

# Entwicklung einer Methode zur Darstellung und Reduktion der Variabilität innerhalb variantenreicher Montagelinien

Steffen M. ALLMENDINGER, Stefan KECKL, Frederik SCHNEIDER

*AUDI AG, Ingolstadt  
Ettinger Straße, D-85045 Ingolstadt*

**Kurzfassung:** Innerhalb der Automobilbranche werden vermehrt unterschiedliche Derivate auf den Fertigungslinien montiert. Dieser Trend hat zur Folge, dass die erforderlichen Montageumfänge je Fahrzeug teilweise variieren, was sich wiederum in unterschiedlichen Montagezeiten widerspiegelt. Ziel der zu entwickelnden Methode ist es, die Variabilität des Systems zu objektivieren, um darauf aufbauend Potenziale innerhalb des Gesamtsystems bzw. der Fertigungslinien zu visualisieren. Insbesondere sollen hierbei auch die daraus resultierenden Belastungen auf die Arbeitsperson mitberücksichtigt werden. Darüber hinaus gilt es, einen ganzheitlichen Ansatz zur Gestaltung des Montagesystems zu erarbeiten. Hierbei spielt die Integration von belastungsreduzierenden Maßnahmen eine wesentliche Rolle.

**Schlüsselwörter:** Variabilität, psychische Belastung, variantenreiche Montage, Montageplanung

## 1. Hintergrund

Der Automobilmarkt ist in einem kontinuierlichen Wandel. Insbesondere zeigt sich dieser Wandel anhand der Kundenorientierung der Produkte und der einhergehenden Derivatisierung der Montagelinien. Durch differierende Montagezeiten (Zeitspreizung) kommt es dabei zu variantenbedingten Schwankungen, die darüber hinaus auch zu temporären Belastungsspitzen und somit zu einer ungleichmäßigen Ressourcenbeanspruchung führen können. Um dem Anspruch einer möglichst gleichmäßigen Ressourcenbeanspruchung zu entsprechen, ist es zunächst erforderlich, die Variabilität des Gesamtsystems „Montagelinie“ zu objektivieren. Darauf aufbauend sollen Potenziale identifiziert werden, die in die Ausarbeitung eines ganzheitlichen Ansatzes zur Gestaltung des Gesamtsystems einfließen. Insbesondere sollen hierbei die variabilitätsbezogenen Belastungen hinsichtlich der Arbeitspersonen sowie Maßnahmen zu deren Reduzierung diskutiert werden. Bei der Erarbeitung der Systematik wird der Fokus auf die manuelle Montage innerhalb eines Automobilunternehmens gelegt.

## 2. Visualisierung der Zeitspreizung

Die Zeitspreizung stellt einen Effekt der Variantenfließfertigung dar, der durch das Zusammenspiel von Variantenanzahl, Verbaurate und Montagezeitdifferenz entsteht. Dabei können Auslastungsdefizite, Produktivitätsverluste und Qualitätsprobleme die Folgen sein (Jander, 2012).

Ziel der Systematik ist es, die Zeitspreizung, die aufgrund der differierenden Fertigungszeiten entsteht, abzubilden. Die Dimensionen der Zeitspreizung beziehen sich nach Jander (2012) auf die Effizienz und Streuung der zeitlichen Inanspruchnahme der Ressourcen. Die Montagezeitdifferenzen innerhalb eines definierten Zeitintervalls lassen sich hierbei durch die Streuung objektiv darstellen. Wohingegen die durchschnittliche Auslastung [in %] die Effizienz der Montagestation abbildet und mögliche Produktivitätsverluste aufzeigt. Das Maß der Streuung wird über die Mittelwertabweichung der Fertigungszeiten ermittelt, während die Auslastung als das arithmetische Mittel der zeitlichen Belastung bestimmt wird (Keckl et al., 2015). Die Ermittlung der Fertigungszeit basiert hierbei auf einem System vorbestimmter Zeiten (MTM-UAS).

**Mittelwertabweichung:** 
$$e_z = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

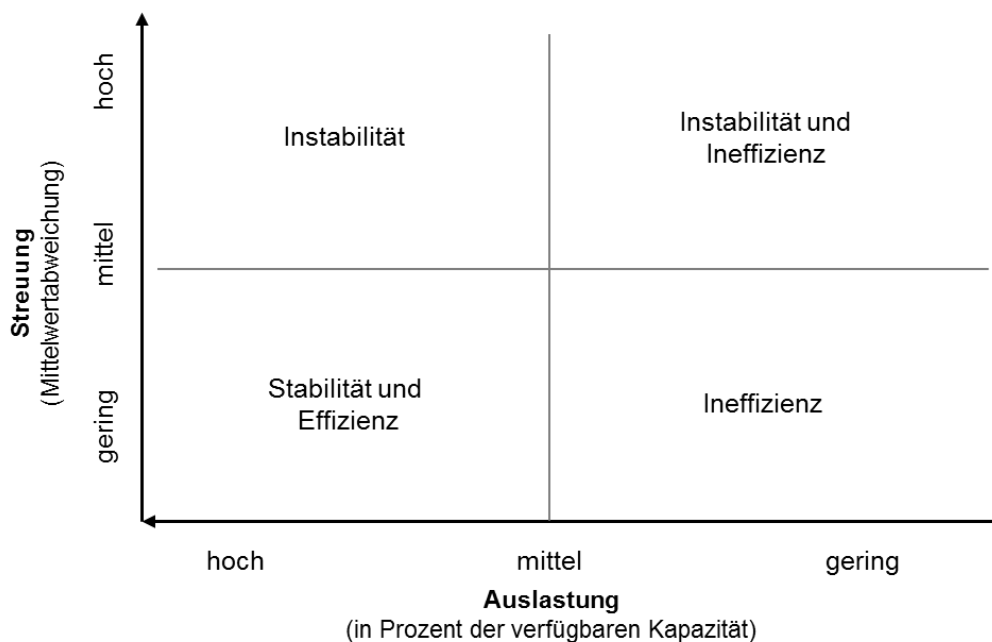
z = Montagestation

n = Anzahl der Werte (Produkte an Montagestation)

$x_i$  = Wert der Fertigungszeit des Produktes i an Montagestation z

$\bar{x}$  = Mittelwert der Werte der Fertigungszeiten

Die Visualisierung der Zeitspreizung einzelner Arbeitsplätze erfolgt über eine Stabilitätsmatrix, in der die beschriebenen Dimensionen auf der X- und Y-Achse aufgetragen werden. Über die Stabilitätsmatrix (Abbildung 1) können Bereiche definiert werden, die hinsichtlich der Variabilität (Streuung) und der Wirtschaftlichkeit (durchschnittliche Auslastung) in Relation stehen. Dabei wird im Allgemeinen der Bereich angestrebt, bei dem die Fertigungszeiten möglichst gering streuen und die durchschnittliche Auslastung sich 100% annähert. Diese Situation wird in der Fließfertigung bevorzugt, da die Montagevorgänge ähnliche Fertigungszeiten auslösen und somit durch den stabilen Takt Über- bzw. Unterlastungen vermieden werden (Hu et al., 2011).



**Abbildung 1:** Stabilitätsmatrix (in Anlehnung an Keckl et al., 2015)

Arbeitsplätze die sich im instabilen Quadranten befinden, weisen eine hohe Streuung der Fertigungszeiten und eine hohe durchschnittliche Auslastung auf. Sie neigen zu einer erhöhten Sensitivität hinsichtlich ihres Produktionsprogrammes und können somit zu temporären Belastungsspitzen führen. Die Arbeitsplätze im Quadranten der Instabilität und Ineffizienz neigen ebenfalls zu einer Sensitivität, jedoch können die temporären Belastungsspitzen durch die geringe durchschnittliche Auslastung kompensiert werden.

Arbeitsplätze im ineffizienten Bereich nehmen (relativ zu den anderen Bereichen) zu wenig Streuung auf und weisen somit noch Potenzial auf, die Streuung aus den instabilen Bereichen zu kompensieren. Zusammenfassend gilt die Stabilitätsmatrix als Ausgangssituation für das Ableiten von konkreten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung oder Stabilisierung von einzelnen Arbeitsplätzen (Keckl et al., 2015).

### 3. Methode und Durchführung

Durch die differierenden Montagezeiten kommt es zu variantenbedingten Schwankungen, die bei ungünstiger Sequenzierung ggf. zu temporären Belastungsspitzen führen können. Hierbei können als mögliche Folge die psychischen Beanspruchungen zunehmen. Beanspruchungsfolgen wie Stress, Monotonie, psychische Ermüdung und Sättigung können damit einhergehen. Insbesondere stellt sich hierbei die Frage, ob die Belastungsspitzen einen signifikanten Effekt bezüglich der Beanspruchungsfolgen aufweisen. Darüber hinaus gilt es zu untersuchen, welche Maßnahmen zur Belastungsreduzierung implementiert werden können.

Als Erhebungsmethode der explorativen Studie dient eine Mitarbeiterbefragung in Form eines standardisierten Fragebogens. Für die Erfassung der psychischen Beanspruchung wurden Items der Beanspruchungsmessskalen (BMS) nach Plath und Richter (1984) verwendet. Bezüglich der Arbeitszufriedenheit sind Items von Brok (2011) entlehnt worden. Als Skala dient bei allen Items eine 6-stufige Likert-Skala.

Grundlage für das Studiendesign bildete ein Expertenworkshop mit dem Fokus arbeitsplatz- und arbeitsorganisatorische Einflussfaktoren zu identifizieren. Insbesondere konnten daraus belastungsreduzierende Maßnahmen abgeleitet werden, die die Beanspruchung aus den temporären Belastungsspitzen begrenzen können. Als Ergebnis wurde die Notwendigkeit der Erweiterung der Handlungskontrolle ermittelt. Diese kann mittels einer Arbeitsvorausschau oder Einrichtung eines Driftbereiches erfolgen. Driftbereiche bilden eine Verlängerung der Arbeitsstation, anhand derer die Arbeitsperson flexibel den Leistungsgrad anpassen kann (Jander, 2012). Beim Driften besteht die Gefahr einer Werkerkollision, die zu einer gegenseitigen Behinderung der Mitarbeiter führen kann (Kluge, 2010).

Die aufgeführten Einflussfaktoren konnten lediglich subjektiv aufgenommen werden, da die Anonymität der Probanden gewährleistet sein musste. Die Befragung fand in der manuellen Montage statt. Sechs Analysecluster mit vergleichbaren Arbeitsplätzen bezüglich ihrer Streuungsausprägung (gering, mittel, hoch) und durchschnittlicher Auslastung (gering, mittel, hoch) bilden die Grundlage der objektiven Belastungsgrößen. Mit der Befragung der Früh-, Spät- und Nachtschicht ergab dies eine Stichprobe von n= 230 Probanden.

#### 4. Ergebnisse der empirischen Untersuchung

Bei der Untersuchung der arbeitsplatz- und arbeitsorganisatorischen Einflussfaktoren zeigt sich, dass die Gelegenheit zu driften sowohl mit der Zufriedenheit als auch mit der psychischen Beanspruchung korreliert (Tabelle 1). Wie unter Kapitel 3 beschrieben, kann bei hoch ausgelasteten Fahrzeugen das Risiko einer Werkerkollision bestehen. In diesem Zusammenhang sinkt die Arbeitszufriedenheit mit steigendem Risikoempfinden. Jedoch hat dies keine Auswirkung auf die psychische Beanspruchung. Die Möglichkeit Arbeitsinhalte vorherzusehen wirkt positiv auf die Zufriedenheit und folglich negativ auf die mentale Beanspruchung. Aus dem Item zur Unterstützung durch Kollegen während einer Belastungsspitze geht hervor, dass die Arbeitszufriedenheit erhöht und die psychische Beanspruchung reduziert werden kann.

Infolgedessen bilden sowohl die Vermeidung von Werkerkollisionen, eine gezielte Unterstützung durch Kollegen bei Belastungsspitzen als auch die Möglichkeit zur Vorausschau und zum Driften Stellhebel zur Erhöhung der Arbeitszufriedenheit. Mit Ausnahme der kollegialen Unterstützung kann mit dem zielgerichteten Einsatz der dargestellten arbeitsplatz- und arbeitsorganisatorischen Einflussfaktoren die psychische Beanspruchung reduziert werden.

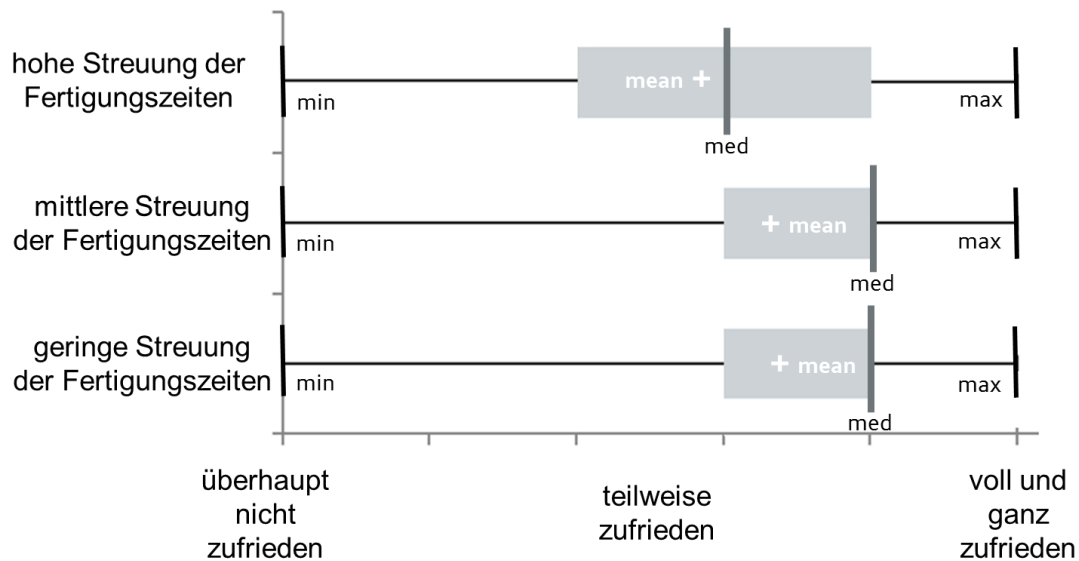
**Tabelle 1:** Ergebnisse der subjektiv aufgenommenen Einflussfaktoren

		Zufriedenheit Brok (2011)	psychische Beanspruchung Beanspruchungs- messskalen (BMS) Plath & Richter (1984)
Driftbereich	r	,16*	-,37*
	Sig.	,014	,000
	N	228	230
Vorausschau	r	,48*	-,16*
	Sig.	,000	,014
	N	248	242
Werkerkollision	r	-,17*	,36*
	Sig.	,010	,000
	N	227	229
Unterstützung durch Kollegen	r	,31*	-,14
	Sig.	,000	,34
	N	226	228

\*Die Pearson Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant

Innerhalb der Untersuchung hinsichtlich der objektiven Belastung, der Streuung von Fertigungszeiten, wurden drei Cluster bezüglich ihrer Streuungsausprägung gebildet (gering, mittel und hoch). Die ANOVA bezüglich des Zufriedenheitsitems zeigt, dass ein signifikanter Unterschied der Clustergruppen besteht. Somit kann die faktorielle Varianzanalyse, mit  $F(df)=3.07$ ;  $p=.049$ ;  $n=147$ , einen Einfluss der Streuung auf die Zufriedenheit bestätigen.

Das Konstrukt zur psychischen Beanspruchung konnte, mit  $F(df)=0.35$ ;  $p=.70$ ;  $n=146$ , keine signifikanten Ergebnisse liefern. Der dargestellte Zusammenhang bezüglich der Streuung und deren Wirkung auf die Zufriedenheit ist in dem nachfolgenden Whisker-Plot in Abbildung 2 ersichtlich.



**Abbildung 1:** Whisker-Plots der Streuungscluster und der selbstberichteten Arbeitszufriedenheit

## 5. Diskussion und Ausblick

Gemäß der Studie weisen die arbeitsplatz- und arbeitsorganisatorischen Maßnahmen Potenziale zur Verbesserung der Arbeitssituation auf. Jedoch stellen diese Einflussfaktoren bei der explorativen Studie eine subjektive Komponente dar, die ggf. von einer objektiven Datenerhebung abweichen könnten.

In diesem Kontext ist darauf hinzuweisen, dass bei den hoch streuenden Arbeitsplätzen bereits mehrere belastungsreduzierende Maßnahmen implementiert sind. Dies kann insbesondere die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich des Einflusses der Streuung auf die Arbeitszufriedenheit und Beanspruchung verfälschen. Darüber hinaus ist bei der Erfassung der psychischen Beanspruchung das zeitliche Versuchsetting zu eruieren. Die Befragung erfolgte 2 Stunden nach Arbeitsbeginn, was somit auch die Länge der Beanspruchungsdauer darstellt. Die Beanspruchungsdauer bietet gegebenenfalls einen zu geringen Bezugsrahmen, um die Beanspruchung adäquat messen zu können. Aufgrund der Vergleichbarkeit der Arbeitsplätze erfolgte die Studie in einer Montagelinie mit einem konstanten Arbeitstakt von 88 Sekunden. Im Hinblick auf die dargelegten Ergebnisse ist zu überprüfen, ob diese einheitlich für alle Montagelinien übernommen werden können oder ob es einer taktzeitspezifischen Anpassung bedarf. Darüber hinaus bleibt zu klären, ob die Stabilitätsmatrix mit zwei Dimensionen für die belastungsorientierte Gestaltung des Gesamtsystems ausreichend ist oder ob weitere Dimensionen in Betrachtung gezogen werden müssen.

Im Rahmen der Untersuchung hat sich gezeigt, dass eine langfristige Stabilisierung innerhalb des Gesamtsystems und somit eine Verlagerung der Arbeitsplätze in einen adäquaten Belastungskorridor angestrebt werden sollte. Die Umtaktung von streuenden Arbeitsumfängen aus Arbeitsplätzen, die sich in dem instabilen Quadranten befinden, hin zu Arbeitsplätzen, die sich im ineffizienten Quadranten befinden, stellt folglich eine konkrete Maßnahme zur Stabilisierung dar. Diese ist jedoch in der Praxis durch einige Prämissen wie z.B. der Einhaltung des Vorranggraphs oder der Berücksichtigung von fest installierten Betriebsmitteln geprägt.

Darüber hinaus wird die Stabilisierung des Gesamtsystems anhand der Sequenzierung des Produktionsprogrammes angestrebt. Dies kann über eine Glättung und der damit einhergehenden quantitativen Minderung von temporären Belastungsspitzen erfolgen. Die Sensitivität gegenüber mehreren aufeinanderfolgenden hoch ausgelasteten Fahrzeugen kann dadurch reduziert werden. Gleichwohl hat dies zur Folge, dass der zeitliche Betrachtungsrahmen (Zeitintervall z.B. zwei Stunden) der jeweiligen Arbeitsplätze verringert werden muss. Die Implementierung der belastungsfokussierten Sequenzierung hat jedoch ihre Grenzen und kann durch die Restriktionen nicht für jeden Arbeitsplatz umgesetzt werden. Es empfiehlt sich daher die Sequenzierung auf Grundlage der Arbeitsplätze anzupassen, die sich im instabilen Quadranten befinden (Keckl et al., 2015). Anhand der Stabilitätsmatrix können objektiv Arbeitsplätze ermittelt werden, an denen konkrete Maßnahmen zu erfolgen haben. Somit können neben den bereits erläuterten Maßnahmen weitere belastungsreduzierende Maßnahmen dargestellt werden, die insbesondere für Arbeitsplätze im instabilen Quadranten von Bedeutung sind.

Nachfolgend werden Maßnahmen erörtert, die aus der Befragung abgeleitet werden und die sich konkret auf die Handlungskontrolle des Mitarbeitenden beziehen: Offene Stationsgrenzen, mithilfe derer die Mitarbeitenden in die nachfolgende Arbeitsstation driften können, bilden einen flexiblen Umgang der menschlichen Ressourcen. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass eine Werkerkollision vermieden wird (unterschiedliche Bauräume). Eine weitere Maßnahme um die Handlungskontrolle zu erhöhen, kann durch die Implementierung einer Belastungsvorausschau (z.B. für die nächsten 2 Stunden) erfolgen. Entsprechend können sich die Arbeitspersonen mental auf die bevorstehende Arbeit vorbereiten. Darüber hinaus lassen sich aus der Vorausschau konkrete Schritte, wie bspw. eine zielgerichtete Unterstützung durch Gruppensprecher oder Mitarbeiter aus angrenzenden Arbeitsstationen, ableiten.

Die dargestellte Methodik zeigt arbeitsplatzspezifische Potenziale zur gezielten Reduzierung von Belastungsspitzen. Ein flächendeckender Einsatz der Methodik wird nach Klärung der Diskussionspunkte angestrebt.

## 6. Literatur

- Brok, U. & Kals, E. (2012). Wie „Wert“-voll ist die Arbeit?: Eine psychologische Analyse des Einflusses von Werten auf Engagementbereitschaften deutscher Erwerbstätiger. Eichstätt-Ingolstadt, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Diss., 2012.
- Hu SJ, Ko J, Weyand L, El Maraghy HA, Kien TK, Koren Y, Bley H, Chryssolouris G, Nasir N, Shpitalni M. Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 2011; 60:715-733.
- Jander, H. (2013). Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage. Dissertation an der Technischen Universität Chemnitz. Göttingen: Cuvillier.
- Keckl, S., Kern, W., Abou-Haydar, A. & Westkämper, E., 2015. An analytical framework for handling production time variety at workstations of mixed-model assembly lines. *Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems*.
- Kluge F. (2010). Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau (VDI-Buch). Heidelberg, Berlin: Springer.
- Plath, H.-E. & Richter, P. (1984). Ermüdung - Monotonie - Sättigung - Stress: BMS; Verfahren zur skalierten Erfassung erlebter Beanspruchungsfolgen. Psychodiagnostisches Zentrum: Vol. 15. Berlin: Psychodiagnost. Zentrum.