

Einsatz eines ultraschallbasierten Montageassistenzsystems in der manuellen Montage

Yannic SCHUSTER, Daniel RIEDIGER, Sven HINRICHSEN

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

Kurzfassung: Montageassistenzsysteme dienen im Allgemeinen dazu, den Werker kooperativ und situationsbezogen bei der Ausführung seiner Handlungen zu unterstützen (Gerke 2015, S. 9). Gerade durch eine Veränderung der Anforderungen an Produktionsbetriebe, die in einer gestiegenen Variantenvielfalt oder einer höheren Komplexität der Produkte zum Ausdruck kommen, erscheint die Unterstützung des Werkers durch geeignete Assistenzsysteme sinnvoll, um die Effizienz und Prozessfähigkeit in der manuellen Montage zu sichern und die Beschäftigungsfähigkeit von Mitarbeitern zu erhalten. Die Firma Sarissa hat ein ultraschallbasiertes Assistenzsystem für manuelle Montagearbeiten entwickelt. Dieses unterstützt den Werker während seiner Tätigkeit und soll zur Fehlerreduzierung beitragen. Im Rahmen einer im Labor für Industrial Engineering der Hochschule Ostwestfalen-Lippe durchgeführten Studie wurde dieses Assistenzsystem an einem Arbeitsplatz installiert und erprobt.

Schlüsselwörter: Manuelle Montage, Montageassistenzsystem, Werkerassistenzsystem, Anlernzeit, Low Cost Intelligent Automation

1. Beschreibung des Assistenzsystems

Das Local Positioning System (LPS) des Unternehmens Sarissa ist ein ultraschallbasiertes Montageassistenzsystem, welches die dynamischen Bewegungen des Beschäftigten im Montageprozess über Ultraschall erfasst, diese mit einem vordefinierten Arbeitsablauf vergleicht und diesen somit auf mögliche Abweichungen hin kontrollieren kann. Das System besteht aus Ultraschallsendern, einer Empfangseinheit sowie einem Bildschirm, der über eine USB-Schnittstelle mit der Empfangseinheit verbunden ist. Abbildung 1 zeigt die Empfangseinheit (linkes Bild) sowie die Ultraschallsender, die der Werker während der Arbeit an seinen beiden Handgelenken trägt.



Abbildung 1: Bestandteile des LPS (Empfangseinheit und Ultraschallsender)

Die im System befindlichen Sender erzeugen im Millisekunden-Takt Schallwellen, welche die Empfangseinheit erfasst. Über Laufzeitmessungen kann die Position der Sender im dreidimensionalen Koordinatensystem in Echtzeit ermittelt werden, so dass alle dynamischen Bewegungen des Werkers vom System aufgezeichnet werden. Während der Nutzung des Systems erhält der Werker über den Bildschirm wichtige Informationen zum aktuell auszuführenden Arbeitsschritt. Die Arbeitsanweisung enthält eine kurze Erklärung in Textform sowie ein Bild, welches den jeweiligen Zielzustand zeigt. Abbildung 2 zeigt eine Montageanleitung eines beispielhaften Arbeitsschrittes.



Abbildung 2: Montageanleitung eines beispielhaften Arbeitsschrittes

Wird ein Arbeitsschritt erfolgreich ausgeführt, zeigt das System automatisch den nächsten Prozessschritt an. Das System erkennt den Abschluss eines Vorgangs daran, dass die Ultraschallsender die im jeweiligen Prozessschritt definierten Positionen im dreidimensionalen Koordinatensystem erreichen. Erkennt das LPS eine fehlerhafte Bewegung des Werkers, erscheint eine Fehlermeldung auf dem Bildschirm und es ertönt ein akustisches Signal. Grundlage hierfür ist die Zuweisung von sogenannten Fehlgriffen zu einzelnen Prozessschritten. Fehlgriffe bezeichnen Positionen, die die Hände des Werkers während der Durchführung eines Arbeitsschrittes nicht einnehmen dürfen (zum Beispiel Griff in den falschen Behälter). In erster Linie soll das LPS laut Hersteller die Qualität im Montageprozess sicherstellen und damit eine Null-Fehler-Montage ermöglichen. Weiterhin soll der Anlernprozess deutlich beschleunigt und vereinfacht werden. Die digitale Arbeitsanweisung soll die herkömmliche Arbeitsanweisung in Papierform ersetzen und den Mitarbeiter Schritt für Schritt durch den Arbeitsprozess führen.

2. Beschreibung des Arbeitssystems

Das in dieser Studie betrachtete Arbeitssystem dient dazu, einen kleinen Drehantrieb des Unternehmens Holter Regelarmaturen (HORA) zu montieren. Das Produkt besteht aus sechs unterschiedlichen Bauteilen und zwölf sogenannten C-Teilen (Schrauben, Unterlegscheiben etc.). Als Arbeitsmittel wird ein Druckluftschrauber mit unterschiedlichen Bit-Aufsätzen verwendet. An dem Montageeinzelarbeitsplatz ist ein Werker tätig. Ein Arbeitsplatz zur Montage des Produktes wurde zu Forschungs- und

Entwicklungszwecken im Labor für Industrial Engineering aufgebaut und weiterentwickelt. Dieser ist in Abbildung 3 dargestellt.

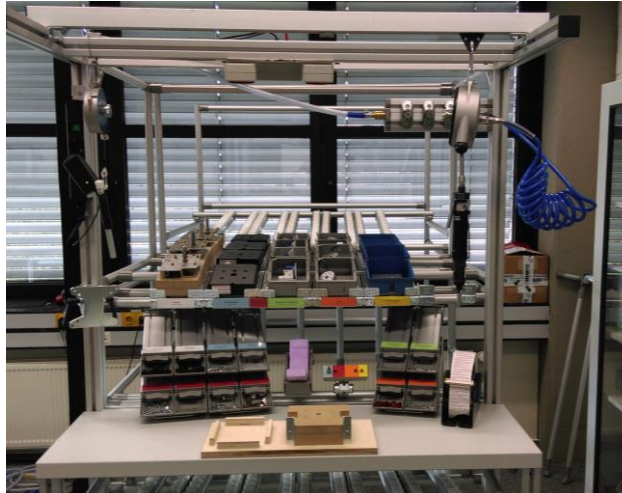


Abbildung 3: Arbeitsplatz Ausgangssituation

Vor Installation des Assistenzsystems wurde das Arbeitssystem nach dem Konzept der „Low Cost Intelligent Automation“ (LCIA) optimiert (Takeda 2006), auch um über einen standardisierten Arbeitsprozess eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung des Assistenzsystems zu erfüllen. Konkret wurden folgende Verbesserungen umgesetzt:

- Einführung von Farbmarkierungen zur Verbesserung der Orientierung des Werkers (Zuordnung von Schrauber-Bit zu C-Teil und von C-Teil zum Bauteil über Farbe)
- Anordnung der Komponenten in Verbaureihenfolge
- Umbau des Materialwagens zum Rüstwagen (sämtliches Material und Werkzeug befindet sich auf dem Wagen), so dass über einen Austausch des Wagens Rüstzeiten (von einem Produkt zum nächsten Produkt) reduziert werden können
- Entwicklung neuer Vorrichtungen zur Vereinfachung der Handhabung
- Berücksichtigung der Austauschbarkeit der Vorrichtungen zur Reduzierung der Rüstzeiten
- Entwicklung einer neuen Handhabungshilfe zur Montage von Kunststoffringen
- Optimierte Materialbereitstellung für die C-Teile

3. Vorgehensweise

Zunächst wurde das Assistenzsystem am Arbeitsplatz installiert und konfiguriert. Mit der Konfiguration wurde der Soll-Ablauf festgelegt und die Montageanleitung erstellt. Die Umsetzung wurde durch ein detailliertes Handbuch sowie den Telefonsupport von Sarissa unterstützt. Anschließend wurde die Nutzung des Systems im Montageprozess analysiert. Dafür wurde die Montage am Arbeitsplatz mit zehn Probanden evaluiert, mit dem Ziel, die Anlern- und Montagezeiten, sowie die Qualitätskennzahl „Defects per Unit“ (DPU) zu messen und zu vergleichen. Die Kennzahl „DPU“ gibt die durchschnittliche Anzahl an Fehlern eines montierten Produkts an und wird auf Grundlage folgender Formel ermittelt (Schnurr 2015):

$$\frac{\text{Anzahl Fehler gesamt}}{\text{Montierte Einheiten gesamt}} = \text{Defects per Unit}$$

Die Anlernzeit wurde wie folgt definiert: Ein Proband ist angelernt, wenn er sich in der Lage fühlt, das Produkt selbstständig zu montieren. Im Rahmen der Evaluation führte die eine Hälfte der Probanden den Arbeitsablauf ohne und die andere Hälfte mit Nutzung des LPS durch. Alle Probanden wurden zuvor unterwiesen und sollten nach dem Anlernen selbstständig zwei Produkte montieren. Während der Anlern- und der Ausführungsphase wurden Zeitmessungen durchgeführt und die montierten Produkte auf Fehler geprüft. Um zusätzlich die Benutzerfreundlichkeit des LPS zu beurteilen, wurde abschließend ein Usability-Test durchgeführt.

4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Installations- und Konfigurationsphase

Zu Beginn wurde die Empfangseinheit über dem Arbeitsplatz in einem geeigneten Winkel zur Arbeitsfläche, den Materialbehältern und dem Durchlaufregal installiert. Anschließend erfolgte die Systemkonfiguration. Dazu mussten alle Materialpositionen (Greifbehälter), Montagepositionen, Werkzeugpositionen und Vorrichtungpositionen am Arbeitsplatz definiert werden. Hierzu wurden die jeweiligen Sender zu den einzelnen Positionen im Raum geführt. Im System wurden so die einzelnen Positionen angelegt. Anschließend wurden Greifbereiche erstellt, die definierten Positionen zu Greifbereichen hinzugefügt, Prozessschritte für die Montage angelegt und die Greifbereiche den jeweiligen Prozessschritten zugeordnet. Gleichzeitig wurden auch Fehlgriffe definiert, die in einzelnen Arbeitsschritten vom Werker nicht angesteuert werden dürfen und der Fehlererkennung dienen. Abschließend wurden Bilder und Texte zur digitalen Montageanleitung hinzugefügt.

Die mechanische Einrichtung des Systems stellte sich als unkompliziert dar. Es musste lediglich darauf geachtet werden, die Empfangseinheit so zu positionieren, dass die Schallwellen sich von den relevanten Positionen der Sender an den Handschuhen ungestört zur Empfangseinheit ausbreiten können. Tabelle 1 zeigt eine Auflistung der Restriktionen, die bei der Systemkonfiguration auftraten.

Tabelle 1: Restriktionen bei der Einrichtung

Restriktion	Lösungsansätze
Einzelne Greifbereiche wurden teilweise nicht erreicht/ waren zu klein	Ausreichend große Positionen definieren
Beim Montieren wurden oft fälschlicherweise Fehlgriffe identifiziert, da nahezu die gesamte Montage auf einer Vorrichtung stattfindet und sich somit Positionen überlagern oder sehr nah beieinander liegen	Keine Fehlgriffe für Montagepositionen definieren
Sender-Positionsunterschiede beim Greifen/ Montieren mit der rechten und linken Hand	Alle Positionen für beide Hände definieren

4.2 Anlern-Phase

In der Evaluation wurden die Anlernzeiten der Probanden ermittelt. Ohne Einsatz des Assistenzsystems betrug die durchschnittliche Anlernzeit 666 Sekunden, mit Assistenzsystem durchschnittlich 472 Sekunden. Mit Nutzung des LPS konnte die Anlernzeit somit um knapp 30% verkürzt werden. Das Ergebnis ist in erster Linie auf die digitale Arbeitsanweisung sowie auf Hinweise bei Fehlgriffen im Montageprozess zurückzuführen. Die Probanden, die vom LPS unterstützt wurden, haben sich schneller in der Lage gesehen, den Prozess sicher auszuführen.

4.3 Ausführungs-Phase

Abbildung 5 zeigt den Vergleich der Qualitätskennzahl DPU und der durchschnittlichen Montagezeit in den definierten Testumgebungen. Folgende Formel wurde für die Ermittlung der DPU angewendet:

$$\frac{\text{Anzahl Fehler aller Probanden in der Montage}}{\text{Montierte Einheiten gesamt}} = \text{Defects per Unit}$$

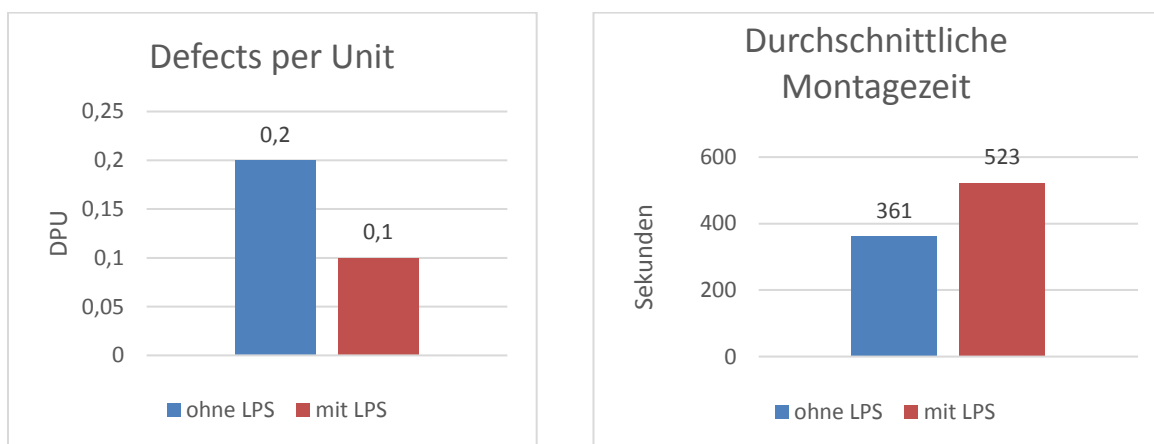


Abb. 4: Vergleich DPU und der durchschnittlichen Montagezeiten (n=10)

Durch den Einsatz des LPS konnte eine bessere Montagequalität erzielt werden. Dieses Ergebnis ist auf die digitale Arbeitsanweisung sowie auf Hinweise bei Fehlgriffen zurückzuführen. Die durchschnittliche Montagezeit konnte mit Nutzung des LPS nicht verbessert werden. Sie ist sogar um rund 30 Prozent höher. Dieses Ergebnis ist zum einen auf die kurze Anlernphase (der Proband war auf die Unterstützung der elektronischen Arbeitsanweisung angewiesen) zurückzuführen, in der der Proband zwar den Umgang mit dem LPS kennen lernte, jedoch den Montageprozess weniger betrachtete. Zum anderen traten bei der Nutzung des Systems Einschränkungen auf. Greifbereiche wurden teilweise durch die Probanden nicht erreicht oder analog dazu Fehlgriffe nicht erkannt oder fälschlicherweise Fehlermeldungen vom System angezeigt, so dass dadurch die Ausführungsdauer zugenommen hat. Folgende Problemursachen können angeführt werden:

- Individuelle Handpositionen/ -bewegungen der Probanden beim Greifen
- Variierende Größe der Hände
- Verrutschen des Senders auf der Hand

Weiterhin muss die Arbeitsanweisung vor Ausführung des Prozessschritts betrachtet werden, da bei Erreichen der Behälter oder Montagepositionen automatisch der nächste Prozessschritt angezeigt wird.

4.4 Usability-Test

Für den Usability-Test wurde ein Fragebogen spezifisch für dieses System entwickelt. Grundlage dafür ist ein von Brooke (1996) beschriebenes Verfahren zur Durchführung und Auswertung von Usability-Tests. Dabei wird aus bestimmten Referenzfragen eine Kennzahl errechnet, die eine Bewertung der Usability eines Systems zulässt (Brooke, 1996). Der entwickelte Fragebogen umfasst Themengebiete, wie die Einfachheit der Bedienung, allgemeine Schwachstellen, Akzeptanz und Komplexität. Nach einer Montage des Produkts am Arbeitsplatz mit Nutzung des LPS haben insgesamt zehn Probanden den Fragebogen ausgefüllt. Im Ergebnis dieser Befragung weist das System eine gute bis exzellente Usability auf. Besonders positiv bewerten die Probanden die einfache Bedienung sowie das schnelle Lernen mit dem System zu arbeiten. Kritisch beurteilten einige Probanden die Systemakzeptanz im betrieblichen Kontext, da der Werker die Ultraschallsender an seinen Händen tragen muss. Zudem werden Inkonsistenzen im System, wie das Nichterreichen von Greifbereichen oder das Nichterkennen von Fehlgriffen, bemängelt.

5. Fazit

Das Assistenzsystem von Sarissa bietet eine gute Möglichkeit, die Produktqualität positiv zu beeinflussen und die Anlernzeiten zu verkürzen. Die Studie hat ferner gezeigt, dass vor allem die klaren, kleinschrittigen Arbeitsanweisungen in Bild- und Textform, genauso wie die Erkennung von Fehlgriffen, dem Werker gerade bei Aufnahme einer neuen Tätigkeit Orientierung bieten. Das LPS kann jedoch bei der Montage von kleindimensionierten Teilen bzw. Produkten auf engem Raum Fehlhandlungen nicht eindeutig erkennen und damit auch nur eingeschränkt die Qualität gewährleisten. Bereits bei der Systemkonfiguration hat sich herausgestellt, dass die Montagepositionen an diesem Arbeitsplatz nicht kontrolliert werden können. Der Einfluss des Systems auf die Montagezeit ist zudem kritisch zu betrachten, da diese durch Schwachstellen des Systems sogar erhöht werden kann. Das System bietet aber bei größer dimensionierten Produkten und unter der Voraussetzung einer anforderungsgerechten Ablauf- und Arbeitsplatzgestaltung gute Möglichkeiten, eine hohe Prozessfähigkeit zu gewährleisten und die Anlernphase neuer Beschäftigter zu unterstützen.

6. Literatur

- Brooke, J. (1996) A "quick and dirty" usability scale. In: Jordan, P.W.; Thomas, B.; Weerdmeester, B.A., McClelland, I.L. (Hrsg.): Usability Evaluation in Industry. London: Taylor and Francis, S. 189-194.
- Gerke, W. (2015) Technische Assistenzsysteme – vom Industrieroboter zum Roboterassistenten. Berlin: De Gruyter Oldenbourg.
- Schnurr, R. Qualitätskennzahlen <http://www.sixsigmablackbelt.de/qualitaetskennzahlen/> (aufgerufen am 01.12.2016).
- Takeda, H. (2006) LCIA – Low Cost Intelligent Automation – Produktivitätsvorteile durch Einfachautomatisierung. 2. Aufl. Landsberg am Lech: mi-Fachverlag.

