

Untersuchung zeitwirtschaftlicher Effekte aufgrund hoher Tätigkeitsvarianz in der manuellen Serienfließmontage

Stefan MENGEL¹, Malte SIEVERS, Philipp AGETHEN, Felix GAISBAUER,
Francoise KUHLENBÄUMER²

¹ Daimler AG, Wilhelm-Runge-Str. 11, D-89081 Ulm

² Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen, RWTH Aachen,
Bergdriesch 27, D-52056 Aachen

Kurzfassung:

Die zunehmende Produktindividualisierung führt in der Automobilserienmontage dazu, dass geplante Tätigkeiten deutlich von der Realität in der Linie abweichen können, da die Planungsmethoden und ihre zugrundeliegenden Prämissen heute an vielen Stellen – vor allem in der Zeitwirtschaft – nicht mehr zutreffen. Insbesondere die Berücksichtigung des schwankenden Übungsgrades und der steigenden kognitiven Belastung fehlt in der Praxis. Aus diesem Grund wird in dieser Untersuchung der Einfluss variantenreicher Tätigkeitssequenzen auf den Zeitbedarf einzelner Montagetätigkeiten während deren Erlernens untersucht. Für die Untersuchung werden effiziente, automatisierte Techniken für die Zeiterfassung vorgestellt und die Ergebnisse zeigen, dass durchmischte Tätigkeitssequenzen im Fall der hier untersuchten Montagetätigkeiten zu langsamerem Lernen führen.

Schlüsselwörter: Lerneffekte, Tätigkeitssequenz, Montage, Sensorik

1. Motivation

Vor dem Hintergrund von aktuellen Trends wie Industrie 4.0 und der Diversifizierung von Premiumfahrzeugen sieht sich die Automobilserienmontage mit zunehmender Komplexität in ihren Produktionssystemen konfrontiert. Als Folge der steigenden Produktvarianz werden sich in Zukunft die Rahmenbedingungen für die manuelle Endmontage ändern, da Produkte aus Sicht der einzelnen Montagestation zu Unikaten werden. Durch diesen Umstand verändern sich sowohl die kognitiven Anforderungen an den Mitarbeiter als auch der vorhandene Übungsgrad. Im Gegensatz dazu werden in der Montageplanung Großteils Planungsmethoden verwendet, die aus der traditionellen Großserienproduktion stammen. An vielen Stellen gelten die getroffenen Annahmen über Art der Arbeit jedoch nicht mehr, was dazu führt, dass Plan und Realität in der Montagelinie zunehmend voneinander abweichen.

So zeigen beispielsweise Agethen et al. (Agethen et al. 2016), dass reale Laufwege in einer automobilen Montagelinie aufgrund unpassender Planungsmethoden deutlich von ihrem geplanten Pendant abweichen können. Diese Abweichung zwischen Plan und Realität ist für beide Seiten des industriellen Arbeitsverhältnisses – Arbeitnehmer und Unternehmen – nachteilig, da durch eine zu optimistische Planung einerseits Arbeitnehmer überbeansprucht werden können und

andererseits durch dadurch entstehende Produktionsstörungen zusätzliche Kosten für das Unternehmen entstehen.

Um die Abweichung zwischen Plan und Realität mithilfe adäquater zeitwirtschaftlicher Modelle zu minimieren, wird im Folgenden der Einfluss der Sequenz auf das Lernverhalten von Montagemitarbeitern untersucht. Zu diesem Zweck wird ein Versuchsaufbau vorgestellt, mit dessen Hilfe elementare Montagetätigkeiten (wie beispielsweise Einclipsen) rückwirkungsfrei detektiert und korrespondierende Zeitwerte abgeleitet werden können.

2. Stand der Technik

In der Montageplanung gilt es unter anderem mit verschiedenen Methoden (Schlick, Bruder, & Luczak 2010) zu bemessen, wie viel Zeit ein Mensch zum Verrichten eines Arbeitsvorgangs – z.B. einer Verschraubung – benötigt. Diese Zeit-Information ist eine wichtige Grundlage für Planungstätigkeiten wie das Zuordnen von Arbeitsvorgängen zu Arbeitsplätzen und die Optimierung der Produkt-Einsteuerreihenfolge in Montagelinien.

2.1 Zeitwirtschaft in der Montageplanung

Es können zwei grundsätzlich unterschiedliche Vorgehensweisen zur Ermittlung von Planzeiten unterschieden werden: die Zeiterfassung durch Beobachtung und die Verwendung von Systemen vorbestimmter Zeiten (SvZs). Letztere basieren auf einer großen Anzahl Beobachtungen von menschlichen Tätigkeiten unter kontrollierten Durchführungsbedingungen. Aus den Beobachtungen werden die Zeitbedarfe für elementare Tätigkeitsbausteine gewonnen und in tabellarischer Form aufgetragen (Deuse & Busch 2012). Durch Rekombination dieser elementaren Bausteine zu neuen Tätigkeitssequenzen können schließlich Soll-Zeiten für manuelle Arbeitsvorgänge ermittelt werden, ohne die konkrete Tätigkeitssequenz vorher jemals beobachtet zu haben. Allen SvZs ist gemein, dass sie eine sehr konkrete Beschreibung menschlicher Bewegungen – also motorischer Arbeit – erlauben, aber mentale, kognitive Arbeit nur sehr eingeschränkt modellieren können.

Im Gegensatz zu SvZs wird bei Methoden der Planzeitermittlung durch Beobachtung der Zeitbedarf einer konkreten Tätigkeitssequenz durch Erfassung mehrerer Wiederholungen eben dieser konkreten Tätigkeitssequenz bestimmt (REFA 1997). Die Erfassung tatsächlicher Zeitbedarfe in industriellen Produktionsvorgängen ist ein aktives Forschungsfeld, siehe z.B. (Deuse & Busch 2012; Schlick, Bruder, & Luczak 2010). In der Praxis gebräuchliche Methoden zur Zeiterfassung gehen von der Selbst-Aufschreibung bis hin zur direkten und indirekten Messung – z.B mit einer Stoppuhr (Deuse & Busch 2012). Jüngste Entwicklungen, die eine erhöhte Genauigkeit, Effizienz und Objektivität versprechen (siehe (Stoppuhr Im Ärmel - Mediendienst Januar 2012 - Thema 3 n.d.)), verwenden Sensoren wie Inertialsensoren und RFID-Tags (siehe z.B. (Zhang et al. 2012; Shibata et al. 2006)).

2.2 Lern-, Vergessens- und Erinnerungseffekte

Sowohl SvZs als auch die Zeiterfassung durch Beobachtung haben im Normalfall die Prämisse, dass eine Person, die eine Tätigkeit innerhalb der ermittelten Planzeit durchführen kann, einen hohen Übungsgrad aufweist. Die Rolle von Lerneffekten im

industriellen Kontext manueller Tätigkeiten ist seit langem bekannt und es gibt mathematische Modelle zu deren Beschreibung für eine Vielzahl von Anwendungsfällen (Anzanello & Fogliatto 2011). Ebenso für das Vergessen – also dem Abnehmen des Übungsgrades mit vorschreitender Zeit seit der letzten Durchführung einer konkreten Tätigkeit (siehe (Anzanello & Fogliatto 2011) und (Jaber & Bonney 2003) für Übersichten).

In der planerischen Praxis finden Vergesseneffekte selten Beachtung: Der Lebenszyklus des Übungsgrades eines Monteurs wird vereinfacht modelliert durch eine Lernphase, in der der Übungsgrad kontinuierlich bis auf ein Ziel-Niveau steigt, und der darauffolgenden Leistungsphase, für deren Andauern angenommen wird, dass der Übungsgrad nicht mehr sinkt.

Dem gegenüber steht die Annahme, dass eine solche Modellierung für Montagelinien mit einer großen Anzahl an Produktvarianten – und einer damit einhergehend hohen Tätigkeitsvarianz – unzulänglich ist, da im Alltag eines Monteurs manche Tätigkeiten so selten und/oder unregelmäßig durchzuführen sind, dass der Übungsgrad für diese Tätigkeiten das Soll-Niveau unterschreitet. Hinzu kommt die Annahme, dass die erhöhte Konzentration, die für das Abrufen einer großen, variantenreichen Anzahl an Tätigkeiten aus dem Gedächtnis nötig ist, die Art der Arbeit von Monteuren immer mehr von rein motorischer in Richtung mental anspruchsvoller Arbeit verschiebt. Die Tätigkeitsvarianz und hier beschriebene kognitive Anforderung resultiert aus der Sequenz durchzuführender Montagetätigkeiten. Daher wird im Folgenden eine Untersuchung zum Einfluss der Tätigkeitssequenz beim Lernen konkreter Montagetätigkeiten dargestellt.

3. Untersuchung

Im Folgenden wird eine mit Sensoren bestückte Montagestation vorgestellt, mit deren Hilfe Montagetätigkeiten in deren Tätigkeitsbausteine segmentiert werden können. Der Aufbau ermöglicht die Untersuchung einer Montageaufgabe, welche vor einem Regal stehend auf einer dafür vorgesehenen Montagefläche stattfindet, siehe Abbildung 1.

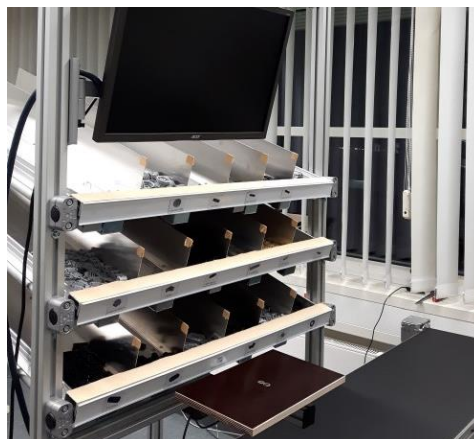


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit Bauteile-Regal, Bildschirm und Montagefläche.

Diese Funktionalität wird durch die Fusion von optischen und taktilen Sensoren erreicht, um sowohl Regalentnahmen als auch Montagevorgänge erkennen zu

können. Zur Detektion von Greifbewegungen finden Kinect Kameras Anwendung, welche über dem Aufbau positioniert werden und durch die Verwendung von dreidimensionalen Informationen als Lichtschranken fungieren. Die taktile Detektion von Montagetätigkeiten erfolgt durch Wägezellen.

Neben der regelbasierten Detektion von Montagevorgängen lassen sich durch die Verwendung eines Datenhandschuhs Handbewegungen detektieren. Hierzu wird ein Handschuh eingesetzt, welcher mit einem Inertialsensor ausgestattet ist, wodurch eine tätigkeitsbezogene Analyse der Handbewegung ermöglicht wird.

Im Verlauf des Versuchs entnimmt der Proband die notwendigen Bauteile aus den jeweiligen Regalfächern und platziert nach Vollendung einer Tätigkeitssequenz das fertige Produkt in einem dafür vorgesehenen Fach. Die Montage erfolgt nicht unter Taktdruck. Dem Probanden wird durch einen auf Augenhöhe positionierten Bildschirm eine Montageanleitung bereitgestellt. Diese Montageanleitung besteht aus zwei regelmäßig wechselnden Bildern. Links im Bild sieht der Proband stets das während der letzten Tätigkeit genutzte Bauteil sowie dessen Einbauzustand. Rechts im Bild werden das nächste zu verwendende Bauteil sowie dessen Position im verbauten Zustand angezeigt.

Während eines Durchlaufs sind durch den jeweiligen Probanden drei verschiedenartige Produkte zu montieren. Diese Produkte bestehen vollständig aus LEGO®-Bauteilen und sind realen PKW-Bestandteilen nachempfunden. Sie unterscheiden sich in ihrer Bauteil-Zusammensetzung als auch –Anzahl. Jedes Produkt wird von einem Probanden 10-fach montiert, wobei die Reihenfolge variiert wird. Diese Variationen der Tätigkeitsreihenfolge bestehen aus den möglichen Extremfällen Variante 1 (ABC-ABC-ABC-...) bzw. Variante 2 (A...A-B...B-C...C).

Die Versuchsaufgabe wurde bisher von 7 Probanden durchgeführt. Per Zufall wurde ihnen eine der beiden Montage-Varianten zugewiesen. Es wurden ausschließlich männliche Probanden untersucht, wobei die Probanden beider Gruppen ihre subjektiv empfundene Erfahrung mit Montagevorgängen als gering einstufen. Die Erfahrung mit der Montage von LEGO®-Bauteilen wurde von beiden Gruppen als mittel eingeschätzt. Das durchschnittliche Alter der Gruppen lag bei 29,75 ($\pm 5,12$) Jahren für Variante 1 sowie 24,33 ($\pm 2,05$) Jahren für Variante 2.

4. Ergebnisse und Diskussion

Mithilfe eines Machine-Learning Ansatzes (Gillian, Knapp, & O'Modhrain 2011), welcher die Beschleunigungsdaten des Handschuhs verwendet, wurden verschiedene Schraubbewegungen innerhalb einer Montagesequenz detektiert. Die Untersuchung wurde mit einem Probanden durchgeführt, für den pro Tätigkeit 10 Trainingsdatensätze aufgenommen wurden. Die Reihenfolge der durchzuführenden Tätigkeiten wurde für die Untersuchung randomisiert. Mit dem genannten Ansatz konnten 96% der Fälle Schrauben-Tätigkeiten erfolgreich erkannt werden. Die Klassifizierung nach Art war in 72% der Fälle korrekt.

Zur Analyse aller übrigen Montagetätigkeiten wurde der beschriebene regelbasierte Ansatz verwendet. In Abbildung 2 sind die summierten mittleren Durchführungsdauern aller Probanden für alle drei Produkte aufgetragen. Die Montage von Produkt A dauert 1363,38 s (Variante 1) bzw. 1327,89 s (Variante 2). Die Montage von Produkt A dauert im Schnitt bei Variante 1 durchschnittlich 3% länger als bei Variante 2. Bei der Montage von Produkt B und Produkt C beträgt die relative Abweichung sogar 15% bzw. 22%.

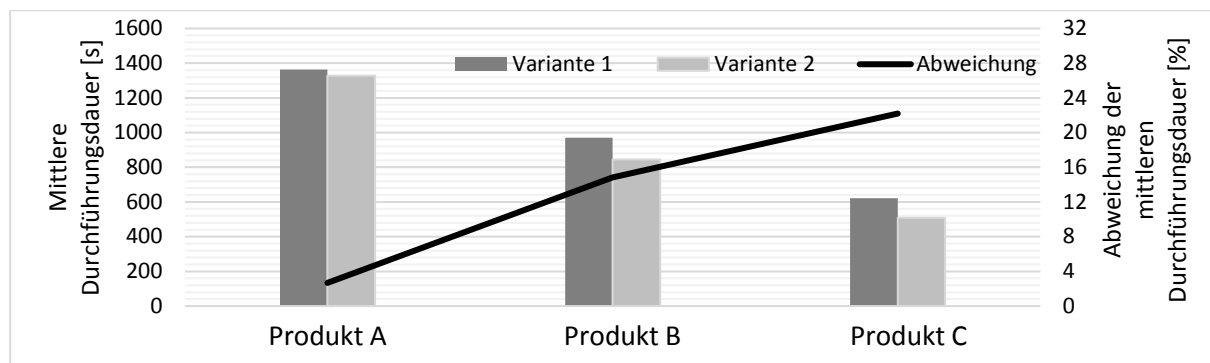


Abbildung 2: Gegenüberstellung der mittleren Durchführungsdauer für alle zehn Ausführungen einer Produktmontage für Variante 1 und Variante 2. Zusätzlich ist die relative Abweichung der gesamten Durchführungsdauer aufgetragen.

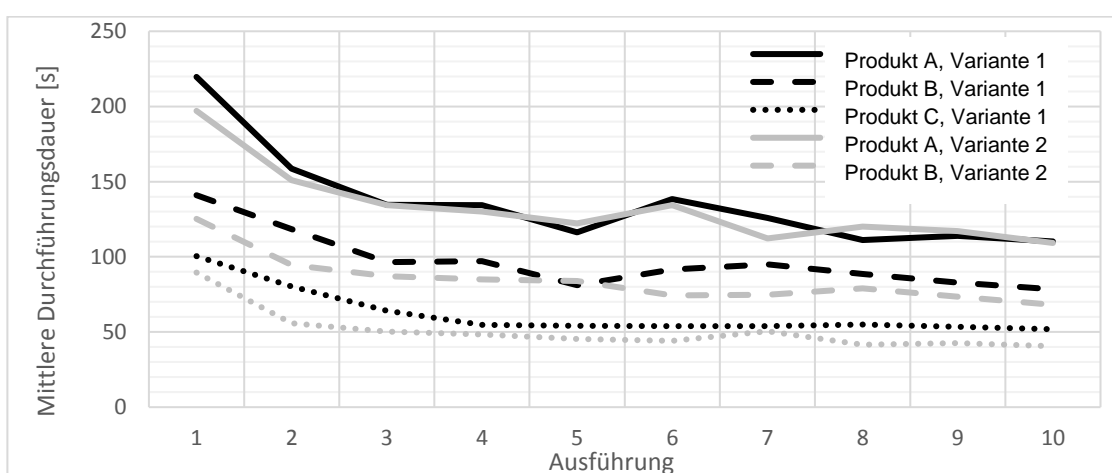


Abbildung 3: Gegenüberstellung der mittleren Durchführungsdauern der zehn Ausführungen für Variante 1 und Variante 2

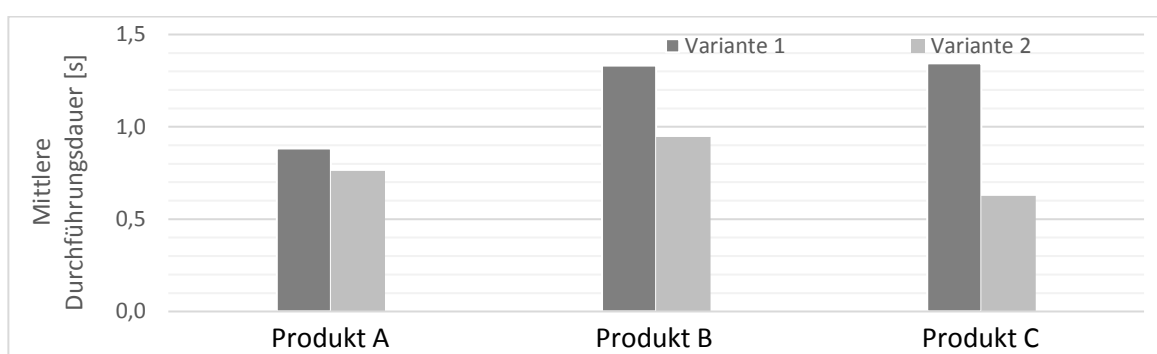


Abbildung 4: Gegenüberstellung der mittleren Durchführungsdauern für die Tätigkeit „Bauteil >Clips-Clips-Pin< montieren

Die vorgesehenen Durchführungsdauern nach MTM-STD (Produkt A/B/C: 74/50/31 Sekunden) werden von keinem Probanden erreicht. Die in Abbildung 2 dargestellten Abweichungen der gesamten mittleren Durchführungsdauern für die einzelnen Produkte sind in Abbildung 3 über die einzelnen Wiederholungen aufgetragen. Die Montage von Produkt C zeigt bei Variante 1 deutliche

Verbesserungen bis zur vierten Ausführung. Variante 2 zeigt bereits ab der zweiten Wiederholung nur noch geringfügige Verbesserungen in der mittleren Durchführungszeit.

Abbildung 4 zeigt die mittlere Durchlaufsdauer für die Tätigkeit „Bauteil >Clips-Clips-Pin< einclipsen“, welche bei der Montage aller drei Produkte in unterschiedlicher Anzahl vorkommt (Produkt A/B/C: 13/2/3). Variante 1 erreicht nur bei Produkt A eine Durchlaufsdauer in der Größenordnung von Variante 2. Diese Tatsache legt die Vermutung nahe, dass die häufige, direkt wiederholte Durchführung der Tätigkeit während der Montage von Produkt A diesen Effekt verursacht. Im Vergleich zu Variante 2 übersteigen die mittleren Durchlaufzeiten von Variante 1 diese um +16% (Produkt A), +41% (Produkt B) und +114% (Produkt C). Beim Vergleich der auf das Bauteil >Clips-Clips-Pin< bezogenen Werte mit den Werten für die kompletten Produkte (Produkt A/B/C: +3/+15/+22 %) zeigt sich, dass die Tätigkeit „Bauteil >Clips-Clips-Pin< montieren“ überdurchschnittlich zu den verkürzten Durchlaufzeiten von Variante 2 beiträgt.

5. Fazit und Ausblick

In der vorgestellten Untersuchung zeigt sich, dass die Montagesequenz einen signifikanten Einfluss auf das Lernverhalten von Werkern hat. Ferner konnte ermittelt werden, welche Einzeltätigkeiten in der Montage eines Produkts den größten Anteil an den Lerneffekten haben. Dies wurde ermöglicht durch die robuste und zeitlich hochauflösende Zeiterfassungsmethode.

Im Rahmen der weiteren Forschungsarbeiten gilt es, den Probandenumfang der Studie zu steigern und damit die statistische Signifikanz der erkannten Variantenunterschiede nachzuweisen sowie die Untersuchungen auf Tätigkeiten im vermeintlichen geübten Zustand auszuweiten.

6. Literatur

- Agethen P, Otto M, Mengel S, Rukzio E (2016) Using Marker-less Motion Capture Systems for Walk Path Analysis in Paced Assembly Flow Lines. *Procedia CIRP*
- Anzanello MJ, Fogliatto FS (2011) Learning curve models and applications: Literature review and research directions. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41:573–583.
- Deuse J, Busch F (2012) Zeitwirtschaft in der Montage. In: Lotter B, Wiendahl H-P (Hrsg) *Montage in der industriellen Produktion*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 79–107
- Gillian N, Knapp B, O’Modhrain S (2011) Recognition Of Multivariate Temporal Musical Gestures Using N-Dimensional Dynamic Time Warping. In: *NIME*. S 337–342
- Jaber MY, Bonney M (2003) Lot sizing with learning and forgetting in set-ups and in product quality. *International Journal of Production Economics* 83:95–111.
- REFA (1997) *REFA Methodenlehre der Betriebsorganisation, Datenermittlung*. Fachbuchverlag Leipzig, München
- Schlick CM, Bruder R, Luczak H (2010) *Arbeitswissenschaft*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- Shibata T, Tsuda T, Araki S, Fukuda K (2006) RFID-based production process monitoring solutions. *NEC Tech J* 1:77–81.
- Zhang Y, Jiang P, Huang G et al (2012) RFID-enabled real-time manufacturing information tracking infrastructure for extended enterprises. *Journal of Intelligent Manufacturing* 23:2357–2366.
- Stoppuhr im Ärmel - Mediendienst Januar 2012 - Thema 3. <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2012/januar/stoppuhr-im-aerml.html>. Zugegriffen: 30. Mai 2016



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