

Altersdifferenzierte Untersuchung von Bewegungsbahnen der rechten Hand während der Anlernung einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe

Françoise KUHLENBÄUMER, Philipp PRZYBYSZ, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER,
Christopher M. SCHLICK†

*Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Der Zeitbedarf für die Ausführung einer neuen Arbeitsaufgabe sinkt mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen. In welchem Umfang dazu eine Veränderung der Bewegungsausführung beiträgt, wird in diesem Beitrag anhand der kinematischen Parameter mittlere Bewegungslänge und mittlere Bewegungsgeschwindigkeit beurteilt. Dazu wurden in einer Laborstudie die Bewegungsbahnen der rechten Hand von 20 jüngeren und 20 älteren Versuchspersonen während der Anlernung einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe (wiederholte Montage eines Vergasers) erfasst. Die Ergebnisse belegen für beide Parameter signifikante Veränderungen aufgrund von Übung. Ein Unterschied zwischen der Bewegungsausführung beider Altersgruppen kann lediglich anhand der mittleren Bewegungslänge festgestellt werden.

Schlüsselwörter: altersdifferenzierte Arbeitsgestaltung, Anlernen, Motion Tracking

1. Einleitung

In Montagebereichen produzierender Unternehmen sind zumeist Arbeitsaufgaben auszuführen, die sensumotorische Fertigkeiten erfordern. Da sensumotorische Fertigkeiten aufgabenspezifisch erlernt und geübt werden müssen (Rohmert et al. 1974) hat eine Veränderung der Arbeitsaufgabe, beispielsweise aufgrund einer Produkt- oder Prozessänderung, zur Folge, dass die zuständige Arbeitsperson nicht unmittelbar die Vorgabezeit erreichen kann. Vielmehr sinkt erst mit zunehmender Anzahl an Ausführungen die Ausführungszeit auf das Niveau der Vorgabezeit. Mit dem Ziel, die Zeitstruktur beim Erwerb sensumotorischer Fertigkeiten in der Montage bei produktvariantenreicher Serienfertigung mathematisch modellieren und prognostizieren zu können, werden in einem von der DFG geförderten Forschungsvorhaben altersdifferenzierte Untersuchungen durchgeführt. In einer Reihe von Laborexperimenten werden verschiedene Faktoren untersucht, von denen angenommen wird, dass sie einen Einfluss auf die Zeitstruktur haben, wie z.B. die Methode zur Einführung in die Arbeitsaufgabe und die Dauer von Pausen während des Erlernens.

Da u.a. aus Beobachtungen von de Jong (1960) hervor geht, dass die Abnahme der Ausführungszeiten durch Übung auf ein Zusammenwirken verschiedener Änderungen in der Aufgabenausführung zurückzuführen ist, sollen im Rahmen des Forschungsprojekts auch mögliche Veränderungen in der Bewegungsausführung untersucht werden. De Jong (1960) beobachtete beispielsweise, dass Bewegungen mit zunehmender Übung schneller ausgeführt wurden oder Tätigkeiten, die zuvor

nacheinander erfolgten, beidhändig verrichtet wurden. Ebenfalls als bedeutsam für die Reduktion von Ausführungszeiten kann nach de Jong (1960) das Weglassen unnötiger Bewegungen angenommen werden, respektive nach Hacker (2005) das Weglassen von Fehlbewegungen.

Durch eine Quantifizierung des bewegungsbedingten Leistungszuwachses wird im Rahmen des Forschungsprojekts erwartet, Erklärungen für den in vorangegangenen Untersuchungen festgestellten Leistungsunterschied zwischen jüngeren und älteren Versuchspersonen (z.B. Kühlenbäumer et al. 2016, Morrel & Park 1993) zu finden. Dadurch könnten technische und organisatorische Unterstützungssysteme zielgruppengerechter entwickelt bzw. eingesetzt werden.

2. Zielsetzung und Methodik

Zur altersdifferenzierten Analyse von Bewegungsbahnen beim Erlernen einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe wurden während der Anlernung von 40 rechtshändigen Versuchspersonen die Bewegungen des rechten Handgelenks getrackt. Die Hälfte der Versuchspersonen war zwischen 20 und 35 Jahre alt und gehörte der Altersgruppe AG I an. Die andere Hälfte der Versuchspersonen war zwischen 52 und 67 Jahre alt und gehörte der Altersgruppe AG II an. In beiden Altersgruppen war das Geschlecht balanciert. In jeder Altersgruppe wurden 10 Versuchspersonen mit einer demonstrationsbasierten und 10 Versuchspersonen mit einer reflexionsbasierten Einführung auf die Hauptaufgabe – der zehnfach wiederholten Montage eines Vergasers – vorbereitet. Während bei der demonstrationsbasierten Einführung die Montage des Vergasers vorgeführt wurde, mussten sich die Versuchspersonen bei der reflexionsbasierten Einführung die notwendigen Informationen zur Montage des Vergasers anhand der Beantwortung von konsekutiven Fragen selbstständig erschließen. Unabhängig von der Art der Einführung stand allen Versuchspersonen während der Montage ein text- und bildbasierter Arbeitsplan zur Verfügung. Diesem Arbeitsplan konnten alle Informationen zur Montage des Vergasers anhand von drei Explosionszeichnungen, ergänzt um kurze textuelle Erläuterungen, entnommen werden. Die Darstellung des Arbeitsplans erfolgte über einen Touch Screen Monitor. Die Montage des Vergasers erforderte von den Versuchspersonen, Bauteile von einem standardisierten Lagerort aufzunehmen und im Arbeitsbereich ggf. mithilfe eines Schraubendrehers zusammenzufügen. Der Arbeitsplatz ist in Abbildung 1 dargestellt.

Während der Montage des Vergasers wurden in jeder Wiederholung die Bewegungsbahnen der rechten Hand mithilfe des markerbasierten, optischen Trackingsystems ARTrack2 der Firma advanced realtime tracking GmbH erfasst. Der zu erfassende Marker befand sich dabei am rechten Handgelenk der Versuchspersonen.

Die mittleren Bahnlängen und die gemittelten Geschwindigkeitsprofile wurden anschließend in Abhängigkeit der Aufgabenwiederholung und der Altersgruppe analysiert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Bei der Analyse der Bewegungsbahnen wurden nur die Datensätze berücksichtigt, deren Anteil an fehlenden Werten (z.B. aufgrund von Verdeckung) jeweils unter 5%

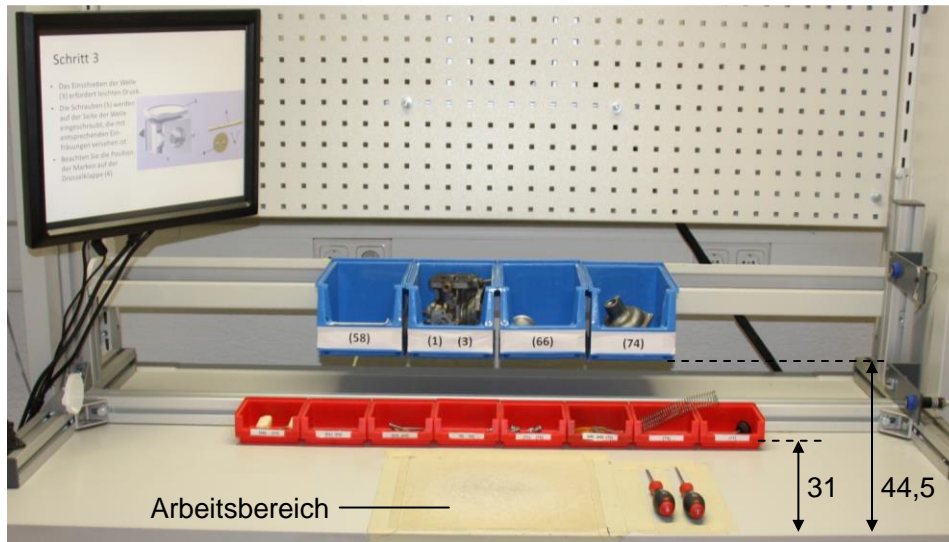


Abbildung 1: Arbeitsplatz (Maßangaben in cm)

lagen. Somit konnten für die erste Ausführung nur 35 Bewegungsbahnen und für alle zehn Wiederholungen nur die Bewegungsbahnen von 24 Versuchspersonen analysiert werden.

Da davon ausgegangen wurde, dass sich ein möglicher Einfluss der Methode der Einführung in die Arbeitsaufgabe insbesondere auf die erste Ausführung auswirken würde, wurden die 35 Bewegungsbahnen der ersten Ausführung auf Unterschiede zwischen der demonstrationsbasierten (17 Bewegungsbahnen) und der reflexionsbasierten (18 Bewegungsbahnen) Einführung untersucht. Signifikante Unterschiede konnten weder anhand der gemittelten Bahnlänge noch anhand der gemittelten Ausführungsgeschwindigkeit festgestellt werden.

Im Folgenden wird daher nur der Einfluss der Altersgruppe für alle zehn Wiederholungen analysiert. Von den 24 Versuchspersonen gehörten zehn Versuchspersonen der AG I und 14 Versuchspersonen der AG II an. Das Geschlecht war in beiden Altersgruppen balanciert.

Die statistische Analyse erfolgte aufgrund nicht normalverteilter Daten mithilfe nichtparametrischer Tests. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ gewählt.

3.1 Gemittelte Bahnlängen

In Abbildung 2 sind die mittleren Bahnlängen mit 95% Konfidenzintervall beider Altersgruppen dargestellt. Bei beiden Altersgruppen ist zu erkennen, dass die mittleren Bahnlängen zunächst mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen abnehmen bis sich schließlich ein nahezu konstantes Niveau einstellt. Die Abnahme der mittleren Bahnlängen aufgrund wiederholter Ausführung lässt sich statistisch durch einen Friedman Test bestätigen, $\chi^2_{(9)} = 110,955$; $p < 0,001$. In einem anschließenden Wilcoxon Rank Test mit Korrektur nach Bonferroni zeigte sich, dass sich die Bahnlänge der ersten Ausführung signifikant von allen weiteren Bahnlängen unterscheidet. Darüber hinaus bestehen zum Teil signifikante Differenzen zwischen den Bahnlängen der zweiten bzw. dritten Ausführung und den Bahnlängen weiterer Ausführungen. Ab der vierten Ausführung sind statistisch keine Unterschiede zwischen den Bahnlängen darauffolgender Ausführungen nachweisbar.

Die anfangs größeren Wegstrecken lassen sich teilweise damit erklären, dass die Versuchspersonen den zur Verfügung gestellten Arbeitsplan mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen weniger nutzen. Somit reduzieren sich zunehmend die Wege zum Touch Screen Monitor. Außerdem wird vermutet, dass die Orientierung der Versuchspersonen im Arbeitsraum zunächst geringer ist, was sich in weniger zielgerichteten Bewegungen äußert. Darüber hinaus scheint das Suchen nach Bauteilen und der richtigen Ausrichtung von Bauteilen zueinander zu größeren Wegstrecken zu führen.

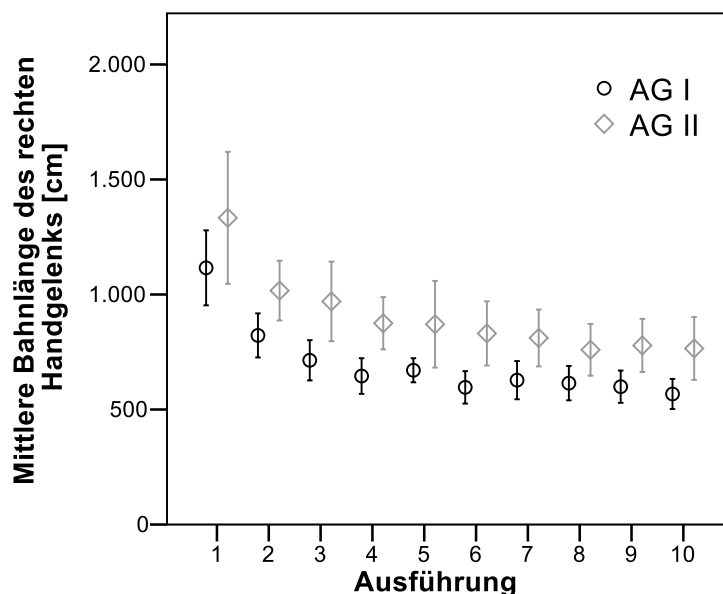


Abbildung 2: Mittlere Bahnlängen beider Altersgruppen (dargestellt mit 95% Konfidenzintervall)

In Abbildung 2 ist darüber hinaus zu erkennen, dass die mittleren Bahnlängen der Versuchspersonen der AG I in jeder Ausführung geringer sind als die der AG II. Insgesamt zeigt sich im Mann-Whitney-U-Test, dass sich die über alle Ausführungen kumulierten Bahnlängen signifikant zwischen den Altersgruppen unterscheiden, $U = 27$; $z = -2,518$; $p = 0,012$. In separaten Analysen kann nachgewiesen werden, dass sich die Bahnlängen beider Altersgruppen in den Ausführungen drei und vier sowie sechs bis neun signifikant unterscheiden, $U_3 = 24$; $z_3 = -2,693$; $p_3 = 0,007$; $U_4 = 17$; $z_4 = -3,103$; $p_4 = 0,002$; $U_6 = 19$; $z_6 = -2,986$; $p_6 = 0,003$; $U_7 = 32$; $z_7 = -2,225$; $p_7 = 0,026$; $U_8 = 34$; $z_8 = -2,108$; $p_8 = 0,035$; $U_9 = 30$; $z_9 = -2,342$; $p_9 = 0,019$.

3.2 Gemittelte Geschwindigkeiten

Die gemittelten Geschwindigkeiten des rechten Handgelenks sind getrennt nach den beiden Altersgruppen für die zehn Wiederholungen in Abbildung 3 dargestellt. Anhand der Mittelwerte der gemittelten Geschwindigkeiten ist zu erkennen, dass diese bis etwa zur fünften Ausführung ansteigen und anschließend gegen einen Grenzwert konvergieren. Ein geringfügiger Geschwindigkeitsrückgang ist allerdings bei der AG I in der sechsten Ausführung zu beobachten. Ein Friedman Test weist einen signifikanten Einfluss der wiederholten Ausführung auf die gemittelte Geschwindigkeit nach, $\chi^2_{(9)} = 69,945$; $p < 0,001$. Im post hoc Test nach Wilcoxon mit

Bonferronikorrektur zeigt sich, dass die signifikanten Unterschiede insbesondere zwischen den gemittelten Geschwindigkeiten der ersten Ausführung und allen weiteren Ausführungen bestehen. Darüber hinaus bestehen zwischen den gemittelten Geschwindigkeiten der zweiten und vierten bzw. achten Ausführung signifikante Unterschiede. Weitere signifikante Unterschiede können nicht gefunden werden.

Ebenso kann weder deskriptiv noch statistisch ein Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen hinsichtlich der gemittelten Geschwindigkeiten festgestellt werden.

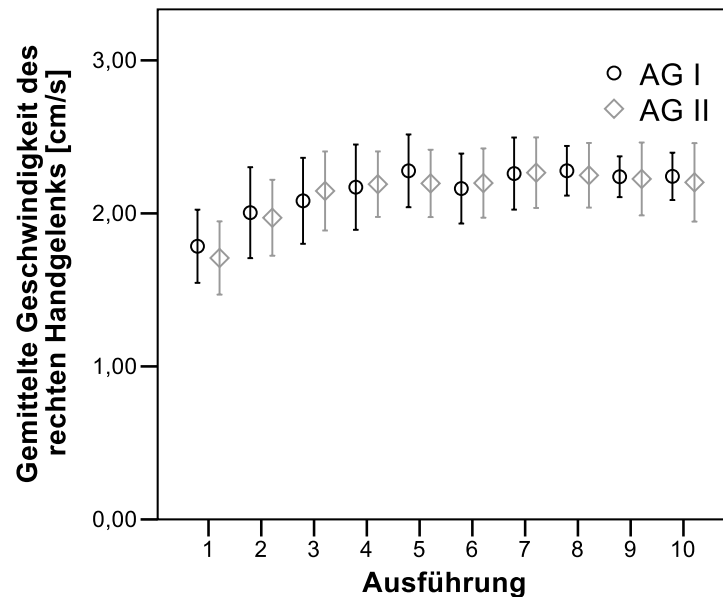


Abbildung 3: Mittlere Geschwindigkeit des rechten Handgelenks beider Altersgruppen (dargestellt mit 95% Konfidenzintervall)

4. Fazit und Ausblick

Anhand der vorgestellten Laboruntersuchung konnte gezeigt werden, dass Leistungszunahmen beim Erlernen einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe sowohl mit einer Reduktion der mittleren Bewegungsbahnen als auch mit einer Zunahme der mittleren Bewegungsgeschwindigkeiten einhergehen. Der zuvor festgestellte Leistungsunterschied zwischen jüngeren und älteren Versuchspersonen äußerte sich bei kinematischer Betrachtung in unterschiedlichen mittleren Bahnlängen, nicht aber in unterschiedlichen mittleren Bewegungsgeschwindigkeiten. So waren lediglich die mittleren Bahnlängen der AG I signifikant geringer als die der AG II.

Die übungsbedingte Abnahme der mittleren Bewegungslänge konnte in dieser Untersuchung insbesondere auf das zunehmende Weglassen von Bewegungen zurückgeführt werden, wie beispielsweise der Touch Screen Bedienung oder der Suche nach Bauteilen. Um die Bewegungslängen und damit auch die Ausführungszeiten beim Erlernen einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe zu reduzieren wäre es denkbar, die Arbeitsperson durch Pick-by-Light zu unterstützen. So könnten Bewegungen auch bei noch unbekannter Bauteilanordnung zielgerichteter erfolgen. Zur Vermeidung der Bewegungen zum Touch Screen Monitor könnten andere Eingabegeräte, z.B. ein Fußpedal, erprobt werden.

Aufgrund der in dieser Versuchsreihe verwendeten Markieranordnung konnten keine Rückschlüsse auf eine zunehmende Beidhandarbeit gezogen werden. Daher wird in einem weiteren Versuch zusätzlich auch das linke Handgelenk getrackt werden.

5. Literatur

- De Jong JR (1960) Die Auswirkung zunehmender Fertigkeit. REFA Nachrichten, 13/1: 155-161.
- Hacker W (2005) Allgemeine Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. Bern: Hans Huber.
- Kuhlenbäumer F, Duckwitz S, Schlick C (2016) Altersdifferenzierte Untersuchung zur Prognose der Anlernzeit einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe. Arbeit in komplexen Systemen - digital, vernetzt, human?! : 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University, Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), 2.-4. März 2016.
- Morrell R, Park DC (1993) The Effects of Age, Illustrations, and Task Variables on the Performance of Procedural Assembly Tasks. Psychology and Aging 8/3: 389-399.
- Rohmert W, Rutenfranz J, Ulich E (1974) Das Anlernen sensumotorischer Fertigkeiten, Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt. Frankfurt a. M.: Europäische Verlagsanstalt.

Danksagung: Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Projekts „Altersbewältigung in manuellen Montagesystemen: Altersdifferenzierte Untersuchung und mathematische Modellierung zur Prognose der Zeitstruktur beim Erwerb sensumotorischer Fertigkeiten in der Montage bei produktvariantenreicher Serienfertigung“ (SCHL 1805/9-1).



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de