

Altersdifferenzierte Untersuchung zur Prognose der Anlernzeit von sensumotorischen Arbeitsaufgaben

Francoise KUHLENBÄUMER, Sönke DUCKWITZ, Christopher M. SCHLICK

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

Kurzfassung: Es gibt eine Methode zur Prognose der Anlernzeit (Jeske 2013), deren Entwicklung auf einer Stichprobe mit jungen Versuchspersonen basiert. In diesem Beitrag wird die Anlernzeit von älteren Personen betrachtet. Dazu wurde eine Untersuchung zum Einfluss von Arbeitsplänen auf die Anlernzeit mit 60 Personen repliziert. Die Aufgabe der Versuchspersonen war die wiederholte Montage eines Vergasers. In jeder Ausführung wurde die Ausführungsdauer erfasst und in Abhängigkeit der Altersgruppe und des Arbeitsplans analysiert. Darüber hinaus wurden die erhobenen Ausführungszeiten mit den prognostizierten Zeiten verglichen. Die Ergebnisse belegen einen signifikanten Einfluss der Altersgruppe auf die Anlernzeit und weisen Abweichungen zwischen prognostizierten und erhobenen Ausführungszeiten auf.

Schlüsselwörter: altersdifferenziert, Anlernzeit, Prognosemodell

1. Einleitung

Der zunehmende Kundenwunsch nach individualisierten Produkten trägt wesentlich zu einem Anstieg von Varianten eines Produkts bei. Dies hat zur Folge, dass sich die Arbeitsaufgaben von Arbeitspersonen regelmäßig verändern. In Bereichen der Montage erfordern Arbeitsaufgaben zumeist sensumotorische Fertigkeiten. Bevor eine Arbeitsperson derartige Fertigkeiten beherrscht und die Arbeitsaufgabe mit einer vorgegebenen Mengenleistung und Produktqualität ausführen kann, bedarf es einer aufgabenspezifischen Einführung und Übung (Rohmert et al. 1974). Der Zeitraum vom erstmaligen Kontakt mit der veränderten Arbeitsaufgabe bis zum Erreichen der vorgegebenen Leistung wird als Anlernzeit bezeichnet (Jeske 2013). Um insbesondere in der variantenreichen Serienmontage Ungenauigkeiten bei der Personaleinsatzplanung zu vermeiden, ist die Berücksichtigung dieses Zeitraums zwingend erforderlich. Da bisherige Verfahren zur Vorhersage der Anlernzeit großen Aufwand erforderten und nur ungenaue Werte lieferten, wurde ein Modell zur Prognose der Anlernzeit (Jeske 2013) entwickelt. Dieses Modell beschreibt die übungsbedingte Leistungsveränderung als multiplikative Verknüpfung einer Exponential- mit einer Potenzfunktion, deren Parameter unter Berücksichtigung von Einflussfaktoren der Arbeitsperson, der Arbeitsaufgabe und der Anlernmethode geschätzt werden können. Die Entwicklung dieser Methode erfolgte auf Basis einer Stichprobe mit Versuchspersonen zwischen 20 und 35 Jahren (Altersgruppe AG I). Es ist jedoch fraglich, ob das zugrundeliegende Prognosemodell auch für ältere Arbeitspersonen Gültigkeit besitzt. Denn, vor dem Hintergrund des demografischen Wandels ist es zwingend erforderlich, dass Methoden zur Personalplanung ältere und jüngere Arbeitnehmer berücksichtigen können.

2. Zielsetzung und Methodik

Um die Validität des Prognosemodells nach Jeske (2013) für Arbeitspersonen zwischen 52 und 67 Jahren (AG II) zu überprüfen, wurde eine empirische Laboruntersuchung zum Einfluss von Arbeitsplänen (Jeske 2010) mit einer um die AG II erweiterten Stichprobe repliziert. An der Untersuchung nahmen insgesamt 60 Versuchspersonen teil, die je zur Hälfte der AG I bzw. AG II angehörten und eine (ggf. mit Brille/Kontaktlinsen korrigierte) normale Sehfähigkeit sowie keine krankheitsbedingten Einschränkungen der Hand-Arm-Motorik aufwiesen. In beiden Gruppen waren Männer und Frauen zu gleichen Teilen enthalten. Abweichend von den Untersuchungen von Jeske erfolgte keine Gruppenunterteilung in Versuchspersonen mit und ohne ingenieurwissenschaftliche Vorkenntnisse, da kein signifikanter Einfluss der Vorkenntnisse auf die Ausführungsdauer nachgewiesen werden konnten. Vor Beginn des Hauptversuchs wurden Personenmerkmale der Versuchspersonen erhoben, die zur Prädiktion der Ausführungszeit nach Jeske (2013) erforderlich sind. Dabei handelte es sich um das Geschlecht, das Alter und die Erfahrung der Arbeitsperson mit Montagetätigkeiten sowie zwei (1 und 6) der insgesamt sechs Fleishman-Faktoren (Fleishman 1962; Fleishman & Ellison 1962), die die feinmotorischen Fähigkeiten der Person beschreiben. Die gemittelten Ausprägungen der Personenmerkmale, die zur Schätzung der Parameter im Modell nach Jeske (2013) notwendig sind, sind in Tabelle 1 unterteilt in die beiden Altersgruppen dargestellt.

Tabelle 1: Ausprägung von Personenmerkmalen der Stichprobe unterteilt in die beiden Altersgruppen AG I und AG II (angegeben sind bei den Merkmalen 3-6 jeweils Mittelwert und Standardabweichung)

	AG I	AG II
Anz. Versuchspersonen	30	30
Geschlecht	balanciert	
Alter [Jahre]	25,17 (\pm 3,696)	59,50 (\pm 4,651)
Erfahrung mit Montage Skala: 1/keine; 2/gering; 3/mittel; 4/viel	gering 2,00 (\pm 0,948)	gering 2,30 (\pm 1,149)
T-Wert des Fleishman-Faktor 1 beschreibt die Zielgerichtheit der Bewegung	51,6 (\pm 6,701)	54,92 (\pm 3,351)
T-Wert des Fleishman-Faktor 6 beschreibt die Handgelenk-Finger-Geschwindigkeit	54,8 (\pm 8,542)	50,30 (\pm 10,226)

Im Hauptversuch war die Aufgabe der Versuchspersonen die zehnfach wiederholte Montage eines Vergasers vom Typ Stromberg. Die für die Montage notwendigen Informationen wurden den Versuchspersonen anhand eines von drei unterschiedlich gestalteten Arbeitsplänen vermittelt. Diese Arbeitspläne unterschieden sich hinsichtlich ihrer informatorischen Reichhaltigkeit. Mit aufsteigender informatorischer Reichhaltigkeit handelte es sich dabei entweder um einen rein textuellen Arbeitsplan, einen grafischen Arbeitsplan mit kurzen textuellen Erläuterungen oder einen animierten Arbeitsplan.

Die Ausführungszeiten jeder Wiederholung wurden erfasst und in Abhängigkeit der Altersgruppe und der Art des Arbeitsplans analysiert. Anschließend wurden die erhobenen Ausführungszeiten mit den nach Jeske (2013) prognostizierten Ausführungszeiten verglichen. Dabei wurde als Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Statistische Analyse der Replikationsuntersuchung

In Abbildung 1 sind die mittleren Ausführungszeiten mit ihren 95%-Konfidenzintervallen für Versuchspersonen der AG I und AG II in Abhängigkeit des Arbeitsplans dargestellt.

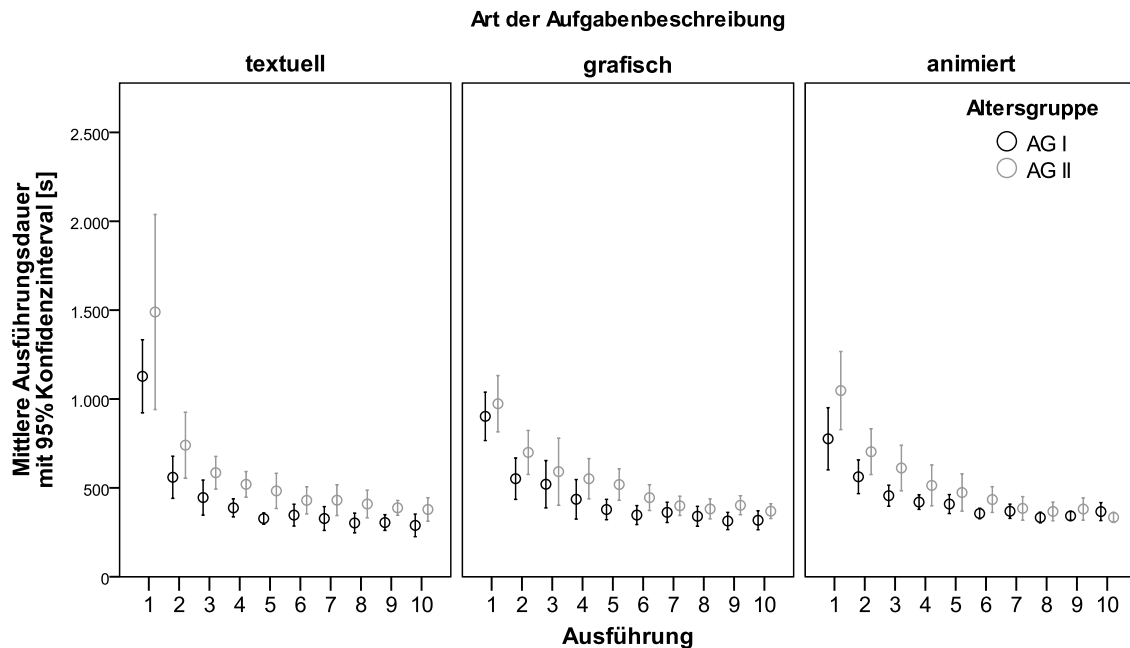


Abbildung 1: Gegenüberstellung der mittleren Ausführungszeiten von Versuchspersonen der AG I und AG II in Abhängigkeit des verwendeten Arbeitsplans

Während die Ausführungszeit in der ersten Ausführung bei allen Versuchspersonen hoch ist (je nach Altersgruppe und Arbeitsplan zwischen ca. dem 2 bis 4-fachen der 10. Ausführungszeit), sinken die Ausführungszeiten mit zunehmender Anzahl an Ausführung bis sich ein etwa konstantes Niveau einstellt. Diese Beobachtung deutet auf einen Lerneffekt hin, der statistisch mit einer messwiederholten Varianzanalyse nachgewiesen werden kann ($F_{(123,842; 2,293)} = 130,414; p = 0,000$) und ebenfalls von Jeske (2013) festgestellt wurde. Ein statistisch nicht mehr unterscheidbares Niveau der Ausführungszeiten stellt sich dabei ab der achten Ausführung ein. Dies konnte anhand eines paarweisen Vergleichs der Mittelwertdifferenzen zwischen aufeinander folgenden Ausführungszeiten nachgewiesen werden. Ein Vergleich der Ausführungszeiten von Versuchspersonen unterschiedlicher Altersgruppen zeigt, dass Versuchspersonen der AG II in fast jeder Ausführung einen höheren Zeitbedarf haben als Versuchspersonen der AG I. Statistisch wird dies mit einem signifikanten Haupteffekt ($F_{(1; 54)} = 20,876; p = 0,000$) der Altersgruppe auf die Ausführungszeit bestätigt. Die Veränderung der Ausführungszeit über den wiederholten Ausführungen, die als Lerngeschwindigkeit bezeichnet werden können (Jeske 2013), unterscheiden sich nicht in Abhängigkeit der Altersgruppe. In Abhängigkeit des verwendeten Arbeitsplans unterscheiden sich die Lerngeschwindigkeiten dagegen signifikant ($F_{(4,587, 123,842)} = 4,955; p = 0,001$) voneinander. Mit Hilfe einer messwiederholten Varianzanalyse kann der signifikante Einfluss des Arbeitsplans auf die Lerngeschwindigkeit ($F_{(2, 54)} = 6,070; p = 0,004$)

bestätigt werden. Anhand eines paarweisen Vergleichs der Lerngeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Arbeitspläne lässt sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,009$) zwischen dem textuellen und dem animierten Arbeitsplan nachweisen. Ein von Jeske (2013) gefundener signifikanter Unterschied zwischen dem textuellen und dem grafischen Arbeitsplan kann in dieser Replikationsuntersuchung nicht festgestellt werden. Ein Vergleich der Erstausführungszeit in Abhängigkeit der Arbeitspläne zeigt, dass diese, wie auch bei Jeske (2013), mit zunehmender informatorischer Reichhaltigkeit des Arbeitsplans abnimmt. Dieser Zusammenhang kann statistisch nachgewiesen werden ($r = -0,524$; $p = 0,003$). Im Gegensatz dazu erzielen die Versuchspersonen der AG II die geringsten Erstausführungszeiten mit dem grafischen Arbeitsplan, der eine mittlere informatorische Reichhaltigkeit besitzt; entsprechend kann für die AG II kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Erstausführungszeit und der informatorischer Reichhaltigkeit festgestellt werden. In der letzten Ausführung kann zwischen den Ausführungszeiten in Abhängigkeit des Arbeitsplans kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

3.2 Prognosegüte des Modells für die beiden Altersgruppen AG I und AG II

In Abbildung 2 sind die mittleren erhobenen und personenindividuell prognostizierten Ausführungszeiten für beide Altersgruppen gegenübergestellt.

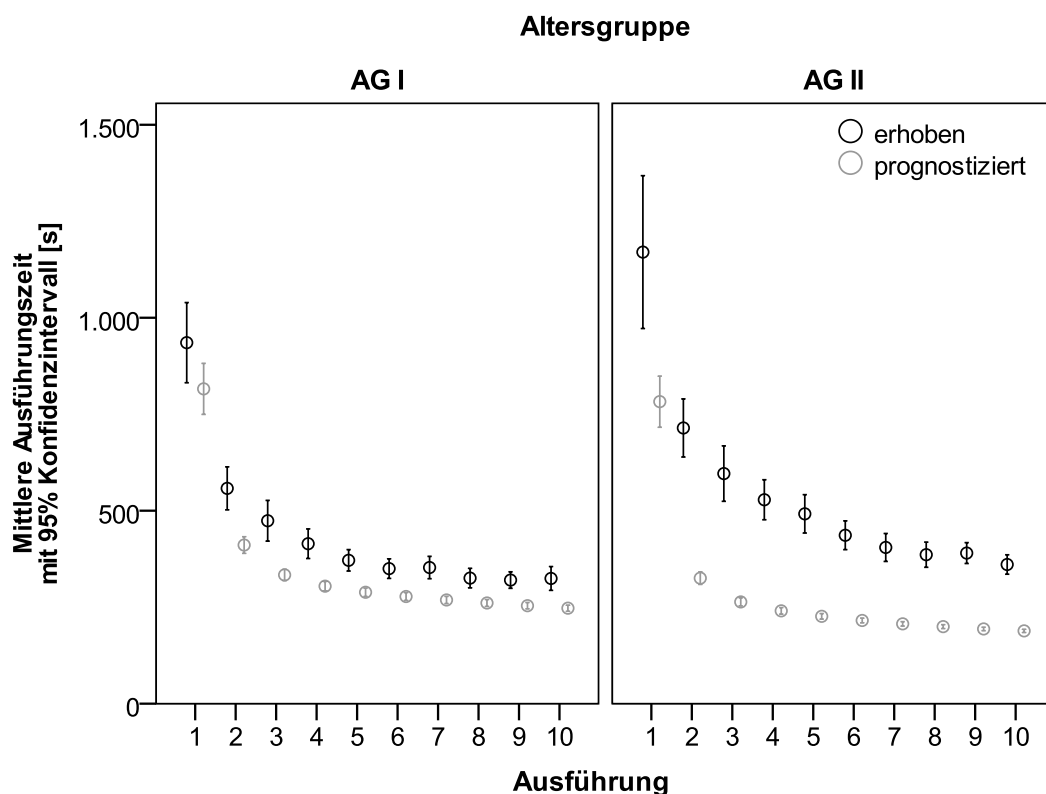


Abbildung 2: Vergleich der gemessenen und der prognostizierten Ausführungszeiten für die beiden Altersgruppen AG I und AG II

Es zeigt sich, dass durch das Modell nach Jeske (2013) die Ausführungszeiten für beide Altersgruppen unterschätzt werden. Statistisch äußert sich dies in einem signifikanten Haupteffekt ($F_{(1; 116)} = 208,966$; $p = 0,000$). Dieser Unterschied wird signifikant ($F_{(1,116)} = 45,092$; $p = 0,000$) von der Altersgruppe beeinflusst und ist bei

der AG II stärker ausgeprägt als bei der AG I. Im Zusammenhang mit einer Untersuchung zum Vergessen sensumotorischer Arbeitsaufgaben (Kuhlenbäumer et al. 2016) wurde die hier betrachtete Untersuchung mit denselben Versuchspersonen aus dem Jahr 2010 durchgeführt. Da auch in dieser Untersuchung höhere Ausführungszeiten als in der ursprünglichen Untersuchung beobachtet wurden, wird vermutet, dass die hier festgestellten Abweichungen bei der AG I auf eine systematische Abweichung bei der Versuchsdurchführung zurückzuführen sind. So musste aufgrund von Verschleiß bspw. eine kleine konstruktive Änderung an einer Messingwelle vorgenommen werden. Zusätzlich zu den Abweichungen in der Höhe der Ausführungszeiten, kann ein signifikanter Unterschied ($F_{(1,899; 220,263)} = 6,882; p = 0,002$) zwischen der erhobenen und prognostizierten Lerngeschwindigkeit festgestellt werden.

Zur quantitativen Beurteilung der Prognosegüte des Modells nach Jeske (2013) wird die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RSME root mean square error) hinzugezogen. Bei der Berechnung des RSME wird die Differenz von gemessenen und prognostizierten Ausführungszeiten quadriert, wodurch vermieden wird, dass sich Über- und Unterschätzungen der Ausführungszeiten gegenseitig aufheben. Darüber hinaus werden durch die quadratische Betrachtung große Differenzen höher gewichtet. In Abbildung 3 sind die RSME für die beiden Altersgruppen im Vergleich zu denen aus der Validierungsstudie von Jeske (2013) dargestellt.

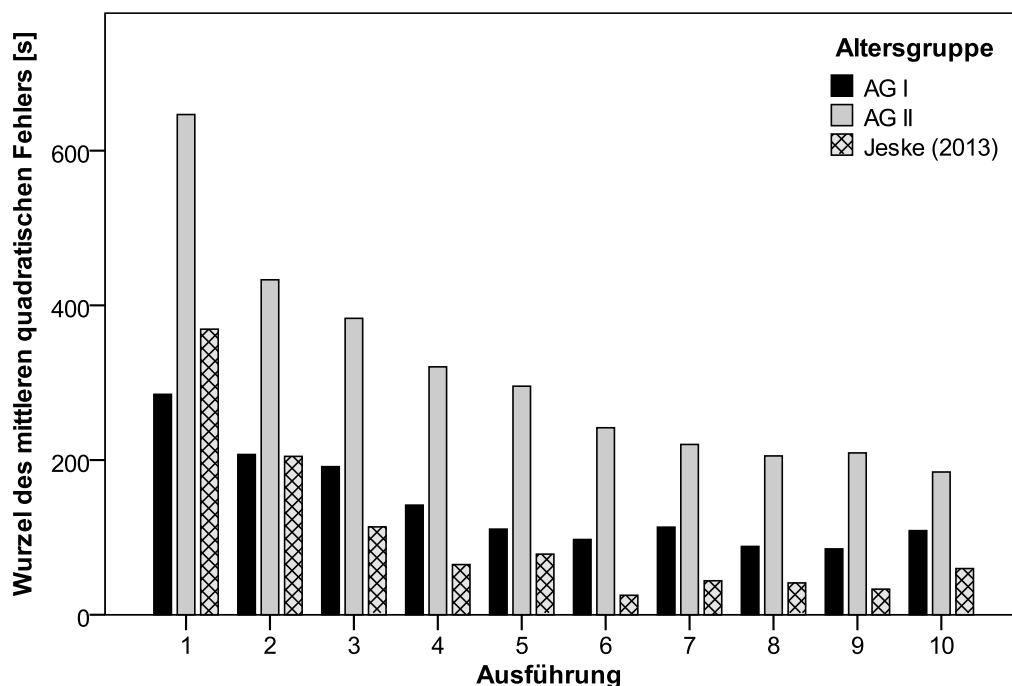


Abbildung 3: Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers der Ausführungszeit für die beiden Altersgruppen in Gegenüberstellung mit Validierungsergebnissen von Jeske (2013)

Bei beiden Altersgruppen zeigt sich, wie auch bei Jeske (2013), eine Abnahme des RSME mit steigender Anzahl an Wiederholungen. Dabei kann in keiner Ausführung der Replikationsstudie die von Jeske erzielte Prognosegüte erreicht werden. Lediglich bei der ausschließlichen Betrachtung der AG I zeigt sich in der Erstaussführung ein geringerer RSME als bei Jeske (2013). Es ist weiterhin deutlich zu erkennen, dass die Prognosegüte des Modells für die AG II wesentlich geringer ist als die der AG I. Demzufolge ist insbesondere die bisherige Berücksichtigung des

Alters im Modell von Jeske nicht ausreichend, um die Anlernzeit zuverlässig für ältere Personen zu prognostizieren.

4. Fazit und Ausblick

In der Replikationsuntersuchung konnte gezeigt werden, dass das Modell nach Jeske (2013) nicht zur Prognose von Anlernzeiten älterer Arbeitspersonen geeignet ist. So unterscheiden sich sowohl die Höhe der Ausführungszeiten als auch deren Veränderungen über der Anzahl an Wiederholungen signifikant von den jeweils prognostizierten Werten.

Im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten gilt es daher, den Einfluss des Alters weiter zu analysieren und das Modell entsprechend zu modifizieren. Darüber hinaus sollen weitere Einflussgrößen betrachtet und weiterführende statistische Verfahren hinzugezogen werden, um die Prognosegüte des Modells zu erhöhen.

5. Literatur

- Fleishman, E.A. (1962): The Description and Prediction of Perceptualmotor Skill Learning. In: Glaser, R. (Hrsg.): Training Research and Education. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, S.137-175.
- Fleishman, E.A.; Ellison, G.D. (1962): A Factor Analysis of Fine Manipulative Performance. Journal of Applied Psychology, 46, S. 96-105.
- Jeske T. (2013) Entwicklung einer Methode zur Prognose der Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. In: Schlick CM (Hrsg.), Industrial Engineering and Ergonomics. Aachen: Shaker Verlag.
- Kuhlenbäumer, F.; Schweetberg, J.; Duckwitz, S.; Schlick, C. (2016): Untersuchung zum Einfluss einer mehrjährigen Arbeitsunterbrechung auf die Montageleistung von Arbeitspersonen. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA), Aachen, in Druck.
- 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).