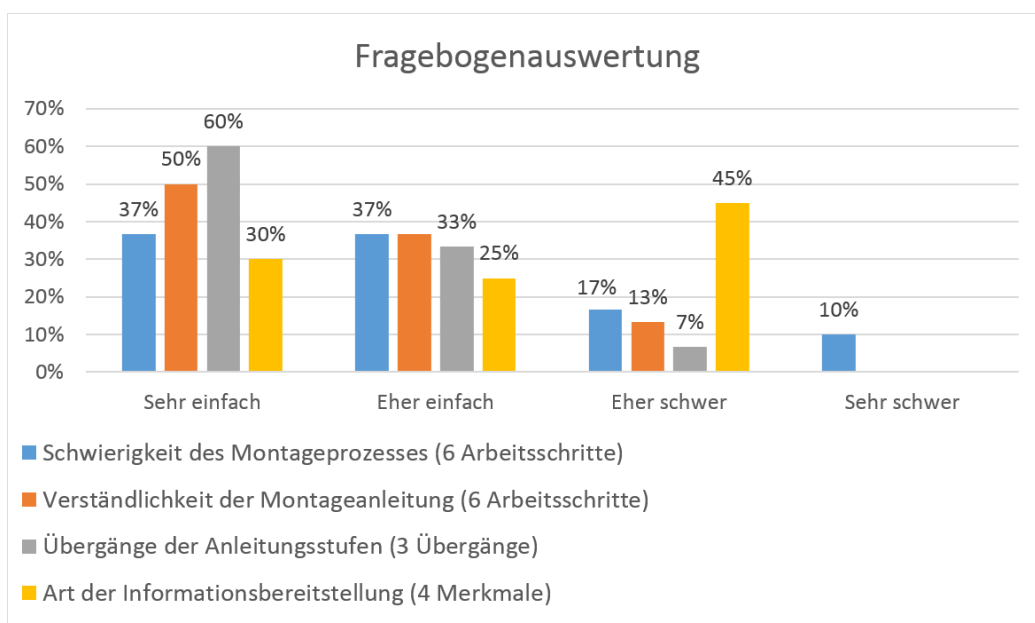


Abbildung 5: Fragebogenauswertung bei einer Probandenanzahl von fünf Personen.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Studie hat trotz der geringen und nicht repräsentativen Probandenanzahl wichtige Erkenntnisse zur Weiterentwicklung und Konzeption einer praxistauglichen Systemadaption des Assistenzsystems hervorgebracht. So müssen die Anzahl der Anleitungsstufen, deren Inhalte und die klassifizierenden Merkmale dafür überarbeitet und mit einem breitgefächerten Probandenspektrum evaluiert werden. Nur so können bei dieser stark individuell beeinflussten Systemrückkopplung realisierbare und praxistaugliche Erkenntnisse gewonnen werden. Des Weiteren ist ein Konzept zur anwenderorientierten Ermittlung der Zeitfaktoren zu entwickeln.

5. Literatur

- Bächler L, Bächler A, Kölz M, Hörz T, Heidenreich T (2014) Über die Entwicklung eines prozedural-interaktiven Assistenzsystems für leistungsgeminderte und –gewandelte Mitarbeiter in der manuellen Montage. In: Soeffke Uni Magdeburg (Hrsg) Tagung Mensch Maschine. Magdeburg.
- Deutsche MTM-Vereinigung e.V. (2011) Basic MTM, MTM-1 / UAS. Zeuthen.
- Hesse S (2012) Montagegerechte Produktgestaltung. In: B. Lotter, H.-P. Wiendahl (Hrsg) Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis (2. Aufl.). Heidelberg: Springer, 32.
- Hörz T, Kölz M, Sieber V (2013) Assistenzsysteme in der manuellen Montage. In: ZHAW Institut für Mechatronische Systeme (Hrsg) Tagungsband Internationales Forum Mechatronik. Winterthur: 16.
- Lotter B (2012) Einführung. In: B. Lotter, H.-P. Wiendahl (Hrsg) Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis (2. Aufl.). Heidelberg: Springer, 1-8.
- REF-93: REFA-Methodenlehre der Betriebsorganisation Grundlagen der Arbeitsgestaltung. München Hanser.
- Statistisches Bundesamt (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Begleitheft zur Pressekonferenz am 18. November 2009.