

Entwicklung einer Komplexitätsmetrik zur Planung von Montageprozessen in der Automobilindustrie

Steffen M. ALLMENDINGER

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

Kurzfassung: Der Automobilmarkt hat sich in den letzten Dekaden kontinuierlich gewandelt. Um neue Käuferschichten zu erreichen, streben die Premiumhersteller nach einer Individualisierung ihres Produktprogrammes. Das Beherrschen der damit einhergehenden Komplexität stellt einen maßgeblichen Erfolgsfaktor dar. Die Derivatisierung stellt neue Anforderungen an die Mitarbeitenden und nimmt verstärkt mentale Ressourcen in Anspruch. Bis dato gibt es kein Verfahren, um diese komplexitätsbedingten Belastungen einer Arbeitsfolge dezidiert beschreiben zu können. Ziel soll es somit sein, die variantenspezifische Komplexität einer Arbeitsfolge in Form einer Metrik zu operationalisieren. Über die Beeinflussung komplexitätsabhängiger Faktoren sollen gezielt mentale Belastungen gesteuert werden.

Schlüsselwörter: Komplexität, Informationsverarbeitung, mentale Belastung, Montageplanung

1. Einleitung

Die Erweiterung der Modellpalette hat innerhalb der Montagelinie zur Folge, dass eine zunehmende Anzahl an Derivaten gefertigt wird. Die Variantenvielfalt zwingt die in den Prozessen arbeitenden Personen zu einem beständigen Umdenken und einer erhöhten Aufmerksamkeit, um die variantenspezifischen Arbeitsfolgen fehlerfrei zu beherrschen. Diese mentale Beanspruchung führt neben potenziellen Montagefehlern auch zu einer längeren Anlernzeit. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund kürzer werdenden Produktlebenszyklen und der damit einhergehenden Zunahme an Anlaufsituationen erlangt die Anlerndauer und die Variantenvielfalt zunehmend an Bedeutung.

2. Theoretischer Hintergrund

Je nach Forschungsziel und -disziplin weichen die Definitionen des Begriffes Komplexität voneinander ab und bilden somit verschiedene Interpretationen (Rall und Dalhöfer 2004). Jedoch besteht über die Beschaffenheit der Mehrdimensionalität in der Literatur vorwiegend Einigkeit, wenngleich die Operationalisierungsvorschläge und die dargestellten Dimensionen voneinander abweichen (Luhmann 2009).

Die DIN Norm EN ISO 10075-2 (2000) definiert die Komplexität anhand der zu treffenden Entscheidungen im Arbeitsprozess. Demnach besteht eine hohe Aufgabenkomplexität dann, wenn „der Operator zu viele Entscheidungen in einer bestimmten Zeiteinheit zu treffen hat“ (DIN EN ISO 10075-2 2000). In der Literatur wird der Begriff Komplexität oftmals auch in Zusammenhang mit der Information bzw. mit den Informationstheorien gebracht. Hierbei ist insbesondere die

Informationstheorie nach Shannon (1948) und der Informationsgehalt eines Elementes aufzuführen.

Nach Wildemann (2011) ist die Komplexität die Grundgesamtheit der Merkmale Dynamik und Kompliziertheit. Die Dynamik, die die Komplexität bewirkt, kann durch die verschiedenen Varianten an einem Arbeitsplatz beschrieben werden. Dies bedeutet, dass sich bei jedem neuen Takt durch die abwechselnden Varianten einzelne Elemente (hier beispielsweise: Arbeitsschritte, Bauteile und Betriebsmittel) zeitlich verändern und somit die Dynamik im Arbeitssystem bewirken.

Bezogen auf die Kompliziertheit des Systems wird die Anzahl und die Art des Elementes in Betracht gezogen. Die Art des Elementes äußert sich dabei anhand dessen inhärenter Merkmalsausprägung. Diese sind durch die sensumotorischen Anforderungen einer Arbeitsfolge zu charakterisieren. Es können verschiedene Arten von Arbeitsfolgen und demnach verschiedene Schwierigkeitsgrade bezüglich des Kontrollaufwandes unterschieden werden (Luczak und Göbel 1996).

Somit bildet die beschriebene Komplexität sowohl den Kontrollaufwand - anhand der sensumotorischen Schwere - als auch die informatorische Komponente - im Sinne der Fortsetzungsalternativen durch die Varianten und die zu treffenden Entscheidungen - ab. Die Merkmale der Komplexität sind in Abbildung 1 skizziert.

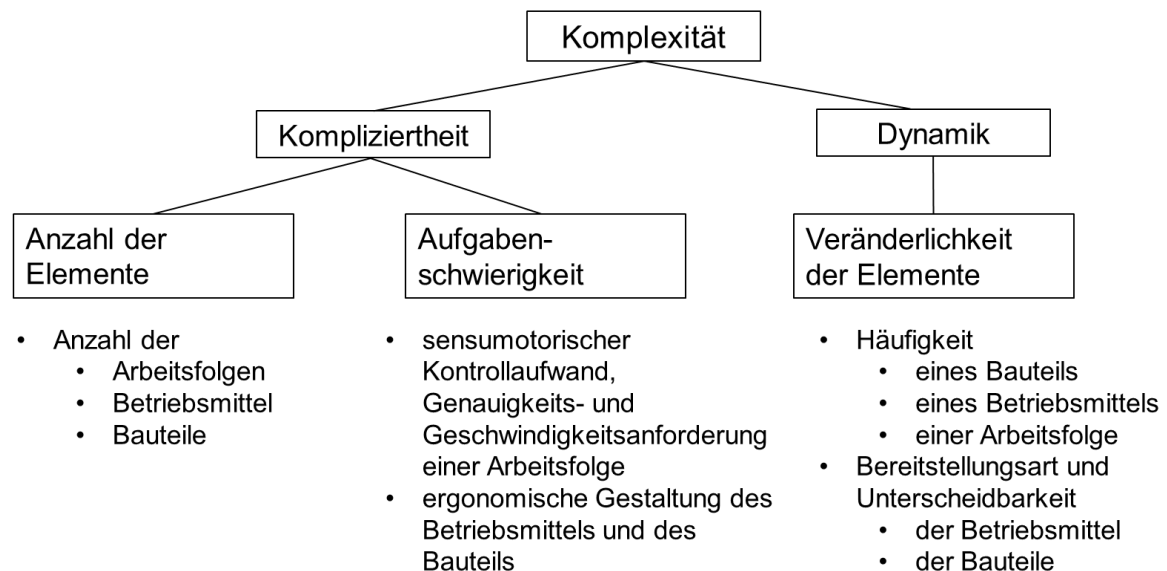


Abbildung 1: Merkmale der Komplexität bezogen auf einen Montagearbeitsplatz

3. Objektivierung der Einflussfaktoren

Das Bewerten der Belastungsgröße Komplexität stellt einen wesentlichen Baustein der Metrik dar, somit wird insbesondere hierfür ein Quantifizierungsansatz erarbeitet. Das Maß der Komplexität soll somit in einem mathematischen Modell beschrieben werden. Die beschriebenen Einflussfaktoren gilt es somit für die Montageplanung zu objektivieren.

Dabei stellen die *Anzahl der Elemente* diskrete Merkmale dar. Die *Aufgabenschwere* kann anhand der Montageerschwernisse dargestellt werden. Dabei wird auf die bestehende Methode ProKon (Produktionsgerechte Konstruktion) zurückgegriffen. Die aus der MTM-Methodik ableitbaren Einflüsse auf Montageerschwernisse werden hierbei anhand einer Punktesystematik beurteilt. Bei

der ProKon-Analyse werden bauteilbezogene Merkmale wie Gewicht, Abmessungen sowie Anzahl und Art der Fügestellen bewertet. Darüber hinaus werden Daten bezüglich des Verbauorts mitbetrachtet. Hierbei stellen die Sichtbarkeit oder die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen sowie der Entscheidungsspielraum hinsichtlich der Einbaulage konkrete Einflüsse dar (Bokranz, Landau 2012). Die auf das Bauteil bezogene Bewertung wird auf die Arbeitsplatzebene übertragen und stellt somit die Aufgabenschwere objektiv dar.

Die *Dynamik* des Systems kann anhand der zu treffenden Entscheidungen und der entsprechenden Auftretenswahrscheinlichkeiten (p_i) von Arbeitsfolgen, Betriebsmittel und Bauteile abgebildet werden. Anhand der Entropie (H) und der zugrundeliegenden Shannon'schen Informationstheorie kann bewertet werden, inwieweit die in der Vergangenheit liegenden Ereignisse berücksichtigt werden müssen, um die zukünftigen Ereignisse eines Interaktionsprozesses möglichst präzise vorherzusagen (Schlick und Winkelholz 2008). Die Entropie nach Shannon bildet somit eine Möglichkeit der Objektivierung und wird wie folgt ermittelt.

$$-\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (3.1)$$

Anhand der empirischen Methode wird sowohl die bedingte als auch die unbedingte Entropie überprüft. Aufgrund der drei veränderbaren Elemente Bauteil, Betriebsmittel und Arbeitsfolge wird hierbei die euklidische Norm verwendet, um die Gesamtentropien ermitteln zu können (nach Jeske 2013).

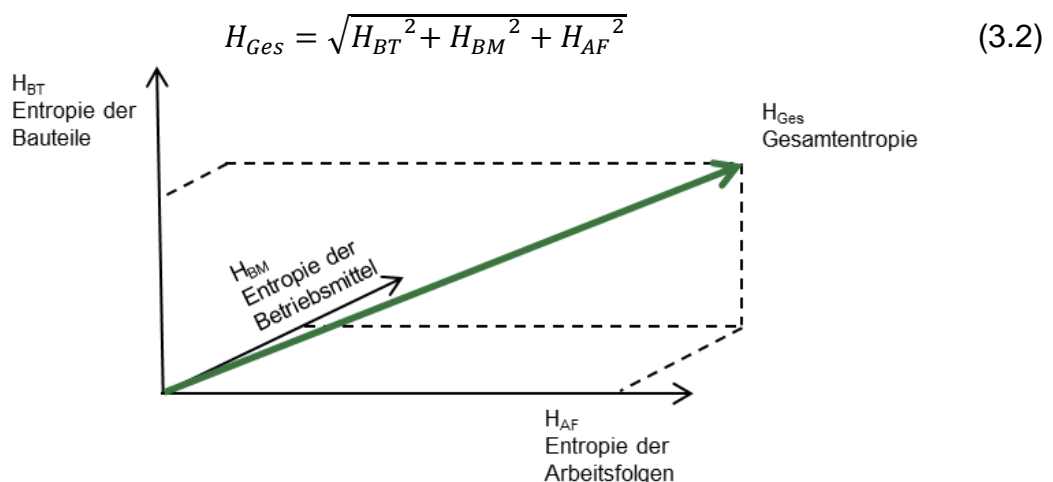


Abbildung 2: Zusammensetzung der Gesamtentropie (Jeske 2013, vom Verfasser erweitert)

Die Bereitstellungsart und Unterscheidbarkeit der Bauteile bezieht sich auf die Anzahl, Merkmale des Erscheinungsbildes (Geometrie und Farbe) sowie prozessunterstützende Einrichtungen, wie bspw. ein Pick-by-Light-Regal. Die Skalierung wird hierbei mit lediglich drei Ausprägungen bewertet.

4. Methode

Grundlage der Validierungsmethode bildet die Anlerndauer. Je komplexer eine Arbeitstätigkeit ist, desto länger wird benötigt, die Tätigkeit sicher zu beherrschen. Auf Grundlage der sensumotorischen Anforderung konnte in Studien nachgewiesen werden, dass einfache Bewegungen wie Hinlangen und Bringen nahezu sofort beherrscht und die Ausführungsdauer durch Übung nur marginal verbessert werden.

Die primär sensorisch kontrollierten Greif- und Fügevorgänge sind als schwierig einzustufen, da sich die Ausführungsdauer durch Übung wesentlich verbessert (Rohmert und Kirchner 1969, Luczak und Göbel 1996). Bezüglich der Entscheidungen und der Informationsverarbeitung konnte bereits Jeske (2013) eine Korrelation zwischen Entropiewert und Anlerndauer nachweisen.

In einer Vorstudie werden zunächst Arbeitsplätze anhand der dargestellten Objektivierungsgrundlage bewertet. Gruppenleiter, die die Einarbeitung vornehmen, beurteilen die durchschnittliche Anlerndauer und die Ausprägungen der Einflussfaktoren an den jeweiligen Arbeitsplätzen. Somit können die Einflussfaktoren identifiziert und das Konstrukt bereits explorativ überprüft werden.

Eine objektive Datenerhebung der Anlerndauer bildet die Grundlage der empirischen Studie. Auf Basis von Zeitaufnahmen und Leistungsgradbeurteilungen an Vormontagearbeitsplätzen werden die zu untersuchenden Einflussgrößen anhand der Anlernkurve identifiziert und parametrisiert. Hierbei sind insbesondere die Arbeitsinhalte von Bedeutung. Somit müssen die Einflussgrößen der Anlernmethodik und die menschlichen Merkmale konstant gehalten bzw. als Störvariable aufgenommen werden. Bei dem Versuchsaufbau empfiehlt es sich 3 Messungen á 6 Minuten durchzuführen, die in einem Rhythmus von 2 Stunden auseinanderliegen. Anhand der Lerngeschwindigkeit werden die jeweiligen Einflüsse parametrisiert. Dies bildet die Grundlage des mathematischen Modells und somit der Planungsmetrik.

5. Ausblick

Über die Beeinflussung komplexitätsabhängiger Faktoren sollen gezielt mentale Belastungen gesteuert und somit die Produktivität erhöht werden. Dies geschieht unter der Prämisse, die Arbeitspersonen mental bestmöglich zu beanspruchen. Darüber hinaus kann durch eine gezielte Steuerung und Planung der mentalen Belastungen das Wohlbefinden der Arbeitsperson erhöht werden.

Insbesondere in der Montageplanung bietet die Metrik zu den bereits implementierten Methoden einen zusätzlichen Baustein bezüglich der mentalen Belastung. Zudem können während der Anlaufsituationen neuer Modelle die Personalaufwände gezielt geplant werden.

6. Literatur

- Bokranz, R.; Landau, K. (2012). Handbuch Industrial Engineering - Band 2: Anwendung. Stuttgart: Schäffer Poeschel Verlag.
- EN ISO 10075-2 (2000). Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze, Berlin: Beuth.
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal 27 (3), S. 379 - 423.
- Jeske, T. (2013). Entwicklung einer Methode zur Prognose der Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. Aachen: Shaker.
- Luczak, H.; Göbel M. (1996). Psychophysische Aspekte sensumotorischer Tätigkeiten. In: Ergonomie der Sensumotorik. (1996) Landau, K.; Luczak, H.; Laurig, W. (Hrg.) München, Wien: Hanser.
- Rall, K.; Dalhöfer, J. (2004). Komplexität indirekter Prozesse bei der Erstellung variantenreicher Produkte, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikplanung, 99. Jg., Nr. 11, S. 623 - 630.
- Schlick, C.; Winkelholz, C. (2008). Komplexität und Mensch-Maschine-Interaktion. In Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. S. 353 - 370.
- Wildemann, H.; Voigt, K.-I. (2011). Komplexitätsindex-Tool: Entscheidungsgrundlagen für die Produktprogrammgestaltung bei KMU. München: TCW-Verlag.