



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



Audi



Schnaithmann



University of Stuttgart  
Germany

Hochschule Esslingen  
University of Applied Sciences

KORION  
Automation - Software - Training



BOSCH

## MotionEAP – Ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion

Thomas Kosch, M.Sc., Romina Kettner, M.Sc., Dipl.-Inf. Markus Funk,  
Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart  
{vorname.nachname}@vis.uni-stuttgart.de

### Kurzfassung

Der Trend eine hohe Anzahl von gleichen Bauteilen in Serie herzustellen bewegt sich weiter weg in Richtung individueller Herstellung von Bauteilen nach den Wünschen der Kunden. Dies erzeugt neue Herausforderungen für Produktionsstätten, da oft nur ein geringer Bedarf von speziell angefertigten Bauteilen besteht. Entsprechend müssen Montagevorgänge angepasst werden. MontagearbeiterInnen müssen daher oft neue Arbeitsabläufe mit unterschiedlichen Arbeitsanleitungen zur Produktion von Bauteilen mit geringer Losgröße erlernen. Dies hat einen kognitiven Mehraufwand zur Folge, welcher die Qualität der produzierten Bauteile beeinflussen und Auswirkungen auf die Herstellungszeit haben kann. Das Ziel des Projekts motionEAP besteht darin, ein System zu entwickeln, welches sowohl Montageanleitungen als auch eine Verbaukontrolle auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion bereitstellt. MotionEAP ist in der Lage, Arbeitsabläufe und Montageanleitungen zu erlernen, um MontagearbeiterInnen entsprechend mit projizierten Feedback zu unterstützen. Zusätzlich stellt motionEAP mit Hilfe einer Tiefenkamera eine Verbaukontrolle bereit, um MontagearbeiterInnen auf Verbau- oder Eingriffsfehler hinzuweisen. Darüber hinaus wurden Studien durchgeführt, um die Effizienz von motionEAP bezüglich gemachter Fehler, benötigter Zeit sowie kognitivem Aufwand zu untersuchen.

## 1. Einleitung

Produktionsstätten erleben durch die Profilierung verschiedener Technologien eine Veränderung traditioneller Produktionsprozesse. Insbesondere mit Hinblick auf die Entwicklung der Industrie 4.0, stellt sich ein Trend weg von der Massenproduktion zu individuellen Produkten mit geringen Losgrößen ein. Davon sind unter anderem manuelle Montagerbeitsplätze betroffen, welche bei MontagearbeiterInnen in einen kognitiven Mehraufwand resultieren können. Gleichzeitig werden Technologien, wie beispielsweise Assistenzsysteme, dazu benutzt um MontagearbeiterInnen in neue Produkte einzulernen und die kognitive Belastung zu verringern [2].

2013 initiierte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie das Projekt motionEAP<sup>1</sup>, welches mit Hilfe einer Tiefenkamera Bewegungen sowie den Verbau von Teilen durch einen MontagearbeiterIn erkennt, um entsprechendes Augmented Reality basiertes Feedback auf den Arbeitsplatz zu projizieren. Das Konsortium des Projekts setzt sich sowohl aus Industriepartnern (Audi AG, Schnaithmann Maschinenbau GmbH, GWW – Gemeinnützige Werkstätten und Wohnstätten GmbH, BESSEY Tool GmbH & Co. KG, KORION Simulation & Assistive Technology GmbH, Robert Bosch GmbH) sowie Forschungspartnern (Hochschule Esslingen, Universität Stuttgart) zusammen. Primär beschäftigt sich das Projekt mit den folgenden Aspekten: Kognitive Unterstützung für MontagearbeiterIn in der manuellen Montage durch die Augmentierung des Arbeitsplatzes mittels Projektion und die Diskussion von ethischen Sichtweisen, welche bei einem Einsatz eines Assistenzsystems mit kognitiv beeinträchtigten MontagearbeiterInnen von Relevanz sind [1].

Während der Laufzeit des Projekts entstanden verschiedene Prototypen unter Berücksichtigung der Anforderungen eines einzelnen Montagerbeitsplatz, kooperativer Montagerbeitsplätze sowie verschiedener Augmented Reality basierter Assistenzsysteme bei der Kommissionierung (siehe Abbildung 1).

---

<sup>1</sup> [www.motioneap.de](http://www.motioneap.de)

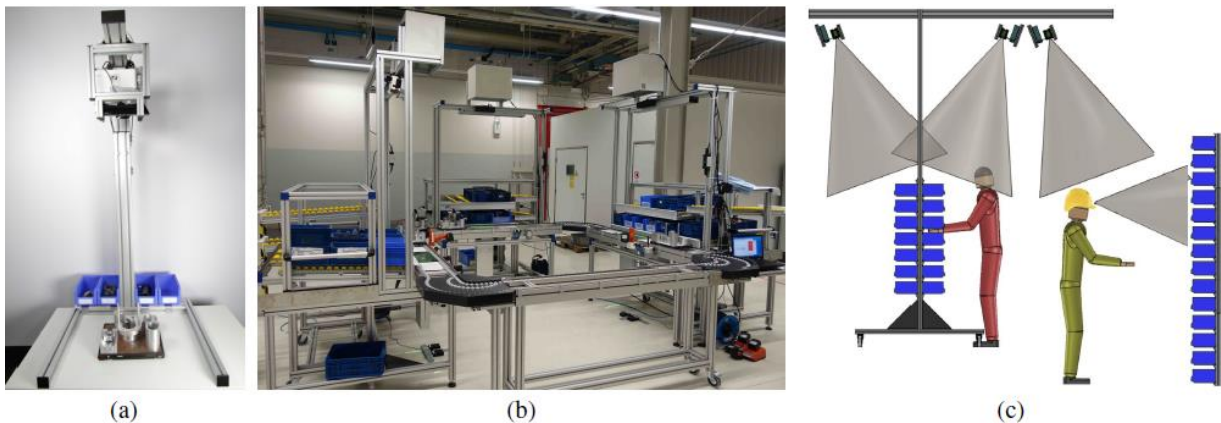


Abbildung 1: Konstruierte Prototypen: (a) Einzelner Arbeitsplatz bestehend aus einer Kinect v2 zur Verbau- und Entnahmeerkennung und einem Projektor zur Bereitstellung von Arbeitsanleitungen und Feedback, (b) Montagezelle bestehend aus drei Kamera-Projektor Systemen, (c) Schematische Darstellung mobiler projektionsbasierter Unterstützung während Kommissionierungsprozesse.

## 2. Kognitive Unterstützung während manueller Montageprozesse

Mittels motionEAP werden dem/der MitarbeiterIn Montageanleitungen in Form von Projektionen auf der Arbeitsfläche angezeigt (siehe Abbildung 2). Über diese Hilfestellung bekommt der/die MitarbeiterIn Feedback bezüglich der korrekten oder fehlerhaften verbauten Montageteile nach jedem Montageschritt sofort angezeigt.



Entnimmt der/die NutzerIn ein falsches Einzelteil aus dem Kleinteil-Ladungsträger wird anstelle des grünen, ein rotes Licht auf die Box projiziert. Nach demselben Prinzip erfolgt das Feedback bezüglich der korrekten Montage auf einem Werkstückträger im Montagebereich. Eine der Besonderheiten von motionEAP ist die präzise Lokalisierung des zu verbauenden Montageteils, wie beispielsweise die Erkennung einer fehlenden Schraubenunterlegscheibe. Durch den Einsatz einer

Tiefenerkennungskamera ist das System in der Lage innerhalb kürzester Zeit auf Fehler in Auswahl oder Montage von Bauteilen zu reagieren und kontextbewusstes Feedback zu geben.

Zur Evaluation von motionEAP wurden verschiedene Studien durchgeführt. So konnte zunächst eine Steigerung der Effizienz bei gleichzeitiger Reduktion von Fehlern mit projektionsbasierten Montageanleitungen festgestellt werden [3]. Dazu nahmen 64 Teilnehmer an einer Studie teil, in der projektionsbasierte Montageanleitungen gegen Piktogramme evaluiert wurden.



*Abbildung 3: Montagearbeiter setzt eine Schraubzwinde mit Hilfe von In-Situ Feedback zusammen.*

Zusätzlich wurde die Darstellung einer Montageanleitung mittels Projektion mit projizierten Videoanleitungen verglichen. Häufig war zu beobachten, dass sich nach kurzer Zeit ein Lerneffekt bei den Probanden einstellte [4]. Als einen weiteren Themenschwerpunkt lässt sich Adaptivität betrachten. Um diese Nutzerzentriert zu gestalten, werden sogenannte Key Performance Indicators (KPI), wie beispielsweise mit Anzahl der gemachten Fehler und lange Wartezeiten zwischen den einzelnen Montageschritten, erfasst. Als eine weitere Komponente in der Anpassung der Adaptivität wurden externe Parameter erhoben. So wurden physiologische Messungen durchgeführt, um beispielsweise die Hautleitfähigkeit der Montagearbeiter zu erfassen und daraus die kognitive Last abzuleiten. Aus den Ergebnissen wurden Designentscheidungen für eine intelligente adaptive Umgebung abgeleitet [4]. In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass leistungsgeminderte Arbeiter mit Hilfe projektionsbasierter Montageanleitungen sehr gut in den Montagearbeitsprozess integriert werden können [5] (siehe Abbildung 3). Dies wird darauf zurückgeführt, dass motionEAP soweit unterstützt und assistiert, dass eine Steigerung der Effizienz und eine Verringerung der Fehlerrate bei Montagearbeiten von leistungsgeminderten Arbeitern erzielt werden konnte [6]. Durch den Einsatz von begleitenden spielerischen Elementen konnten leistungsgeminderte Montagearbeiter weiter motiviert werden. Auf Basis der durchgeführten Studien konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Gamification in projektionsbasierten Montageanleitungen zu einer Steigerung der Effizienz führt [9, 10, 11].

### 3. Evaluierung verschiedener Anleitungsmodalitäten

Im Zuge des Projekts wurden alternative Feedbackmodalitäten gegenüber projiziertem Feedback verglichen. In einer Studie mit 16 TeilnehmerInnen wurden Montageanleitungen auf Papier, einer Augmented Reality Brille, einem Tablet und in Form von Projektion visualisiert (siehe Abbildung 4). Während der Studie wurden die Anzahl der Fehler, die benötigte Zeit zur Fertigstellung sowie die kognitive Last gemessen. Die Auswertung zeigt eine geringere Fehlerrate, kürzere Zeiten zur Fertigstellung sowie eine geringere kognitive Last mit projizierter Anleitung gegenüber der alternativen Feedbackmodalitäten [8].

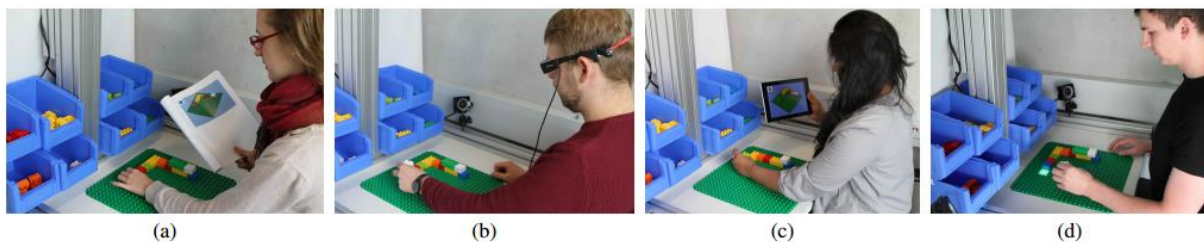


Abbildung 4: Evaluierung verschiedener Feedbackmodalitäten hinsichtlich der benötigten Zeit für die Fertigstellung sowie der Anzahl der Fehler während der Verbauung. (a) Papieranleitung, (b) Augmented Reality Anleitung mit direkter Projektion auf eine Datenbrille, (c) Tabletanleitung, (d) Projektionsbasierte Anleitung.

### 4. Evaluierung verschiedener Fehlerfeedbackmodalitäten

Während im Projekt motionEAP vorwiegend das Bereitstellen von Montageanleitungen im Vordergrund steht, ist die Kommunikation von Montagefehlern bezüglich der Qualitätssicherung von hoher Relevanz. Im Zuge einer Studie wurden drei verschiedene Fehlerfeedbackmodalitäten evaluiert. Hierzu zählen haptisches Feedback in Form eines vibrierenden Handschuhs, auditives Feedback sowie visuelles Fehlerfeedback (siehe Abbildung 5). In einer Nutzerstudie, in welcher die Fehlerfeedbackmodalitäten subjektiv bewertet wurden, schnitten das haptische und visuelle Feedback hinsichtlich der Benutzererfahrung am besten ab. Bezüglich des auditiven Fehlerfeedbacks äußerten die TeilnehmerInnen Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre und fühlten sich zusätzlich durch den Fehlerton abgelenkt. Visuelles Fehlerfeedback wurde bei feinmotorischen Arbeiten bevorzugt [7].

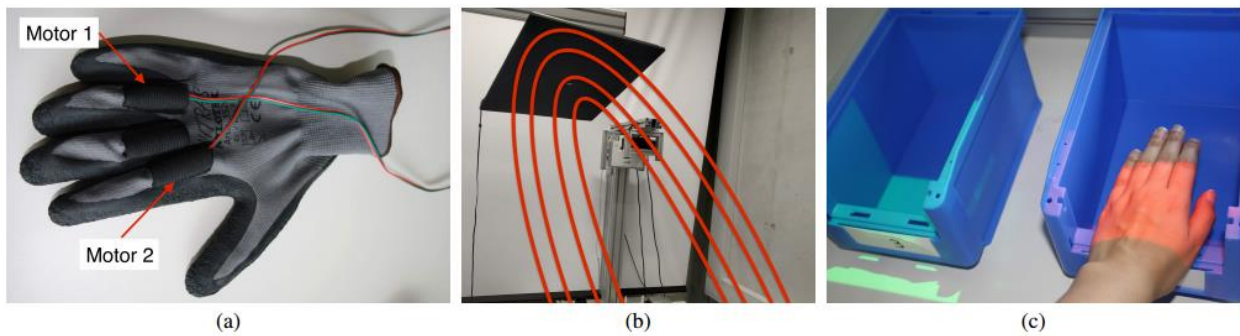


Abbildung 5: Repräsentation von drei möglichen Feedbackmodalitäten zur Kommunikation von Verbau- und Eingriffsfehler. (a) Haptisches Feedback mittels eines Vibrationshandschuh mit zwei Motoren, (b) Auditives Feedback mit Hilfe einer Sounddusche, (c) Visuelles Feedback durch die Projektion von rotem Licht.

Weiterhin wurde eine Studie mit kognitiv beeinträchtigten MontagearbeiterInnen durchgeführt, um die Effizienz der Feedbackmodalitäten während einer Montage zu evaluieren [12]. Während der Montage wurden die Anzahl der Fehler und die benötigte Zeit mit der jeweiligen Fehlerfeedbackmodalität gemessen. Anschließend bewertete die TeilnehmerInnen subjektiv die jeweilige Modalität. Hinsichtlich der Anzahl der Fehler sowie der benötigten Zeit bis zur Fertigstellung schnitt das visuelle Feedback am besten ab. Haptisches Fehlerfeedback mittels des Vibrationshandschuhs zeigte sich hingegen als schlechteste Modalität, da die TeilnehmerInnen die Vibration als unangenehm empfanden und während der Montage abgelenkt wurden. Auditives Feedback konnte mittelmäßige Ergebnisse erzielen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die zunehmende Variantenvielfalt und die hohen Lagerkosten erleben wir eine Veränderung in den Produktionsstätten und deren manuellen Montagearbeitsplätzen. Die Unternehmen gehen dazu über, immer mehr Produkte „on demand“ herzustellen. Dies führt dazu, dass kaum ein produziertes Teil zweimal nacheinander produziert wird (Losgröße 1). Der daraus resultierende kognitive Mehraufwand für MontagearbeiterInnen ist ein zentrales Problem, welches sich in Produktionsstätten bereits heute abzeichnet und bald allgegenwärtig sein wird. Darüber hinaus können durch die technologische Weiterentwicklung im Bereich Industrie 4.0, manuelle Montagearbeitsplätze durch Vernetzung intelligent gemacht werden. Das Projekt motionEAP evaluiert eine projektionsbasierte Mensch-Maschine Schnittstelle zur Bereitstellung von Montageanleitungen. Basierend auf der Kombination von Bewegungserkennung mittels einer hochauflösenden Kamera und dem Einsatz von adaptiven Feedbackvarianten mittels eines Projektors können Szenarien in denen ArbeiterInnen Hilfe

benötigen erkannt werden und benutzerspezifisch mit projiziertem Feedback unterstützt werden. MotionEAP hat momentan drei Einsatzszenarien: Unterstützung bei Bedarf im Fehlerfall, Bereitstellung von Montageanleitungen für unerfahrene ArbeiterInnen und kontinuierliche Unterstützung von Menschen mit kognitiven Behinderungen.

Die Verbreitung komplexer Montagen von Bauteilen steigt im Zeitalter der Industrie 4.0 drastisch, sodass Produkte auf den Wunsch der Kunden zugeschnitten werden müssen. In den Montageprozess eingebettete und allgegenwärtige Assistenzsysteme werden daher in Zukunft von hoher Relevanz sein. Ziel dabei ist es die individuellen Fertigungen mit geringem Aufwand für Montagearbeiter bereitzustellen. Darüber hinaus ermöglichen eingebettete Assistenzsysteme Optimierungen im Bereich der Steigerung der Produktionseffizienz sowie im Qualitätsmanagement. In dem Projekt motionEAP werden somit zentrale wirtschaftliche Herausforderungen des heutigen und zukünftigen Arbeitsmarktes in den Fokus gestellt und gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern Lösungen ermittelt.

## Literatur:

- [1] Behrendt, H., Funk, M., & Korn, O. (2015). Ethical Implications Regarding Assistive Technology at Workplaces. In *Collective Agency and Cooperation in Natural and Artificial Systems* (pp. 109-130). Springer International Publishing.
- [2] Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Cognitive assistance in the workplace. *IEEE Pervasive Computing*, 14(3), 53-55.
- [3] Funk, M., Bächler, A., Bächler, L., Korn, O., Krieger, C., Heidenreich, T., & Schmidt, A. (2015, July). Comparing projected in-situ feedback at the manual assembly workplace with impaired workers. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (p. 1). ACM.
- [4] Funk, M., Dingler, T., Cooper, J., & Schmidt, A. (2015, September). Stop helping me-I'm bored!: why assembly assistance needs to be adaptive. In *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 1269-1273). ACM.
- [5] Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Cognitive assistance in the workplace. *IEEE Pervasive Computing*, 14(3), 53-55.
- [6] Funk, M., Mayer, S., & Schmidt, A. (2015, October). Using In-Situ Projection to Support Cognitively Impaired Workers at the Workplace. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility* (pp. 185-192). ACM.
- [7] Funk, M., Heusler, J., Akcay, E., Weiland, K., & Schmidt, A. (2016). Haptic, Auditory, or Visual? Towards Optimal Error Feedback at Manual Assembly Workplaces. In *Proceedings of the 9th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA'16)*. ACM, New York, NY, USA.
- [8] Funk, M., Kosch, T., & Schmidt, A. (2016, September). Interactive worker assistance: Comparing the Effects of Head-Mounted Displays, In-Situ Projection, Tablet, and Paper Instructions. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp'16)*, 2016.
- [9] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015, June). Towards a gamification of industrial production: a comparative study in sheltered work environments. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems* (pp. 84-93). ACM.
- [10] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015, July). Design approaches for the gamification of production environments: a study focusing on acceptance. In *Proceedings of the 8th ACM*



*International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (p. 6).  
ACM.

[11] Korn, O., Funk, M., & Schmidt, A. (2015). Assistive Systems for the Workplace: Towards Context-Aware Assistance. *Assistive Technologies for Physical and Cognitive Disabilities*, 121-133.

[12] Kosch, T., Kettner, R., Funk, M., & Schmidt, A. (2016, October). Comparing Tactile, Auditory, and Visual Assembly Error-Feedback for Workers with Cognitive Impairments. In: *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility (ASSETS'16)*, 2016.