

## **Verfeinerung und Erweiterung des Arbeitssystemmodells zur Gestaltung humanorientierter Arbeit für Mensch-Maschine-Interaktion**

Thomas FINSTERBUSCH, Peter KUHLANG

*Deutsche MTM-Vereinigung e. V., MTM-Institut,  
Eichenallee 11, D-15738 Zeuthen*

**Kurzfassung:** Die Planung und Gestaltung menschlicher und maschineller Arbeit beruht insbesondere beim Arbeiten 4.0 auf methodischen und softwaregestützten Modellen. Mit Hilfe einzelner (Modell-)Elemente erfolgt die Modellierung von Arbeitssystemen und Arbeitsabläufen. Diese Modellierungen umfassen Beschreibungen sowie die Grundlage für Bewertungen bzgl. produktiver, humanorientierter und sozialer Gesichtspunkte. Die Prozesssprache MTM als Modell des Arbeitsablaufs im Arbeitssystemmodell fungiert dabei als Übersetzer digital erzeugter Daten (z. B. Motion Capturing, 3D-Simulation) und ermöglicht eine reproduzierbare Ablaufbeschreibung – und Bewertung und damit ein Verständnis menschlicher und maschineller Bewegungsabläufe.

**Schlüsselwörter:** Arbeitssystem, Arbeitsablauf, Prozessbaustein, Modellierung, Prozesssprache, MTM

### **1. Das Arbeitssystemmodell**

Für die Erklärung realer Geschehnisse bedient sich die Wissenschaft einer Vielzahl an Modellen. Das bekannteste Modell der Arbeitswissenschaft ist das Arbeitssystemmodell bestehend aus den Elementen Arbeitsaufgabe, Mensch, Arbeitsablauf, Betriebsmittel, Arbeitsplatz, Arbeitsumgebung, Input, Output sowie deren Systemgrenzen und -größen (Schmauder & Spanner-Ulmer, 2014, S. 23). Das Element „Arbeitsablauf“ steht dabei „für das zeitlich-logische Zusammenwirken von Mensch und Arbeits-/Sachmittel bei der Transformation der Eingabe in die Ausgabe“ (Bokranz & Landau, 2006, S. 777). Das Streben nach einer nachvollziehbaren und reproduzierbaren Beschreibung des Zusammenwirkens wird insbesondere für die Gestaltung der Arbeitsabläufe nach produktiven und ergonomischen Gesichtspunkten benötigt. Voraussetzung dafür ist ein definiertes Vorgehen mit dessen Hilfe sich Arbeitsabläufe erfassen und dokumentieren lassen. Für diese Beschreibung werden daher (in unterschiedlichen Detaillierungsgraden) Prozesssprachen wie MTM, die Wertstrom-Darstellung oder Flowchart-Analysen angewendet.

### **2. Arbeitsablaufmodell nach MTM**

#### *2.1 Prozesssprache MTM (process language MTM)*

Die Notation der Prozesssprache MTM zeichnet sich durch eine eigene Syntax und Semantik aus. Die Syntax steht für die verwendeten „Elemente/Symbole/Zeichen

und deren Darstellung sowie die dazu geltenden Anordnungsregeln“, die Semantik für die „inhaltliche Bedeutung der Elemente/Symbole/Zeichen“ (Bokranz & Landau 2012, S. 301). Damit steht nicht nur ein Wortschatz zur Verfügung, sondern auch eine Form der Grammatik mit Hilfe derer sich verständliche Ablauf- bzw. Prozessbeschreibungen – ausgeprägt in Form einer Zeilenanalyse – erstellen lassen (ebenda: S. 386). Die MTM-Prozessbausteine der Prozesssprache MTM sind hinsichtlich ihrer zulässigen Verwendung (Syntax) und Bedeutung (Semantik) eindeutig festgelegt (Fischer & Kuhlmann, 2015, S. 95).

## 2.2 MTM-Prozessbaustein (MTM-process building block)

Die Notation des MTM-Prozessbausteins zeichnet sich durch zwölf Sprachelemente und deren Zuordnung in einen anwendungsneutralen und anwendungsspezifischen Teil aus (siehe Abb. 1).

Der anwendungsneutrale Teil eines (einzelnen) MTM-Prozessbausteins (z. B. R2A) wird bei seiner Entwicklung einmalig definiert. Der Prozessbaustein R2A beschreibt eine Hinlangsbewegung der Finger oder der Hand zu einem bestimmten Ort. Dem Sprachelement „Einflussgröße“ sind beim Hinlangen die Bewegungslänge, der Bewegungsfall und der Typ des Bewegungsverlaufs zugeordnet. Für den spezifischen Prozessbaustein R2A bedeutet dies eine max. Bewegung bis zu 2 cm entweder zu einem Gegenstand auf dem die andere Hand ruht bzw. der sich in der anderen Hand oder stets an einem genau bestimmten Ort (z. B. Taster an einer Maschine) befindet. Seine Namensgebung erfährt ein MTM-Prozessbaustein aus dem Sprachelement „Ablauf“ bzw. dem Prozess. Dieser wiederum repräsentiert den Handlungsumfang eines MTM-Prozessbausteins. Abhängig von seiner Granularität (Hierarchieebene) umfasst dieser Handlungsumfang eine einzelne Finger- bzw. Hand-Bewegung bis hin zu einem gesamten Montageablauf.

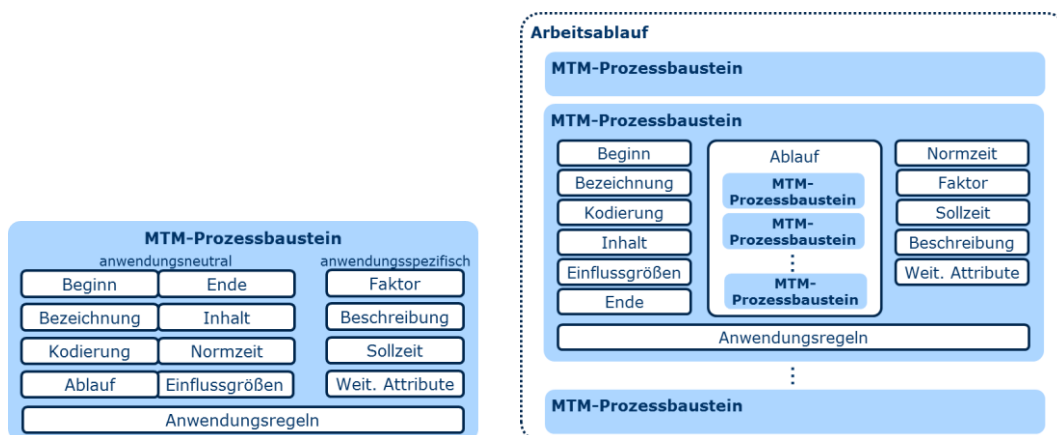
Neben diesen beschreibenden Sprachelementen erfolgte bei der Entwicklung der MTM-Prozessbausteine die Zuordnung bewertender Sprachelemente (z. B. die „Normzeit“). Einem R2A wurde ein Normzeitwert von 2 TMU (Time Measurement Units) zugewiesen, basierend auf einer weltweit einheitlichen Bezugsleistung: der MTM-Normleistung.

Der anwendungsneutrale Teil des MTM-Prozessbausteins – den der Anwender von der MTM-Datenkarte kennt – wird gleichwohl erst bei der Verwendung des MTM-Prozessbausteins konkretisiert; d.h. um den anwendungsspezifischen Teil vervollständigt. So wird bspw. das Sprachelement „Faktor“ durch die Anzahl und die Vorkommenshäufigkeit im konkreten Arbeitsablauf bestimmt. Durch Multiplikation des so ermittelten Faktors mit der Normzeit ergibt sich die Sollzeit (präziser: das Sprachelement „Sollzeit“).

Zusammenfassend bezeichnet demnach einen MTM-Prozessbaustein einen Ablauf „der seinem Inhalt und seiner Verwendung nach beschrieben wurde und für den ein Zeitstandard gilt“ (Bokranz & Landau, 2006, S. 821).

Die Verbindung des anwendungsneutralen mit dem anwendungsspezifischen Teil eines MTM-Prozessbausteins präzisiert den (Arbeits-)Inhalt und die Verwendung des Prozessbausteins und repräsentiert in der MTM-typischen Ablaufbeschreibung (der MTM-Analyse) eine Zeile in den MTM-Formularen. Unter Berücksichtigung der geltenden Anwendungsregeln wiederholt sich dieses Verbinden der beiden Teile und es entsteht schließlich eine Beschreibung und Bewertung eines definierten Arbeitsinhalts oder eines gesamten Arbeitsablaufs. Dieses so entstandene Modell

des Arbeitsablaufs – die Arbeitsmethode – folgt der Notation der Prozesssprache MTM und wird nun seinerseits als MTM-Prozessbaustein oder als „MTM-Analyse“ bezeichnet. Aus wissenschaftlicher Sicht bezeichnet diese Modellbildung von Arbeitsabläufen das Arbeitsablaufmodell nach MTM (siehe Abb. 1).



**Abbildung 1:** MTM-Prozessbaustein (Bokranz & Landau 2012, S. 386) und Arbeitsablaufmodell nach MTM

Anmerkung: In diesem Beitrag wird – ebenso wie in der praktischen Anwendung – zwischen den Begriffen „MTM-Prozessbaustein“ und „Prozessbaustein“ unterschieden.

Notwendige Bedingungen für MTM-Prozessbausteine sind eine definierte Bezugsleistung – konkret die MTM-Normleistung – sowie die Erfüllung der Qualitätsforderungen und Qualitätsmerkmale an MTM-Prozessbausteine bzw. –systeme (Bokranz & Landau, 2012, S. 394). Hinreichend ist die Tatsache, dass ihr anwendungsneutraler Teil auf MTM-Datenkarten der MTM-Prozessbausteinsysteme zu finden ist. Der Begriff „Prozessbaustein“ (ohne „MTM“ als Prefix) wird i.A. als übergeordneter Begriff für „einen festgelegten Arbeitsinhalt“ verwendet. Genauer betrachtet sind bei Prozessbausteinen häufig die in Abbildung 1 beschriebenen Sprachelemente nicht vollständig definiert. Ebenso weisen Prozessbausteine oftmals andere Bezugsleistungen als Grundlage und häufig keine immanente zeitliche Bewertung auf.

Werden MTM-Prozessbausteine in verschiedenen Ebenen ineinander geschachtelt oder miteinander verwendet, um Arbeitsabläufe bzw. Arbeitsinhalte zu beschreiben sowie zu bewerten und werden dabei klare Regeln und Konstruktionsprinzipien (z.B. Prinzipien zur Aggregation) beachtet, so ist dieses Vorgehen die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung von branchenneutralen und unternehmensspezifischen MTM-Prozessbausteinsystemen.

### 2.3 MTM-Prozessbausteinsystem (MTM-process building block system)

Seit 1948 entstanden eine Vielzahl an MTM-Prozessbausteinsystemen, deren Einsatz sich auf verschiedene Branchen und Industriezweige (Mengenfertigung, Serienfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung), Tätigkeiten (Shopfloor, Qualität, Office) und Handlungsanlässe (Gestaltung, Bewertung physischer Belastungen, Zeitermittlung) erstreckt. Dies sind die MTM-Prozessbausteinsysteme: MTM-1 (MTM-Grundsystem), MTM-SD (Standarddaten), MTM-2, MTM-HWD® (Human Work Design), MTM-UAS (Universelles Analysiersystem), MTM-MEK (MTM in der Einzel-

und Kleinserienfertigung), MTM-MOS (MTM Office System), MTM-Sichtprüfen.

Anmerkung: MTM-Prozessbausteinsystem und MTM-Bausteinsystem sowie Prozessbausteinsystem und Bausteinsystem werden im Sprachgebrauch ebenso wie im Handbuch Industrial Engineering (Bokranz & Landau, 2012) synonym verwendet.

Als MTM-Prozessbausteinsystem wird die Summe an MTM-Prozessbausteinen einer einheitlichen Hierarchieebene bzw. eines einheitlichen Detaillierungsgrads und mit gleicher Entwicklungsgrundlage bezeichnet, mit denen eine konsistente Modellierung menschlicher Bewegungen bzw. einfacher kognitiver Entscheidungen möglich ist und die den funktionellen Eigenschaften Modellbildungsimmanenz, Simulationsfähigkeit, Komplexitätsvariation und Bezugsleistungstreue genügen.

Beim MTM-Prozessbausteinsystem MTM-UAS sind dies die MTM-Prozessbausteine der Hierarchieebene bzw. des Detaillierungsgrads „Grundvorgang“: Aufnehmen und Platzieren, Platzieren, Hilfsmittel handhaben, Betätigen, Bewegungszyklen, Körperbewegungen und Visuelle Kontrolle. Die als MTM-UAS Standardvorgänge bekannten MTM-Prozessbausteine (z. B. Standardvorgänge für Montage bzw. Logistik) sind kein Bestandteil des originären MTM-Prozessbausteinsystems MTM-UAS. In der Anwendungspraxis werden höher aggregierte Standardvorgänge – auch als Aufbaustufen bekannt – jedoch üblicherweise dem jeweiligen MTM-Prozessbausteinsystem zugeordnet bzw. in diesem subsummiert. Die Entwicklung von MTM-Prozessbausteinsystemen und deren MTM-Prozessbausteinen beruht auf einer der folgenden Methodiken:

#### **Methodik-Entwickler**

nach Maynard, Schwab, Stegemerten  
nach Glatz  
nach Finsterbusch  
nach Bokranz, Landau

#### **MTM-Prozessbausteinsysteme**

MTM-1  
MTM-UAS, MTM-MEK  
MTM-HWD®  
betriebliche MTM-Prozessbausteinsysteme

Die Anwendung dieser Methodiken ermöglicht die Entwicklung neuer MTM-Prozessbausteine der untersten Hierarchieebene, neuer MTM-Prozessbausteine durch Bausteinaggregation sowie durch Erweiterung der bestehenden Sprachelemente (physische und psychische Belastungen) bzw. durch Ergänzung neuer Sprachelemente (z. B. Objekte, Orte) in Verbindung mit anderen Ablaufbewertungsverfahren (z. B. EAWS – Ergonomic Assessment Worksheet). Insbesondere die Erweiterung eines Sprachelementes (Einflussgrößen) bei der Entwicklung des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-HWD® (Human Work Design) führt zu einer Verfeinerung und Vertiefung des Ablaufmodells und somit zu einer umfassenderen Modellierung. Genau in diesen Möglichkeiten liegt ein enormes Potenzial für die Weiterentwicklung der Prozesssprache MTM hin zum internationalen Standard für industrielle, administrative sowie digitale Ablauf- und Prozessmodellierung.

Ein MTM-Prozessbausteinsystem erfüllt folgende drei Qualitätsmerkmale:

Die Sicherstellung der Stabilität eines Prozessbausteines bedingt dessen Reproduzierbarkeit, Objektivität und Reliabilität, so dass stets eine eindeutige Verwendung gewährleistet werden kann, insbesondere bei unterschiedlichen Analytikern.

Die Validität befasst sich mit der Bezugsleistungstreue und der statistischen Genauigkeit, also der Abweichung des Modells zum tatsächlichen Ablauf und dessen Leistungserwartung.

Die Wirtschaftlichkeit betrachtet den Erstellungs- und Änderungsaufwand und soll eine effiziente Anwendung im entsprechenden Anwendungsbereich sicherstellen.

## *2.4 Systematik der MTM-Prozessbausteinsysteme*

Die Gesamtheit aller (branchenneutralen und unternehmensspezifischen) MTM-Prozessbausteinsysteme wird „Systematik der MTM-Prozessbausteinsysteme“ bezeichnet. An dieser Stelle wird aus den bereits genannten funktionellen Eigenschaften die Komplexitätsvariation hervorgehoben. Sie ordnet bzw. organisiert die „untereinander abgestimmten Komplexitätsgrade der MTM-Prozessbausteinsysteme“ hierarchisch und prozesstypologisch und ermöglicht somit eine Anpassung der „Granularität der Prozessmodellierung auf die jeweilige praktische Anforderungen“ (Bokranz & Landau, 2012, S. 101).

## **3. Modellieren menschlicher und maschineller Bewegungen**

### *3.1 Modellierung*

Das Beschreiben und Bewerten menschlicher Bewegungen mittels MTM-Prozessbausteinen wird als Modellieren bezeichnet (Kuhlang, 2015, S. 47). Das hierdurch entstehende Modell eines Arbeitsablaufs bezeichnet man als die „Arbeitsmethode“. Die Arbeitsmethode beschreibt somit in abstrahierter Form „was zu tun ist“. Eine MTM-Analyse ist somit a priori ein Modell eines Arbeitsablaufs. Dieses Modell entsteht entweder indem ein tatsächlicher Arbeitsablauf – genau genommen eine konkret ausgeführte Arbeitsweise – beobachtet und modelliert wird oder indem eine abstrahierte bzw. geplante Arbeitsmethode vorgedacht bzw. vorgestellt und modelliert wird. Der Detaillierungsgrad des Ablaufmodells und damit der beschriebenen Arbeitsmethode ist vom verwendeten MTM-Prozessbausteinsystem abhängig.

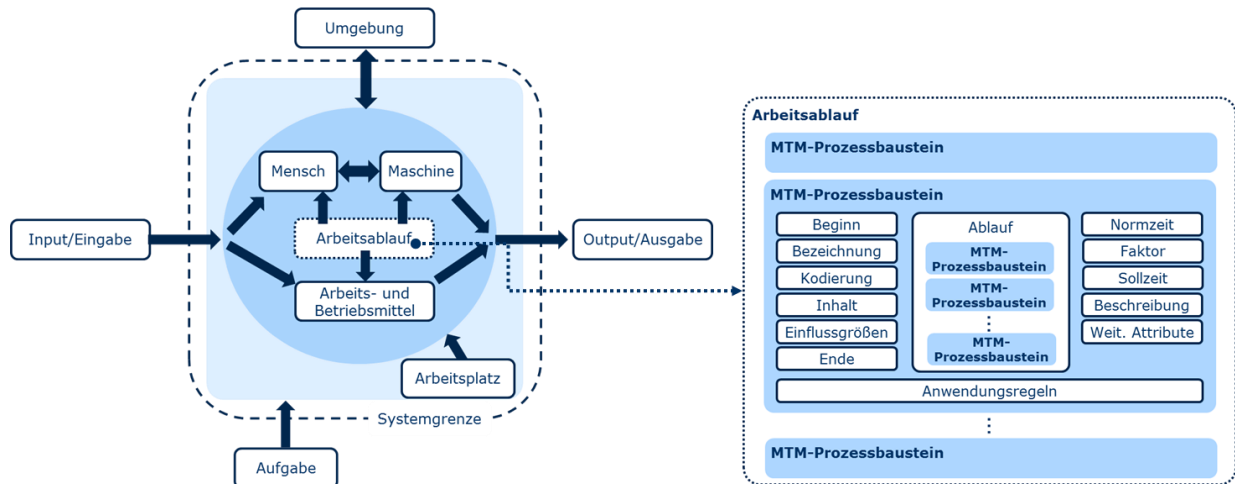
### *3.2 Prozessmanagement*

Das „Prozessmanagement umfasst alle Aktivitäten, die im Zusammenhang mit dem Erfassen, Gestalten, Ausführen, Dokumentieren, Quantifizieren, Überwachen und Steuern von Prozessen“ stehen, unabhängig vom Prozessinvolvierten (Prozesseigner/-besitzer, Prozessmanager oder Prozessbetreiber) (Bokranz & Landau 2012, S. 300). Die Anwendung der MTM-Prozessbausteinsysteme insbesondere von MTM-HWD<sup>®</sup> behebt das Defizit der mehrfachen Erfassung und Dokumentation von Arbeitsabläufen zur ergonomischen und methodischen Arbeitsbewertung. Derzeit werden sowohl für die Beurteilung physischer Belastungen als auch für die Erstellung von Leistungsvorgaben Arbeitsabläufe erfasst. Diese Erfassung erfolgt bisher auf methodisch unterschiedlichen Wegen. Unter diesen Gesichtspunkten nimmt das Arbeitsablaufmodell nach MTM eine Schlüsselfunktion im Produktivitäts- sowie Wissens- und Informationsmanagement ein.

### *3.3 Planung hybrider Arbeitssysteme für Mensch-Roboter-Kooperationen*

Seit 2012 erfolgt eine neue Ära der Entwicklung von MTM-Prozessbausteinsystemen, eingeleitet mit dem MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD<sup>®</sup> sowie MTM-Prozessbausteinen für Roboterbewegungen (MRK – Mensch-Roboter-Kooperation). Die ersten MTM-MRK Prozessbausteine sind auf der Nomenklatur der MTM-1-Grundbewegungen entwickelt worden (Schröder et al 2016). Somit wird es

möglich, Arbeitsabläufe von Mensch und Roboter in einer einfachen Weise zu planen, aufeinander abzustimmen und exakte zeitliche Informationen über die Ausführung von Bewegungen zu gewinnen. Im Vordergrund steht ein effizienteres Planen produktiver und gesunder Arbeitssysteme in denen Mensch und Maschine in Koexistenz, Synchronizität, Kooperation oder Kollaboration interagieren. Um dieser Herausforderung formal begegnen zu können, wird hierfür eine Erweiterung des Arbeitssystemmodells um das Element „Maschine“ vorgeschlagen (siehe Abb. 2).



**Abbildung 2:** Verfeinerung und Erweiterung des Arbeitssystemmodells um das Arbeitsablaufmodell nach MTM

#### 4. Ausblick

Damit steht erstmals ein detaillierteres Arbeitssystemmodell zur Verfügung, welches die Planung und Gestaltung menschlicher und maschineller Bewegungen sowie deren Synchronisierung und Kompatibilität in hybriden Arbeitssystemen ermöglicht. Der hier vorgestellte Beitrag stellt ein detaillierteres Arbeitssystemmodell dar und bietet die Grundlage für die zukünftige Entwicklung neuer Strategien zum humanorientierten Produktivitätsmanagement.

#### 5. Literatur

- Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2006.
- Bokranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering. Produktivitätsmanagement mit MTM (2., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2012.
- Finsterbusch, T: Entwicklung einer Methodik zur Bildung von Bausteinsystemen für die Gestaltung menschlicher Arbeit: Dissertation, TU Dresden.
- Fischer, H.; Kuhlmann, P.: Lingua Latina Industriæ. In: P. Kuhlmann (Hrsg.): Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering, Stuttgart, Ergonomia, 2015. S. 91-111.
- Schmauder, M. & Spanner-Ulmer, B.: Ergonomie – Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation, Darmstadt: REFA Bundesverband, 2014.
- Schröter, D., Finsterbusch, T., Kuhlmann, P.: Entwicklung von Prozessbausteinen zur Planung von Arbeitssystemen in Mensch-Roboter-Kooperation. In: Müller E. [Hrsg.], Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Smarte Fabrik & Smarte Arbeit - Industrie 4.0 gewinnt Kontur (2016), Nr. 22, S. 365–374 (ISSN 0947-249).