

Augmentierte Produktion. Assistenzsysteme mit Projektion und Gamification für leistungsgeminderte und leistungsgewandelte Menschen

Oliver Korn^{1,3}, Stephan Abele², Albrecht Schmidt¹, Thomas Hörz³

Universität Stuttgart, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS)¹

Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft (Abteilung BWT)²

Hochschule Esslingen – University of Applied Sciences³

Zusammenfassung

Assistenzsysteme in der Produktion beschränken sich bislang darauf, den Mitarbeitern Instruktionen zur Montage von Produkten bereitzustellen. Eine Anpassung an ihre körperlichen und geistigen Fähigkeiten findet dabei nicht statt. Auch neue Konzepte der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) finden nur langsam Anwendung. Mit dem Prototypen eines augmentierten Assistenzsystems wurde experimentell untersucht, wie zwei neuere Ansätze der MMI sich auf Personen mit Leistungsminderungen auswirken: Die Projektion von Informationen direkt in den Arbeitsbereich (in-situ) und die Anreicherung von Arbeitsprozessen mit spielerischen Elementen (Gamification).

1 Einleitung und Motivation

Der wachsende Bedarf an individualisierten Produkten und deren häufiger Wechsel führen zu einer ansteigenden Variantenvielfalt, die unter anderem eine Senkung der Stückzahl pro Variante bzw. Produkt zur Folge hat (Kluge 2011; Zäh et al. 2007). Diese Reduktion der Losgrößen in der Produktion bedingt eine Renaissance manueller Tätigkeiten insbesondere in der Montage. Um dennoch wirtschaftlich zu bleiben, werden diese arbeitsintensiven Tätigkeiten gerne an „Beschützende Werkstätten“ vergeben: Einrichtungen in denen Menschen mit Behinderung arbeiten. Damit diese leistungsgeminderten Arbeiter auch komplexere Produkte oder Produktvarianten fertigen können, benötigen sie adäquate Unterstützung. Diese muss durch neuartige Assistenzsysteme erfolgen, da eine individuelle menschliche Assistenz nicht wirtschaftlich ist.

Ein weiterer Einsatzbereich für solche Assistenzsysteme sind leistungsgewandelte Mitarbeiter. Diese haben im normalen Alterungsprozess körperliche und geistige Einbußen erlitten und produzieren daher langsamer und/oder in reduzierter Qualität. Die Zahl dieser Mitarbei-

ter wird in Mitteleuropa durch den demographischen Wandel weiter ansteigen (Brach & Korn 2012).

Der verstärkte Einsatz leistungsgeminderter und -gewandelter Mitarbeiter erfordert Assistenzsysteme für eine augmentierte Produktion. Diese wurden im Projekt ASLM (Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage) entwickelt und evaluiert. Um die Anforderungen zu klären, wurden in Vorstudien 134 Unternehmen zu ihren aktuellen und zukünftigen Anforderungen an Assistenzsysteme für die industrielle Produktion befragt. Gut 17% gaben an, dass bereits mehr als 6% ihrer Mitarbeiter leistungsgemindert oder leistungsgewandelt sind. Alle waren davon überzeugt, dass diese Zahl weiter ansteigen wird. Obwohl die Mehrheit den Begriff „Assistenzsystem“ noch immer mit der Kontrolle von Arbeitsergebnissen konnotiert, würden doch beinahe 87% Assistenzsysteme begrüßen, die den körperlichen und geistigen Zustand von Mitarbeitern verbessern. Immerhin 63% finden auch Systeme attraktiv, die motivierende Elemente in den Arbeitsprozess integrieren. Aus den Vorstudien (Korn et al. 2012a) sowie einem frühen Prototypen (Korn 2012) wurden folgende Anforderungen abgeleitet:

- Steigerung der Prozessorientierung
- Vereinfachung der Bedienoberflächen bzw. Unterstützung natürlicher Interaktion
- Integration von Mechanismen zur Steigerung der Arbeitszufriedenheit und Motivation

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Assistenzsysteme in der Industrie

Die Entwicklungen in der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) hinken den Entwicklungen in der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) meist hinterher. Dies ist systembedingt, da die Implementierung von Neuerungen in dem geschützten, stabilitäts- und sicherheitsoptimierten Bereich von Produktionsumgebungen zusätzlichen Normen unterliegt. Auch ist die Industrie ähnlich den Banken weniger experimentierfreudig mit neuen Technologien: Laut einer Studie des Fraunhofer IAO aus dem Jahr 2011 haben von der Vielzahl neuer Interaktionstechniken bislang nur Touchscreens ihren Weg in die Fabriken gefunden (Bierkandt et al. 2011).

Bei der visuellen Gestaltung sind die aktuellen Systeme zweckbetont. Sie versuchen, die Vielzahl an Informationen übersichtlich und systematisch darzustellen. Während solche Interfaces für Facharbeiter oder Ingenieure möglicherweise das Optimum an Informationsdichte darstellen, sind sie für leistungsgewandelte Mitarbeiter mit leichten kognitiven Einschränkungen oder leistungsgeminderte Personen zu komplex und kleinteilig. Im Hinblick auf die oben genannten Anforderungen ist zwar die erste (Prozessorientierung) berücksichtigt, vereinfachte Bedienung bzw. natürliche Interaktion oder gar die Integration motivierender Elemente standen bislang jedoch nicht im Fokus.

2.2 Visuelle Augmentierung

Warum werden Informationen zur Montage sowie Bedienoberflächen nicht direkt in den Arbeitsbereich projiziert? Diese Frage wurde bereits 2001 bei der Entwicklung des Everywhere Displays Projektors (Pinhanez 2001) gestellt. Dieser projizierte das Licht auf Oberflächen in Besprechungsräumen. Zugleich ermöglichte videobasierte Handerkennung einfache Interaktionen mit der Projektion. Das System war seiner Zeit weit voraus und der hohe Aufwand für Montage, Kalibration und Betrieb verhinderte eine weitere Verbreitung.

2004 wurde ein verbessertes System vorgestellt, das die direkte Manipulation projizierter Elemente per Hand mit einer Latenz von unter 100 ms ermöglichte (Letessier & Bérard, 2004). Noch immer war die Robustheit ein Problem. Dies verbesserte sich über die Jahre, so dass 2009 ein Laptop-basiertes Projektionssystem für die Augmentierung der Arbeit von „Büronomaden“ vorgestellt werden konnte (Kane et al. 2009). Hierbei wurden zwei Laser-Mikroprojektoren direkt am Laptop angebracht um den Arbeitsbereich beidseitig zu vergrößern. Wieder war die Erkennung von Händen und Gesten integriert.

Fokus dieser Entwicklungen waren stets die drei Bereiche Büro, Unterhaltung oder mobiler Computereinsatz (wearable computing). Der Einsatz von Bewegungserkennung für Produktionsumgebungen wurde zwar bereits 2010 vorgeschlagen – der Fokus lag jedoch auf der Überwachung großer Bereiche (Sardis et al. 2010). Die Augmentierung von Produktionsarbeitsplätzen durch Projektion wurde bislang kaum systematisch erforscht.

2.3 Augmentierung durch Gamification

Die Idee, Spiele nicht allein zur Unterhaltung sondern zur Erreichung lebenspraktischer Ziele einzusetzen, kam zuerst in der Pädagogik auf. Bereits Plato weist auf die Verwandtschaft der Wörter Bildung (*paideia*), Kind (*pais*) und Lehren (*paideuo*) hin und argumentiert, dass die beste Lehre im Geiste des kindlichen Spiels stattfindet (Hunnicut 1990). Mittlerweile werden spielerische Bildungsansätze unter den Begriffen „Serious Games“ oder „Applied Games“ vielfach angewandt. In diesem Kontext wird Gamification verstanden als der Einsatz von für Spiele charakteristischen Designelementen in nicht-spielerischen Kontexten (Deterding et al. 2011). Im Unterschied zu Serious oder Applied Games steht nicht das Spiel im Vordergrund – vielmehr werden „ernsthafte“ Tätigkeiten mit spielerischen Komponenten angereichert.

Während spielerische Ansätze für Jüngere verbreitet sind, ist die Verwendung für Ältere (häufig leistungsgewandelte Personen) sowie für Menschen mit Behinderungen seltener. Das Spiel *SilverPromenade* (Gerling et al. 2011) kombiniert Nintendos Wii-Remote und Balance Board um virtuelle Spaziergänge zu ermöglichen. Es wurde thematisch und in der Interaktionsgestaltung an die Bedürfnisse älter Menschen angepasst und entsprechend gerne genutzt. Eine andere Lösung für Ältere, welche stärker dem Konzept der Gamification entspricht, wurde im Projekt *motivation60+* umgesetzt (Brach et al. 2012): Senioren werden durch Minispiele motiviert, sportliche Übungen zur Sturzprävention durchzuführen. Diese Kombination aus „Exercise“ und „Game“ wird auch Exergame genannt. Die Bewegungen werden durch den Kinect-Sensor erkannt und in Echtzeit mit den korrekten Abläufen verglichen. Bei Über- oder Unterforderung skaliert die Schwierigkeit (Korn et al. 2012b).

Es mag an der großen Varianz von Behinderungen liegen, dass spielerische Anwendungen explizit für leistungsgeminderte Menschen seltener zu finden sind. Häufig werden Lösungen

für Kinder verwendet: So ist die Spielesammlung *Cognitionplay* eine Variante von *Childsplay*, die für die Behandlung mentaler Störungen angepasst wurde (Cognitionplay - Schoolsplay 2013). *VI-Bowling* ist ein Tastspiel für sehbehinderte Menschen (Morelli et al. 2010), das die Wurffähigkeit der Probanden signifikant steigerte.

3 Konzept und Design

Um Projektion und Gamification in Produktionsumgebungen einzusetzen war es erforderlich, Bewegungserkennung zu implementieren, da diese für die natürliche Interaktion (NI) mit projizierten Interfaces notwendig ist. Hierzu wurde der Kinect-Sensor eingesetzt. Die Erfassung eines Arbeiters am Montagetisch erfordert die Anbringung des Sensors in erhöhter Position, da der Bereich direkt vor dem Arbeiter durch Entnahmebehälter verdeckt ist und die Kinect einen Mindestabstand von 1,0 Metern erfordert. Um die Implementierung zu vereinfachen, wurde der Montagetisch in der Komplexität reduziert und eigens für die Experimente von dem Anlagen- und Maschinenbauer Schnaithmann gebaut (Abbildung 1).

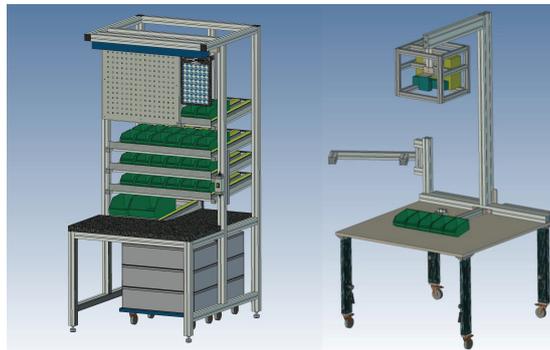


Abbildung 1: Normaler Montagetisch (links) und eigens konstruierter Experimentaltisch (rechts)

Die drei Experimentreihen unterscheiden sich in der Art der Augmentierung des Arbeitsplatzes bzw. in der der Präsentation von Instruktionen: Beim Stand der Technik werden sie auf einem Monitor dargestellt und bei dem Experiment zur Projektion direkt in den Arbeitsbereich („in situ“) projiziert. Zudem wird in das Zentrum des Arbeitsbereichs ein Bild des Montageteils projiziert, wie es bei korrekter Montage im aktuellen Prozess aussehen würde. Dies ermöglicht einen direkten visuellen Vergleich durch den Anwender (Abbildung 2, rechts).

Während beim Einsatz von Projektion kognitive Erleichterungen wie die Entlastung des Kurzzeitgedächtnisses und die Vermeidung von Abstraktion im Vordergrund stehen, geht es bei Gamification um die Erzeugung positiver Gefühle bzw. eines leistungsförderlichen „Flows“ (Csíkszentmihályi & Nakamura 2002).



Abbildung 2: Darstellung der Anleitung auf einem Monitor (Stand der Technik, links) und über Projektion (rechts).

Um die Auswirkungen der Augmentierungen isoliert zu messen, wurden die Instruktionen im Setting Gamification nicht projiziert sondern auf dem Monitor angezeigt. Die Gamification erfolgte über eine Audio-/Video-Komponente, die über die Bewegungserkennung implizit gesteuert wird. In diesem „Produktion-Tetris“ (Korn 2012) wird jeder Arbeitsprozess als Stein repräsentiert, der sich nach unten bewegt (Abbildung 3). Dabei ändert er langsam seine Farbe von grün über gelb zu rot. Die Dauer des Farbwechsels wird von der Leistung des Nutzers abgeleitet: Je schneller in den entsprechenden Prozessen der letzten Durchläufe gearbeitet wurde, desto schneller der Farbwechsel. Zugleich bewegt sich ein „Schatten-Stein“ in der bisherigen durchschnittlichen Montagegeschwindigkeit dieses Anwenders nach unten. So kann er zu jedem Zeitpunkt prüfen, ob er überdurchschnittlich schnell oder langsam arbeitet.

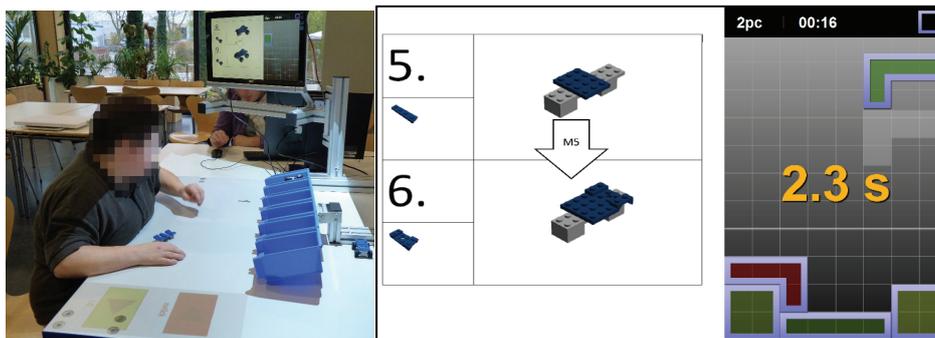


Abbildung 3: Gamification-Komponente auf dem Monitor. Rechts ein Screenshot des "Produktions-Tetris".

Nach jedem Prozess gibt es visuelles und akustisches Feedback:

- Gesicht mit Emotion und Farbe entsprechend der Geschwindigkeit im aktuellen Prozess
- Anzeige des Deltas zum entsprechenden Prozess des letzten Durchlaufs
- Gesprochener Kommentar (z. B. „exzellent“ oder „Schneckentempo“)

Nach der Montage aller Teile eines Produkts gibt es erweitertes abschließendes Feedback. Akustisch wird eine längere Einaschätzung abgespielt (z. B. „Toll, das war bislang die schnellste Montage“). Auf der graphischen Ebene lösen sich die aufgebauten Steinreihen in einer Animation auf, deren Dynamik der mittleren Arbeitsgeschwindigkeit entspricht. Die

Ermittlung der Durchschnittszeit wurde auf wenige Durchläufe begrenzt – eine Konsequenz der hohen Leistungsschwankungen von Menschen mit Behinderungen auch in kurzen Zeiträumen. Schon ein Tagesdurchschnitt würde dazu führen, dass Personen die krankheitsbedingt morgens besser arbeiten, nachmittags nur noch negatives Feedback erhalten. Dies war zu vermeiden, da durch die Gamification-Komponente insgesamt ein motivierender „Flow“ bei der Arbeit entstehen soll.

4 Experiment

4.1 Aufbau

In den Experimenten wurde untersucht, wie sich die Augmentierungen Projektion (in-situ) und Gamification auf die Arbeit von Menschen mit Behinderungen auswirken. Aufgabe war die Montage von acht Autobodengruppen aus Lego. Diese waren identisch, d. h. es gab keine Varianten. Jedes Produkt erfordert zur Fertigstellung acht Montageprozesse, so dass in jedem Durchlauf 64 Montageprozesse erfasst wurden.

Die Experimente wurden in Zusammenarbeit mit der Beschützenden Werkstätte Heilbronn (BWH) durchgeführt. Zunächst wurde in einer Vorstudie der Kreis möglicher Probanden auf jene beschränkt, die eine einfache Montage motorisch und kognitiv durchführen konnten. Aus dieser Population wurde für jedes Experiment eine Gruppe mit 20 Probanden gebildet. Die Zuteilung erfolgte parallelisiert unter der Vorgabe, dass die mittlere Lohnbewertungskennzahl (eine von der BWH ermittelte Kennzahl zu den Fähigkeiten der Mitarbeiter) gleich war.

Um die Auswirkungen der Augmentierungen automatisiert messen zu können, wurde der „Assistive System Experiment Designer“ entwickelt (Korn et al. 2012c). Diese Software ermöglicht es Experimente einzurichten, indem interaktive dreidimensionale Bereiche definiert werden (z. B. über den Entnahmebehältern). Während eines Experiments wird dann die Start- und Endzeit jeder Passage durch einen solchen Bereich dokumentiert.

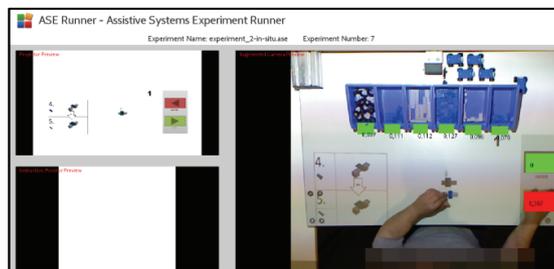


Abbildung 4: Runner-Modus der ASSED-Software, hier bei einem Experiment mit Projektion.

4.2 Ergebnisse

Die mittlere Montagezeit lag in den Experimenten zum Stand der Technik (SotA) bei $\bar{x}_t = 25,6$ min mit einer Standardabweichung (SD) von 9,0 min. Bei der Augmentierung mit Projektion reduzierte sich die Montagezeit um 7,8% auf 23,6 min (SD = 10,4 min), beim Einsatz

von Gamification um 12,5% auf $\bar{x}_t = 22,4$ min (SD = 6,9 min). Die mittlere Fehlerzahl stieg im Vergleich zum Stand der Technik mit $\bar{x}_e = 22,6\%$ (SD = 17,5%) beim Einsatz von Projektion auf $\bar{x}_e = 29,1\%$ (SD = 27,3%) und beim Einsatz von Gamification auf $\bar{x}_e = 33,1\%$ (SD = 22,1%). Während die Montagezeit beim Einsatz beider Augmentierungen abnimmt, steigt die Fehlerzahl in beiden Fällen im Vergleich zum Stand der Technik an (Abbildung 6):

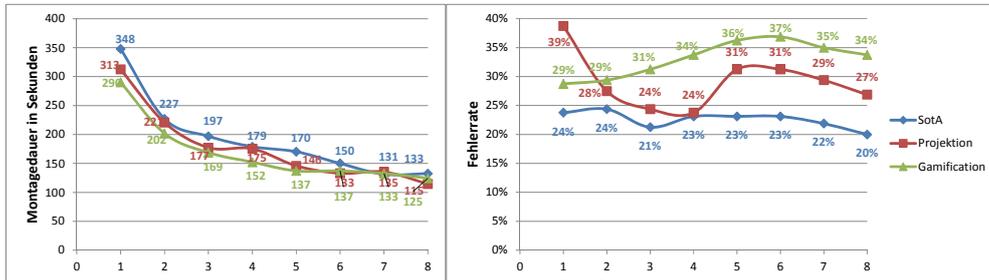


Abbildung 6: Vergleich der Verläufe von Montagezeit (links) und Fehlerrate (rechts) über acht Montagesequenzen: Stand der Technik (blau) und Augmentierung mit Projektion (rot) bzw. mit Gamification (grün).

Die Durchführung einer einfaktoriellem ANOVA (Varianzanalyse) über alle drei Settings ergibt die folgenden Ergebnisse:

	F(2, 57)	p	η^2
Montagedauer	0,64	0,53	0,02
Fehlerquote	1,11	0,34	0,04

Tabelle 1: Ergebnisse der ANOVA

In beiden Fällen gibt es einen „kleinen“ Effekt (η^2), der sich statistisch aber nicht absichern lässt. Aufgrund des Stichprobenumfangs von 20 Personen pro Setting und großer Leistungsvarianzen in der Population sind die Ergebnisse der Signifikanzprüfung aber mit Unsicherheiten verbunden. Um mögliche wichtige Effekte und Tendenzen nicht zu übersehen, werden daher im Folgenden detaillierte Analysen von Teilpopulationen (Abbildung 7) vorgestellt. Hierzu wurden neben der Gesamtgruppe die überdurchschnittlich schnellen Teilnehmer separat untersucht (bei SotA und Projektion jeweils 12 Probanden, bei Gamification 11).

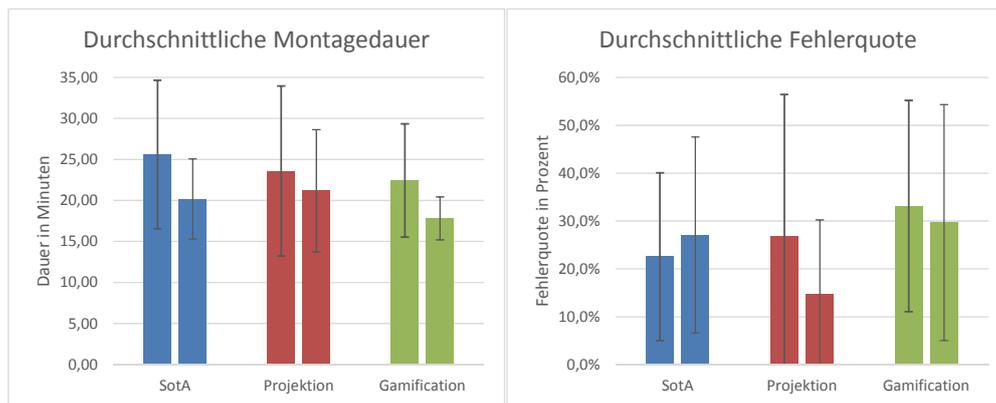


Abbildung 7: Vergleich der Verläufe von Montagezeit (links) und Fehlerrate (rechts) über acht Montagesequenzen: Stand der Technik (blau) und Augmentierung mit Projektion (rot) bzw. mit Gamification (grün). Der linke Balken beschreibt jeweils die Gesamtpopulation, der rechte Balken die überdurchschnittlich schnellen Teilnehmer.

Die Grafik verdeutlicht zwei markante Effekte bei den schnelleren Teilnehmern:

- Die Varianz in der Montagezeit nimmt beim Einsatz von Gamification deutlich ab (SD SotA = 4,9 min. und SD Gamification = 2,6 min.).
- Die Fehlerquote nimmt beim Einsatz von Projektion deutlich ab (SotA 27,1%, Projektion 14,7%). Dieser Unterschied ist signifikant ($p = 0,05$). Interessant ist zudem, dass die schnelleren SotA-Probanden mehr Fehler machen als die Population insgesamt (27,1% > 22,6%) und die Fehlerrate im Lauf der Montage nicht besser wird. Die schnellen Teilnehmer mit Projektion haben hingegen die Fehlerrate im Vergleich zur Gesamtpopulation fast halbiert (14,7% < 26,9%) und verbessern sich kontinuierlich.

5 Schlussbetrachtung

Die hohe Akzeptanz und Beliebtheit beider Augmentierungen bei den Teilnehmern zeigen, wie sinnvoll deren Einsatz bei Menschen mit Behinderung prinzipiell ist. Die empirische Absicherung der Effekte ist jedoch anforderungsreich. Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich ableiten, dass für eine Absicherung der Effekte größere Gruppen mit über 100 Probanden benötigt würden. Ein alternativer Ansatz wäre eine stärkere Leistungshomogenisierung der Probanden durch Tests im Vorfeld.

Die vertiefte Untersuchung legt nahe, dass die Augmentierung des Arbeitsplatzes durch Projektion auf leistungsgeminderte Personen wie ein „Katalysator“ wirkt: Während die schnelleren Teilnehmer zu Hochform auflaufen (indem sie schneller produzieren und ihre Fehlerrate fast halbieren) bauen die anderen im Vergleich zum Stand der Technik ab. Da im Experiment nur eine kurze Arbeitsdauer betrachtet wurde ist es möglich, dass sich diese Probanden beim Dauereinsatz des Systems mit Projektion ebenfalls steigern.

Anwendungsrelevant ist auch das Ergebnis, dass Gamification die Varianz in der Montagezeit verkleinert. Geringere Varianz in Teams reduziert Wartezeiten und steigert so die Leistung und Motivation der Gesamtgruppe. Zudem hat die Befragung der Teilnehmer ergeben,

dass diese sehr gerne mit dem spielerisch modifizierten System arbeiten – sowohl die visuelle Komponente als auch das akustische Feedback wurden mit sehr gut oder gut bewertet (Durchschnitt 1,9 auf einer Likert-Skala von 1 bis 5, SD = 0,4).

Derzeit führen beide Augmentierungen zumindest im Durchschnitt der Gruppen zu einem Anstieg der Fehlerrate. Vermutlich ist dies das Resultat eines „trade-off“ zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit. Zukünftige Augmentierungen sollten den Arbeitsprozess genauer analysieren und Fehler im Arbeitskontext erkennen. Das Forschungsprojekt motionEAP (System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion) setzt an dieser Stelle an.

Danksagung

Wir danken der Firma Schnaithmann für den Bau des Experimentaltisches und der Beschützenden Werkstätte Heilbronn für die Unterstützung bei den Experimenten.

Literaturverzeichnis

- Bierkandt, J., Preissner, M., Hermann, F. & Hipp, C. (2011). Usability und human-machine interfaces in der Produktion Studie Qualitätsmerkmale für Entwicklungswerkzeuge. Fraunhofer-Verlag.
- Brach, M., Hauer, K., Rotter, L., Korn, O., Konrad, R. & Göbel, S. (2012). Modern principles of training in exergames for sedentary seniors: requirements and approaches for sport and exercise sciences. *International Journal of Computer Science in Sport*. 11, 86-99.
- Brach, M. & Korn, O. (2012). Assistive technologies at home and in the workplace – a field of research for exercise science and human movement science. *European Review of Aging and Physical Activity*. 9, 1, 1-4.
- Cognitionplay – Schoolsplay (2013): <http://schoolsplay.wikidot.com/website:cognitionplay>. Accessed: 2013-02-22.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, New York, NY, USA, 9-15.
- Gerling, K.M., Schulte, F.P. & Masuch, M. (2011). Designing and evaluating digital games for frail elderly persons. *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, New York, NY, USA, 62:1-62:8.
- Hunnicut, B.K. (1990). Leisure and play in Plato’s teaching and philosophy of learning. *Leisure Sciences*. 12, 2, 211–227.
- Kane, S.K., Avrahami, D., Wobbrock, J.O., Harrison, B., Rea, A.D., Philipose, M. & LaMarca, A. (2009). Bonfire: a nomadic system for hybrid laptop-tabletop interaction. *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, New York, NY, USA, 129-138.
- Kluge, S. (2011). *Methodik zur fähigkeitsbasierten Planung modularer Montagesysteme*. Dissertation, Universität Stuttgart.

- Korn, O. (2012). Industrial playgrounds: how gamification helps to enrich work for elderly or impaired persons in production. *Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems*, New York, NY, USA, 313-316.
- Korn, O., Schmidt, A. & Hörz, T. (2012a). Assistive systems in production environments: exploring motion recognition and gamification. *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, New York, NY, USA, 9:1-9:5.
- Korn, O., Brach, M., Schmidt, A., Hörz, T. & Konrad, R. (2012b). Context-Sensitive User-Centered Scalability: An Introduction Focusing on Exergames and Assistive Systems in Work Contexts. *E-Learning and Games for Training, Education, Health and Sports*. S. Göbel, W. Müller, B. Urban, & J. Wiemeyer, eds. Springer Berlin Heidelberg. 164-176.
- Korn, O., Schmidt, A., Hörz, T. & Kaupp, D. (2012c). Assistive system experiment designer ASSED: A Toolkit for the Quantitative Evaluation of Enhanced Assistive Systems for Impaired Persons in Production. *Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, Boulder, Colorado, USA, 259-260.
- Letessier, J. & Bérard, F. (2004). Visual tracking of bare fingers for interactive surfaces. *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, New York, NY, USA, 119-122.
- Morelli, T., Foley, J. & Folmer, E. (2010). Vi-bowling: a tactile spatial exergame for individuals with visual impairments. *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, New York, NY, USA, 179-186.
- Pinhanez, C.S. (2001). The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces. *Proceedings of the 3rd international conference on Ubiquitous Computing*, London, UK, 315-331.
- Sardis, E., Voulodimos, A., Anagnostopoulos, V., Lalos, C., Doulamis, A. & Kosmopoulos, D. (2010). An industrial video surveillance system for quality assurance of a manufactory assembly. *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 66.
- Zäh, M. F., Hagemann, F., Branner, G. & Schilp, J. (2007). Formflexibilität als Ansatz zur Wiederverwendbarkeit. *wt Werkstattstechnik online*. 11/12, 837-841.

Kontaktinformationen

Oliver Korn M.A., oliver.korn@acm.org, Universität Stuttgart, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS), Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart

Dr. Stephan Abele, abele@bwt.uni-stuttgart.de, Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaft (Abteilung BWT), Geschwister-Scholl-Straße 24 D, 70174 Stuttgart

Prof. Dr. Albrecht Schmidt, albrecht.schmidt@vis.uni-stuttgart.de, Universität Stuttgart, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS), Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hörz, thomas.hoerz@hs-esslingen.de, Hochschule Esslingen, Kanalstraße 33, 73728 Esslingen