

# **Die Arbeit (auch) vom Menschen her denken: Modellierung produktiver Arbeit – Eine Kernaufgabe bei Industrie 4.0**

*Peter Kuhlang, Thomas Finsterbusch, Markus Busenbach, Bernd Britzke, Thomas Mühlbradt, Knut Kille*

## **1 Einleitung**

Viele Beschäftigte in der Industrie fragen sich, wie ihre Arbeit in fünf oder in zehn Jahren aussehen wird. Diese Fragestellung wird konkreter, wenn sie z. B. in Verbindung mit der demografischen Entwicklung im Kontext von Produktivität und Leistung gebracht wird. Denn man sucht Antworten zu Themen wie:

- Werde ich - auch noch im Alter von 65 (oder mehr) Jahren - in der Lage sein die Arbeit qualitativ, körperlich und psychisch zu erledigen?
- Wie werden sich die Erwartungen an meine Leistungserbringung entwickeln?
- Kann ich das Arbeitstempo überhaupt mitgehen? Wo liegen die Grenzen bei Tempo und Auslastung?

Aus Unternehmenssicht stellen sich ähnlich gelagerte Fragen:

- Was kann man tun, um einerseits die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter zu erhalten und andererseits diese sinnvoll und produktiv einzusetzen?
- Was kann man tun, um die Mitarbeiter zu motivieren und wo liegt – ähnlich der Drehzahl bei einem Motor – der „optimale Punkt“ für Produktions- und Arbeitssysteme im Zusammenwirken von Menschen und Maschinen?
- Wie kann man die Produktivität systematisch entwickeln, um wettbewerbsfähig zu bleiben?

Kernpunkt der Antworten auf diese Fragen ist die Art und Weise der Modellierung menschlicher Arbeit, also die Beschreibung bzw. die Darstellung menschlicher Arbeit, das Vergleichen von Ablaufvarianten und die Entwicklung planerischer Bestlösungen (Arbeitsmethoden). Hierbei reicht das Spektrum von einer deskriptiven Modellierung um Lösungsansätze für Ist-Soll-Betrachtungen zu entwickeln und zu bewerten über die Tatsache, dass die Möglichkeiten der Gestaltung von Arbeitsplätzen/-abläufen von der Genauigkeit bzw. der Exaktheit der Modellierung menschlicher Arbeit abhängt bis hin zur Digitalisierung menschlicher Arbeit.

Bei der Modellierung menschlicher Arbeit wiederum taucht unweigerlich die Frage auf, mit welcher Sprache menschliche Arbeit und die damit verbundenen Leistungsanforderungen modelliert werden können, damit Sie im Sinne einer ganzheitlichen Gestaltung als Visualisierungs-, Dokumentations- und Kommunikationsinstrument von möglichst vielen betrieblichen Akteuren (z. B. Planung, Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz, Qualitätssicherung) genutzt werden kann.

Es zeigt sich, dass insbesondere die Prozesssprache MTM (Methods-Time Measurement) und hier im Besonderen das MTM-Grundverfahren wichtige Anforderungen an die Modellierung menschlicher Arbeit (Einhandarbeit, Beidhandarbeit, Bewegungslängen, Körperbewegungen usw.) erfüllt. Dazu liefert eine MTM-Modellierung über die Prozessbausteine „Fügen“ wichtige Hinweise zur montagefreundlichen Produktgestaltung und über die Prozessbausteine „Greifen“ Varianten z. B. zur Gestaltung der logistischen Systeme. Essentiell für die Prozessmodellierung ist, dass die MTM-Prozessbausteine Standardzeiten (Normzeiten) beinhalten, was konsequenterweise dazu führt, dass die Visualisierung von Leistungserwartung und Mitarbeiterauslastung auf Basis einer einheitlichen Bezugsleistung realisiert wird. Vor diesem Hintergrund erklärt sich auch die mit MTM in Beziehung gebrachte Formulierung des „Urmeters menschlicher Leistung“.

Neuentwicklungen wie bspw. das Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) machen es möglich, zusätzlich auch die Ergonomie an den Arbeitsplätzen zu erfassen und zu bewerten, sodass planerisch gesichert werden kann, dass ergonomisch unakzeptable bzw. schlechte Bedingungen vermieden werden können. Mit der Entwicklung eines vollkommen neuen Bausteinsystems „Human Work Design“ (HWD) wird eine inhaltliche Verzahnung der Ablaufmodellierung mit ergonomischen Kriterien erreicht, so dass bei Anwendung von HWD ergonomische Kriterien methodisch zwangsläufig in die Planungen der Arbeitsabläufe integriert werden.

Mit diesen Entwicklungen werden die Prozesssprache MTM und ihre systemimmanente Normleistung zu einem zentralen Element in betrieblichen Arbeits- und Produktionssystemen und ermöglicht somit ein gemeinsames, interdisziplinäres Verständnis bei der Gestaltung menschlicher Arbeit.

Des Weiteren gewinnt die Prozesssprache MTM vor dem Hintergrund der Verschmelzung von IT und Produktion in der Industrie 4.0 besondere Bedeutung, da sie bereits in digitaler Form in verschiedenen Softwareapplikationen (z. B. TiCon®) zur Verfügung steht und somit zum integrierenden Bestandteil der Digitalen Fabrik wird.

Dieser Beitrag beleuchtet grundlegende Aspekte und Standpunkte aus Sicht der Modellierung und Gestaltung menschlicher Arbeit im Kontext der Arbeitswelt 4.0. Seine grundsätzlichen Betrachtungen stellen die Voraussetzung für die beginnende Einordnung, Abgrenzung und Positionierung von MTM – im institutionellen und instrumentellen Sinne – im Kontext der Cyber-Physischen Produktionssysteme (CPPS) dar.

Daher legen die nachfolgenden Ausführungen neben grundlegenden Betrachtungen zum MTM-Verfahren, der MTM-Normleistung auch das Produktivitätsmanagementverständnis entlang des Produktentstehungsprozesses (PEP) und Neuentwicklungen von MTM als wesentliche Elemente für den sich intensivierenden wissenschaftlichen und anwendungsorientierten Diskurs zur Industrie 4.0 dar.

## 2 Woher kommt MTM?

### 2.1 Die zwei Dimensionen bzw. Ausprägungen von MTM

Zur Erleichterung bzw. Erklärung des Verständnisses sind in Abbildung 1 zwei Aspekte des Begriffs MTM aufgeführt:

- Der institutionelle Aspekt bezeichnet die Deutsche MTM-Vereinigung e.V. und des Internationalen MTM-Direktorates.
- Der instrumentelle Aspekt steht für die Anwendung von MTM als MTM-Konzept und MTM-Verfahren.

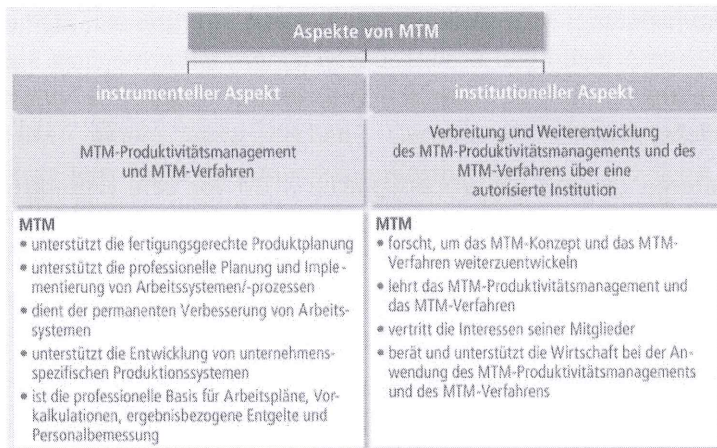


Abbildung 1: Die beiden Aspekte von MTM (Bokranz/Landau, 2012)

Dabei ist das MTM-Konzept des Produktivitätsmanagements analog der Methoden des Industrial Engineerings an der Wertschöpfungskette ausgerichtet. Dies basiert auf der Erkenntnis, dass

- in jeder PEP-Phase spezifische Lösungsmethoden und –prinzipien einzusehen sind,
- in jeder Phase andere Probleme zu lösen sind und
- es andere Ursachen für Produktivitätsverluste gibt.

Auf diese Weise prägt sich die Präventionsfunktion (Von Anfang an richtig!) des MTM-Konzeptes aus. Während der Produkt- und Prozessentstehung wirkt MTM antizipierend und hilft, Probleme während der Arbeitssystemplanung – also kostengünstig – zu lösen.

## 2.2 Vorentwicklungen

Der Ursprung der detaillierten und filigranen Beschreibung von Arbeitsprozessen mit Hilfe von Symbolen liegt bei Gilbreth. Frank Bunker Gilbreth erkannte als Maurerlehrling im Jahre 1884, dass bei der Errichtung von Ziegelmauern jeder Maurer für die gleiche Aufgabenstellung andere Bewegungen ausführte. Gilbreths Ziel war es deshalb, festzustellen, welches der sinnvollste Ablauf sei. Unterstützt wurde Frank Bunker Gilbreth später von seiner Ehefrau Lillian Evelyn Moeller Gilbreth, die seine Arbeit nach seinem Tode fortsetzte und auch das Arbeitsstudium in Deutschland beeinflusste. Er stellte fest, dass bei gleicher Fertigkeit, gleicher Fähigkeit und gleicher Anstrengung die Ausführungszeit für einen Arbeitsablauf des arbeitsausführenden Menschen innerhalb bestimmter Grenzen nur von der eingesetzten Methode abhängt (Bokranz/Landau 2006, S. 109)

Bei seinen Forschungen filmte Gilbreth die menschlichen Arbeitsbewegungen. Dabei stellte er fest, dass es sinnvoll ist, den Arbeitsablauf zu untergliedern. Dies macht es möglich, die Ablaufstruktur und die Einflussgrößen des Ablaufs zu erkennen. Die Ablaufgliederung und die Systematisierung der Einflussgrößen vermitteln erweiterte Einsichten zu den konstruktiven und technologischen Ursachen der Prozessdefizite. Gilbreth löste den Arbeitsprozess in zwei Stufen auf: Die tiefste Auflösung bezeichnete er als Bewegungselemente bzw. als Elementarbewegungen wie Greifen, Zusammenfügen, Transport usw. In einer größeren Ebene wurden Kategorien wie zögernde Bewegungen, Verluste usw. benannt (vgl. Abbildung 2).

Therbligs			MTM-1 (MTM-Grundbewegungen)
Bezeichnungen und Kurzzeichen	Zeichen	Bewegungs- Klassifikation	
1 Bewegen ohne Last (Transport Empty TE)	☪	hohle Hand	Hinlangen R (Reach)
2 Bewegen mit Last (Transport Loaded TL)	☪	Hand mit Inhalt	Bringen B (Move)
3 Suchen (Search SH)	☪	suchendes Auge	
4 Auswählen (Select ST)	☪	zeigt auf einen Gegenstand	Greifen G (Grasp)
5 Greifen (Grasp G)	☪	unbelasteter Magnet	
6 Einrichten (Position P)	☪	aufgestellter Kegel	
7 Vorrichten (Preposition PF)	☪	Hand platziert einen Gegenstand	Fügen P (Position)
8 Fügen (Assemble A)	☪	zusammenfügen zum Gestell	
9 Ausführen (Use U)	☪	vom englischen USE	Prozesszeit PT (Process Time)
10 Demontieren (Disassemble DA)	☪	vom Gestell entfernen	Trennen D (Disengage)
11 Loslassen (Release Load RL)	☪	umgekehrte Handfläche	Loslassen RL (Release)
12 Überlegen (Plan PN)	☪	an die Stirn tippen	
13 Prüfen (inspect I)	☪	Linse	V. von Überlegungen begleitet Blickverschieben ET (Eye Travel), Prüfen EF (Eye Focus)
14 Halten (Hold H)	☪	haltender Magnet	
15 Erholen (Rest for overcoming Fatigue R)	☪	ruhende Figur	
16 unvermeidbare Verzögerung (Unavoidable Delay UD)	☪	Figur fällt auf die Nase	IV. Verluste keine adäquaten Prozessbausteine bei MTM
17 vermeidbare Verzögerung (Avoidable Delay AD)	☪	schlafende Figur	
		keine adäquaten Therbligs	Drücken AP (Apply Pressure) Drehen T (Turn) div. Körper-, Bein-, Fußbewegungen

Abbildung 2: Symbole der Therbligs nach Gilbreth (Hilf, 1957)

In Umkehrung seines Namens bezeichnete Gilbreth die Bewegungselemente als Therbligs. Diese gelten als die Vorläufer von MTM. Einige der Grundelemente sind schwierig zu verallgemeinern und andere können noch in weitere Arbeitsbewegungen und Griffelemente unterteilt werden. Das System der Therbligs wurde erst nach dem Tod von Gilbreth im Jahre 1924 präsentiert. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die Therbligs keinen Zeitanteil ausweisen, sie bezeichnen lediglich den elementaren Inhalt der Bewegungen, bieten eine Symbolik und eine Erklärung.

Durch Gilbreth und seine Mitarbeiter erfolgten zahlreiche Mikro-Bewegungsstudien mit Hilfe der Therbligs, unterstützt durch Filmaufnahmen. Die Bewegungsanalysen erfolgten getrennt für die rechte und die linke Hand. Daher wurde diese Darstellung als Beidhandanalyse bezeichnet.

Eine wichtige Erkenntnis der Bewegungsstudien war, dass bei allen wiederkehrenden Verrichtungen von Menschen noch großes Verbesserungspotenzial besteht. Dabei ist es unerheblich, ob Maschinen zum Einsatz kommen oder nicht. Dies ist auch unabhängig davon, ob es sich um Produktions-, Lagerhaltungs- oder Verwaltungsvorgänge handelt. Es ging Gilbreth dabei weniger um die Steigerung der Arbeitsleistung als um die Optimierung der Arbeitsmethode und die Verbesserung der Arbeitsplatzgestaltung. Aber auch ermüdungsfreies Arbeiten und die Anleitung der Mitarbeiter waren wichtig für ihn.

Gilbreth war also mehr als ein Analytiker von Elementarbewegungen, er war in der Geschichte des Arbeitsstudiums der Neuzeit einer der ersten Arbeitsgestalter. So bezog sich das erste Patent, das er erhielt, auch auf die Gestaltung eines Baugerüsts.

Um die versteckten Verbesserungspotenziale zu erkennen, erwiesen sich damals folgende Arbeitsschritte als sinnvoll:

1. Wiederkehrende Arbeitsabläufe sind genau zu beobachten und kritisch zu hinterfragen. Mögliche Fragestellungen sind dabei: Welche Vorgänge tragen zum Arbeitsfortschritt bzw. zur Wertschöpfung bei? Welche Arten von Vorgängen beinhalten keinen Arbeitsfortschritt? Welche Vorgänge sind umständlich und aufwendig?
2. Die Arbeitsabläufe sind zu dokumentieren. Zur standardisierten Beschreibung der menschlichen Bewegungsabläufe verwendete Gilbreth die Therbligs. Die Therbligs sind geeignet, die Verbesserungsansätze zu verdeutlichen. Jedes Therblig, das nicht dem Arbeitsfortschritt dient, wird eliminiert.

Insbesondere mit dem heutigen Erkenntnisstand ist klar, dass die bloße Symbolsprache von Gilbreth zahlreiche Nachteile hatte. Die Bedingungen und Einflussgrößen wurden lediglich verbal beschrieben, die Zeit fehlte gänzlich. Gilbreth stellte aber fest, dass bei gleichen Bedingungen die Zeit für das Ausführen der Arbeitselemente bei bestimmter Handfertigkeit,

Geschicklichkeit und Kraftanstrengung gleich ist. Aus dieser Erkenntnis entstanden später die so genannten Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ).

### *2.3 Entwicklung der Prozesssprache MTM*

Der Auslöser für die Entwicklung von MTM war das Verbot der Stoppuhr in der amerikanischen Rüstungsindustrie während des 2. Weltkrieges. Die USA waren genötigt, in einer nationalen Gewaltaktion eine leistungsfähige Rüstungsindustrie zu schaffen.

Dabei galt es unter der Überschrift „Bedingungen“ möglichst alles auszuschalten, was zu Arbeitskonflikten führen könnte. Bei der Suche nach früheren Streikauslösern wurden Vorgabezeitkonflikte benannt, insbesondere die Messung mit der Stoppuhr und in diesem Zusammenhang die Interpretation der gemessenen Zeit (Glatz/Nadig, 2003).

Der Begriff „Systeme vorbestimmter Zeiten“ wurde aus dem hauptsächlichen Anwendungszweck geprägt. Es galt für Tätigkeiten mit Wiederholcharakter um vorab zielsicher die Dauer zu bestimmen und zu klären, auf Basis welcher Arbeitsmethode diese Zeit zustande kam. Der Begriff des SvZ wurde in die Lehre sowohl von Planern und Arbeitsvorbereitern als auch in die Arbeitswissenschaft übernommen. So wurden die SvZ anderen Methoden zur Zeitermittlung (z. B. Zeitmessung oder Schätzen und Vergleichen) gegenübergestellt, was vor allem zur Folge hatte, dass MTM als Methode zur Zeitermittlung bekannt wurde. Darüber hinaus sind SvZ auch in der REFA-Lehre unter der Gesamtüberschrift Datenermittlung integriert.

Vor dem Hintergrund der Struktur der Therbligs und der späteren Entwicklung von MTM ist zumindest aus heutiger Sicht die Benennung als System vorbestimmter Zeiten unglücklich und teilweise irreführend. Der Begriff verweist lediglich auf die Nutzung zur Zeitbestimmung und lässt die Aspekte der Prozessstrukturierung und präventiven Arbeitsgestaltung unberührt.



## 2.4 Arbeitsstrukturierender Erkenntnisse

Im deutschsprachigen Raum wurde Gilbreth häufig als Vater des Bewegungsstudiums bezeichnet. In den 50er und 60er Jahren gab es zu diesem Thema zahlreiche Veröffentlichungen, weil es in der Industrie vor allem darum ging, durch Arbeitsplatzgestaltung und Bewegungsoptimierung den Ausstoß zu erhöhen.

Bemerkenswert ist, dass in der aus Japan kommenden Literatur zur Ablaufoptimierung die Gedanken zur Prozessstrukturierung grundsätzlich aufgenommen und verarbeitet worden sind. Imai (1992), Ishiwata (2001) und Sekine (1995) greifen in ihren Ausführungen zur Erkennung von Verbesserungspotenzialen auch auf Gilbreth zurück. Dabei wird der Nutzen der Prozessauflösung vor allem aus folgenden Sichtweisen beschrieben:

- Imai (1992) bemerkt bezugnehmend auf ein Beispiel bei Nissan Motors: „Die kleinste Zeiteinheit menschlicher Arbeit ... ist ein Hundertstel einer Minute bzw. 0,6 Sekunden. Jeder Verbesserungsvorschlag, welcher zumindest 0,6 Sekunden einspart, also die Zeit, die ein Arbeiter zum Ausstrecken seiner Hand oder zum Zurücklegen eines Schrittes braucht, wird vom Management berücksichtigt.“
- Prozessvisualisierungen und standardisierte Prozessbeschreibungen (mittels Prozesssprache) helfen, Prozessdefizite sichtbar zu machen.
- Um effizienter zu werden, müssten die Einflussgrößen auf manuelle Abläufe sichtbar gemacht werden. Die Prozessauflösung muss so hoch sein, dass erkennbar wird, ob Verbesserungen durch montagegerechte Produktgestaltung, Logistikgestaltung oder bessere Ergonomie erreichbar sind. Die Einflussgrößen zeigen, welche Auswirkungen technische Veränderungen auf den Zeitbedarf haben.

Seit der ursprünglichen Entwicklung von MTM wurden im Laufe der Zeit verschiedene MTM-Prozessbausteinsysteme entwickelt, die im MTM-Bausteinsystem zusammengefasst sind.

### 3 Das MTM-Bausteinsystem

Das MTM-Bausteinsystem stellt in Gänze MTM-1, MTM-2, UAS und MEK in den Kontext zur Prozesstypologie, zu Prozessmerkmalen und zur Prozesskomplexität (Abbildung 3).

Ablaufkomplexität	6. Arbeitsvorgang	Standardvorgänge (Aufbaustufen) der MTM-Bausteinsysteme		
	5. Vorgangsfolge			
	4. Vorgangsschritt			
	3. Grundvorgang	MEK	UAS	
	2. Bewegungsfolge	SD-BW, MTM-2		
	1. Grundbewegung	MTM-1		
	Prozesstypologie	Prozesstyp 3 »Einzelfertigung«	Prozesstyp 2 »Serienfertigung«	Prozesstyp 1 »Mengenfertigung«
Merkmale	1. Zyklus	keine zyklischen Wiederholungen	begrenzt längerzyklische Wiederholungen	permanent kurzzyklische Wiederholungen
	2. Ablauf	Gesamtablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)	Teiltablauf (Rahmenbedingungen des Prozesses)	Bewegungsablauf (Grundbewegungen)
	3. Arbeitsplatz	für nahezu beliebige Produktvarianten und Prozesse	für ein definiertes Produktspektrum	für eine definierte Produktvariante
	4. Versorgung	Holprinzip	Holprinzip mit Bereitstellung	Bringprinzip
	5. Arbeitsweise	hohe Streuung	mittlere Streuung	geringe Streuung

Abbildung 3: Die wichtigsten Prozessbausteinsysteme des MTM-Bausteinsystems im Kontext von Prozesstypologie, Ablaufkomplexität und Prozessmerkmalen (Bokranz/Landau, 2013)

Gleichzeitig werden damit die Anwendungsbedingungen für die einzelnen Bausteinsysteme aufgezeigt. Nach dem Prinzip vom Groben zum Feinen (von Arbeitsvorgang zur Grundbewegung) wurden Begriffe für sechs Hierarchiestufen der Ablaufkomplexität benannt (vgl. Abbildung 4). Im betrieblichen Alltag ist es sinnvoll und notwendig ein solches Gebilde und

Begriffsgefüge einheitlich zu nutzen, um die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Werken und Struktureinheiten zu vereinfachen.

Hierarchieebene	Definition und Kennzeichnung	Beispiele	
Standardvorgangsebene	6. Arbeitsvorgang	Summe von Vorgangsfolgen, bei der die Mengeneinheit 1 eines Auftrags erstellt und ein geschlossener Wertschöpfungsschritt erzielt wird. Er wiederholt sich typischerweise beim Erfüllen eines Auftrags und bildet insofern einen geschlossenen Zyklus ab. Arbeitsvorgänge werden in Vorgangsfolgen, manchmal auch in Vorgangsschritte unterteilt. Andere Bezeichnungen sind Vorgang oder Arbeitsgang.	Teil komplett montieren und prüfen; Teile im Schweißautomaten punktschweißen.
	5. Vorgangsfolge	Folge von Vorgangsschritten, die bereits zu Teilresultaten führen und bei einem hohen Arbeitsteilungsgrad bereits geschlossene Arbeitsinhalte ausmachen.	Halterung verschrauben; Teil in eine Vorrichtung spannen und ausrichten.
	4. Vorgangsschritt	Folge von Grundvorgängen, die zu einem sichtbaren, am Arbeitsgegenstand auszumachenden Arbeitsfortschritt führt.	Eine Schraube eindrehen; ein Teil in die Vorrichtung legen.
Grundvorgangsebene	3. Grundvorgang	Kombination einer Folge von bis zu fünf Grundbewegungen, gebildet durch additive Verknüpfung und statistische Bewertung von Häufigkeiten. Grundvorgänge lassen sich zeitlich wieder auf die Grundbewegungen zurückprojizieren, auf denen sie basieren.	Teil aufnehmen und ansetzen; Teil und Hilfsmittel gleichzeitig handhaben.
	2. Bewegungsfolge	Kombination einer Folge von bis zu drei Grundbewegungen, gebildet durch additive Verknüpfung und statistische Bewertung von Häufigkeiten. Bewegungsfolgen lassen sich zeitlich wieder auf die Grundbewegungen zurückprojizieren, auf denen sie basieren.	Teil aufnehmen; Teil platzieren.
	1. Grundbewegung	Prozessbaustein mit höchster Auflösung, der in seiner Beschreibung und in Bezug auf seine Sollzeit nicht mehr zu unterteilen ist.	Hinlangen zu einem Teil.

Abbildung 4: Die Hierarchieebenen zur Kennzeichnung der Komplexitätsstufe von MTM-Prozessbausteinen (Bokranz/Landau, 2012)

#### 4 Die MTM-Normleistung

Die Grundidee von MTM ist die Prozessgestaltung unter Nutzung von MTM-Prozessbausteinen. Ein Prozessbaustein besteht aus einem definierten Stück Prozess (Arbeitsablauf) und einem zugehörigen Zeitwert (Normzeit). Deshalb entstehen aus der MTM-Anwendung zwei wichtige Ergebnisse:

- Der mit Hilfe von MTM-Codes beschriebene Arbeitsablauf und
- der aus der Summe der Einzelbausteine resultierende Normzeitwert. Dieser Normzeitwert hat den Charakter einer Grundzeit  $t_g$ , ist also bei der Berechnung von Vorgabezeiten um Verteilzeiten, Erholzeiten und evtl. andere Zuschläge zu ergänzen.

Mit Hilfe eines Nivellierverfahrens, der LMS-Technik (benannt nach den Entwicklern Lowry, Maynard und Stegemerten), konnten die aus Filmaufnahmen an industriellen Arbeitsplätzen unterschiedlicher Fertigungsbereiche gewonnenen Zeiten auf ein einheitliches Leistungsniveau gebracht werden, so dass die Tabellenzeiten überall, wo menschliche Arbeit, gleich welcher Art, geleistet wird, allgemein anwendbar wurden. Ein nicht hoch genug einzuschätzender Vorteil dieser Verfahren besteht darin, dass nunmehr jede mit einem Verfahren vorbestimmter Zeiten vorgenommene Beschreibung eines Arbeitsvorganges ein und dieselbe Normvorstellung hinsichtlich des in den Elementarzeiten berücksichtigten Leistungsniveaus beinhaltet (vgl. Helms, 1991).

Bei der Entwicklung von MTM bestand von Anfang an das Ziel, Bausteine bzw. ein System zu schaffen, das die Chance hat, international anerkannt zu werden. Um die Zeiten für die einzelnen Bausteine realitätsnah und praktisch abgesichert zu ermitteln, wurden Filmaufnahmen von Arbeitstätigkeiten in unterschiedlichen Branchen und von den verschiedensten Arbeitspersonen durchgeführt. Dabei wurde der Leistungsgrad direkt vor Ort bestimmt. Dank der großen Anzahl von Filmen und Daten entstand eine sehr stabile Standardleistung und mit der MTM-1 Normzeitwertkarte quasi das „Urmeter menschlicher Leistung“.

Dadurch können die nachfolgend beschriebenen Herausforderungen bzw. Aufgaben gelöst werden (Britzke, 1994).

MTM, insbesondere MTM-1, führt stringent zu produkt- und prozessoptimierenden Denk- und Gestaltungsansätzen. Die Normzeit ist ein Indiz dafür, wie gut der Prozess gestaltet ist. Die Gestaltung basiert

- auf der elementaren Ebene durch das Sichtbarmachen von Einflussgrößen (z. B. Produktgestaltung durch vereinfachtes Fügen, Arbeitsplatzgestaltung durch Optimierung der Bewegungslängen, Logistikgestaltung durch Verbesserung der Greifbedingungen bei der Teileentnahme),

- auf der Ebene der Realisierung ergonomischer Regeln zur Arbeitsgestaltung (z. B. durch das bewusste Gestalten von Beidhandarbeit, der Vermeidung von unnötig belastenden Arbeitssituationen usw.),
- auf der Ebene der Layoutgestaltung (in erster Linie durch das Vermeiden von Wegen und die richtige Teileanordnung zum Vermeiden von Bücken).

Bei Neu- und Veränderungsplanungen können die entstehenden Arbeitsabläufe mit MTM-Prozessbausteinen dargestellt werden. Entsprechend werden die Mitarbeiter an den Arbeitsplätzen auch – den technischen Gegebenheiten folgend – gleich belastet bzw. ausgelastet. Dies kann unabhängig von der konkreten Arbeitsorganisation realisiert werden. So können Arbeitssysteme schon in der Planung wirkungsvoll optimiert werden.

Sowohl während der Planung als auch im Istzustand lässt sich durch MTM-Analysen feststellen, wie hoch die Auslastung an den einzelnen Arbeitsplätzen ist. Die Darstellungen der Auslastung an den einzelnen Arbeitsplätzen sind essentiell für die Ermittlung und Festlegung von Schwerpunkten für Verbesserungsprojekte.

Die Bedeutung der MTM-Normleistung und damit das Verständnis des MTM-Verfahrens im Industrial Engineering haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten gewandelt.

## **5 Industrial Engineering – Produktivitätsmanagement mit MTM**

### *5.1 Gewandeltes Bild von MTM*

Einen Aufrütleffekt in der Automobilindustrie und bei Zulieferern erzeugte die MIT-Studie (vgl. Womack et al. 1995). Darin wurde deutlich, dass dem Industrial Engineering eine Hauptträgerschaft für Prozessgestaltung und Prozessoptimierung zukommt. Dies hat vor allem damit zu tun, dass für den Erfolg von Produktionssystemen die richtige Auswahl von Methoden und

Werkzeugen für die Prozessplanung und -optimierung sowie die Konstanz und Konsequenz ihrer Anwendung maßgeblich ist.

Seit der Veröffentlichung dieser Studie entstand ein neues Bild von MTM, welches vor allem durch folgende Punkte charakterisiert werden kann:

- MTM-Anwendung heißt Planung und Optimierung der Arbeitssysteme und Arbeitsabläufe über die gesamte Prozesskette. Mit ProKon und den MTM-Prozessbausteinsystemen für unterschiedliche Prozesstypen steht eine durchgängige instrumentalisierte Strategie zur Prozessplanung, Prozessoptimierung bzw. Prozessverbesserung zur Verfügung. Würde man die MTM-Anwendung auf das Thema Zeitermittlung reduzieren, ließe man den größten Anteil des Potenzials für Produktivitätsverbesserung ungenutzt.
- Zentraler Punkt der MTM-Anwendung ist die Verwendung von Prozessbausteinen. Integrierter Bestandteil ist dabei das planerische Durchdenken und Optimieren der künftigen Arbeitsabläufe, als dessen Ergebnis eine transparente und nachvollziehbare Beschreibung des Arbeitsablaufs entsteht. Mit dieser Beschreibung werden die wesentlichen Eckpunkte für die Gestaltung der Arbeitssysteme festgelegt.
- MTM-Prozessbausteine (das betrifft vor allem die höher aggregierten MTM-Bausteine) sind ihrem Charakter nach inhaltlich und zeitlich definierte Arbeitsstandards. Voraussetzung für deren Anwendung sind Arbeitsbedingungen, die anerkannten Normen entsprechen. Der geplante MTM-Ablauf entspricht der Arbeitsmethode, mit der das Zeitziel erreicht werden kann.
- Durch den klaren Ausweis der Einflussfaktoren auf die Erschwernisse der Arbeit und damit auf die zeitliche Dauer bzw. von Ablaufindikatoren hat sich MTM als wirkungsvolles Diagnoseinstrument etabliert. Verschwendung wird sichtbar gemacht und quantifiziert. Mittels Variantenvergleichen im

Planungsstadium wird eine ausgewogene Optimierung gesichert. Die Auflösung des Arbeitsablaufs in gestaltungsrelevante Einflussgrößen gibt Zielrichtungen vor und ist erkenntnisfördernd.

- MTM-gestaltete Arbeitsabläufe entsprechen Soll-Abläufen und sind somit Benchmark. Sie bieten die Möglichkeit zum Vergleich mit den praktisch realisierten Abläufen. Durch die hohe Transparenz bestehen gute Chancen, Defizite und Abweichungen vom Soll, ggf. auch Planungsfehler, zu erkennen.
- Mit der Festlegung des Prozesstyps und des zugehörigen Prozessbausteinsystems (z. B. UAS, MEK) werden sowohl der Organisationsgrad des Arbeitssystems als auch Perfektion und Routine des Mitarbeiters in Form der MTM-Normleistung berücksichtigt. Wenn MTM eingeführt ist, sind Produktivitätsentwicklungen ausschließlich durch Arbeitsgestaltung und Prozessverbesserungen, nicht aber durch Intensitätserhöhung realisierbar. Die Anwendung von MTM schließt somit permanentes Drehen an der Intensitätsschraube aus. Wenn dieser Zusammenhang den Mitarbeitern bekannt ist, entsteht eine Motivation für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) und ähnliche Aktivitäten.
- MTM fungiert in der Unternehmenspraxis als Kommunikationshilfe. Es eröffnet Chancen, qualifiziert darüber zu sprechen, ob der Soll-Ablauf mit der Realität übereinstimmt. Dies objektiviert auch die Diskussion um Zeitvorgaben, denn in erster Linie wird über die Zweckmäßigkeit der Arbeitsmethode und nicht über die Zumutbarkeit von Vorgabezeiten diskutiert. Die Kenntnis von MTM eröffnet die Möglichkeit, alle Beteiligten besser in die Prozessgestaltung einzubinden. Denn die Mitarbeiter vor Ort sind damit in der Lage, die Arbeitsabläufe gemeinsam mit den Planern sowohl ablauftechnisch als auch ergonomisch zu gestalten, indem sie in qualifizierter Weise ihre Arbeitserfahrungen einbringen.

## 5.2 Produktive Prozesse als Kern des Industrial Engineering

In den 1990er Jahren sind Industrial Engineering Strukturen in den Unternehmen abgebaut worden. Damit einher ging arbeitsorganisatorisches Know-how verloren (vgl. Stowasser, 2009, Kuhlang, 2013, S.26).

Parallel zu dieser Entwicklung gab es eine exorbitante Zunahme an „Patentrezepten“ für die Produktionsoptimierung und die Arbeitsorganisation (vgl. Westkämper, 2010).

Verblüffend ist, dass ein Zuwachs an Methoden und Vorgehensweisen bei gleichzeitiger Reduzierung der inhaltlich koordinierenden Strukturen (Industrial Engineering, Arbeitsvorbereitung) stattgefunden hat. Diese Defizite wurden zunehmend erkannt und artikuliert, so setzte ab ca. 2005 eine Renaissance des Industrial Engineerings ein (Deuse et al., 2009).

Auch wird darauf verwiesen, dass der kombinierte Methodeneinsatz (z. B. MTM und Lean-Methoden, vgl. Wilhelm 2007) für die Gestaltung verschwendungsarmer Produktionsprozesse erfolgreich praktiziert wurde.

1993 wurde erstmals eine MTM-Planungssystematik für die Serienfertigung mit dem Ziel einer investitionsarmen Gestaltung zukunftsfähiger Arbeitsstrukturen vorgestellt (Becks, 1993). Seitdem wurde dieses Konzept weiterentwickelt. Wesentliche Schritte der Entwicklung waren:

- Vereinfachung von ProKon mit den Zielen geringer Anwendungsaufwand und bessere Aussagekraft,
- Softwaregestützte Anwendung von MTM für
  - Vereinfachte Bausteinverwaltung und Bausteinnutzung
  - Taktung
  - Mehrstellenarbeit
  - Grafische Prozessmodellierung
  - Ergonomiebewertung



- Entwicklung branchenspezifischer Bausteinsysteme (z. B. MTM-Logistik),
- Verzahnung von MTM mit anderen Vorgehensweisen (z. B. Wertstrom, Kaizen).

Darüber hinaus steht mit dem Buch „Handbuch Industrial Engineering“ (Bokranz/Landau 2012) erstmals ein Grundlagenwerk zur Verfügung, welches MTM in umfassender Sicht darstellt. Zu betonen ist, dass die funktionellen Eigenschaften von MTM (Abbildung 5)

- Modellbildungsimmanenz,
- Simulationsfähigkeit,
- Komplexitätsvariation und
- Bezugsleistungstreue

deutlich herausgearbeitet worden sind. Der ehemals dominierende Aspekt der Zeitbestimmung tritt zunehmend in den Hintergrund, da bei einer softwaregestützten MTM-Anwendung (z. B. TiCon®) parallel zur Notation der Prozessbausteine sofort der Zeitaufwand für den Arbeitsablauf errechnet wird.

MTM-Produktivitätsmanagement	MTM-Verfahren
<b>substanzielle Eigenschaften des MTM-Produktivitätsmanagements</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissenschaftsbasierung</li> <li>• Praxisbasierung</li> <li>• Qualitätsbasierung</li> <li>• Integrativität</li> </ul>	<b>funktionelle Eigenschaften der MTM-Prozessbausteinsysteme</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellbildungsimmanenz</li> <li>• Simulationsfähigkeit</li> <li>• Komplexitätsvariation</li> <li>• Bezugsleistungstreue</li> </ul>
<b>Alleinstellungsmerkmale des MTM-Verfahrens</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präventionsfähigkeit</li> <li>• Nachhaltigkeit</li> </ul>	

Abbildung 5: Alleinstellungsmerkmale und wichtige Eigenschaften von MTM (Bokranz/Landau, 2012)

Daraus ergibt sich in Verbindung mit der Geschäftsstrategie des Unternehmens und dem Produktionssystem eine Gesamtdarstellung des

MTM-Konzeptes im PEP und des Produktivitätsmanagements mit dem MTM-Verfahren (vgl. Abbildung 7).

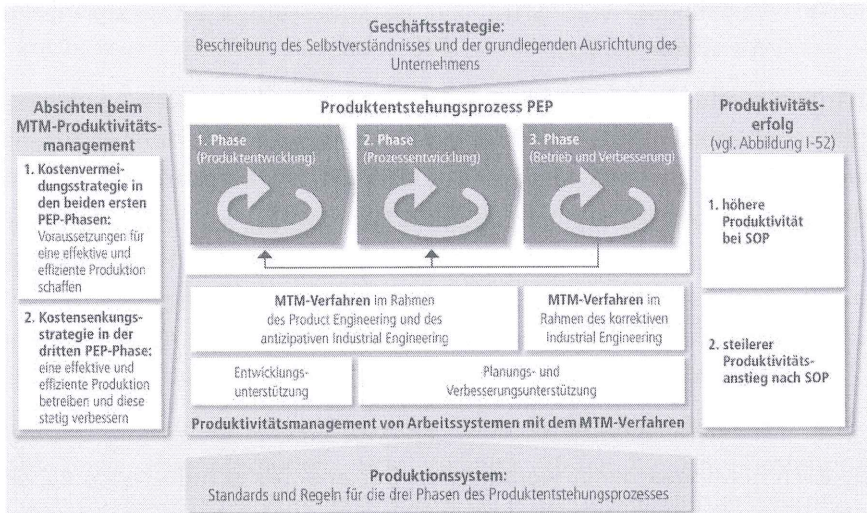


Abbildung 6: Das MTM-Konzept und die Integration des MTM-Verfahrens im Modell (Bokranz/Landau, 2012)

Dieses Gesamtkonzept umfasst folgende Sachverhalte:

1. Es werden nachhaltig produktive, risikobeherrschte, wirtschaftliche und menschengerechte Arbeitssysteme und -prozesse entwickelt (zweite Phase des PEP) und über ihre Betriebsphase hinweg verbessert (dritte Phase des PEP).
2. Die Aufgaben des Industrial Engineering beginnen in der Vorbereitungsphase, die Produktentwicklung begleitend und enden zunächst mit dem Produktionsbeginn. Dann begleitet das Industrial Engineering die Produktion über die Lebensdauer des Produktes hinweg und erfüllt dabei in erster Linie Rationalisierungsaufgaben, die z. B. durch das Werkstattmanagement initiiert werden. Die Aufgaben des Industrial Engineering sind nach drei Zeitphasen zu unterscheiden:

- Beschreibungsphase: Analyse und Dokumentation von Ist-Zuständen, d. h. was vorhanden, gegeben und woran Kritik zu üben ist.
- Planungsphase: Entwicklung von Soll-Zuständen, das ist der Entwurf und die umsetzungsreife Ausplanung künftiger Zustände.
- Umsetzungsphase: Realisierung von Soll-Zuständen, d. h. das Schaffen verbesserter Ist-Zustände, die nachfolgend weiter zu verbessern sind.

Für die Arbeitstechniken der Industrial Engineers ist kennzeichnend, dass sie diese drei Arbeitsphasen unterstützen. Da Industrial Engineering-Arbeit Projektarbeit ist, müssen Industrial Engineers Könnern auf dem Gebiet des Projektmanagements sein.

3. Industrial Engineering ist durch seine Interdisziplinarität gekennzeichnet, denn die Arbeit der Industrial Engineers umfasst technische, arbeitswissenschaftliche, arbeitswirtschaftliche, betriebswirtschaftliche, organisatorische, juristische, psychologische, pädagogische und informationswissenschaftliche Fragestellungen.
4. Ziel der Anwendung von Methoden des Industrial Engineerings ist es, die Profitabilität und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu sichern und dabei die Mitarbeiterbelange gebührend zu berücksichtigen. Weiterhin ist kennzeichnend, dass der Industrial Engineer Projektarbeit leistet, d. h. Industrial Engineering steht für eine Fach-, nicht aber für eine Managementfunktion.

Dies führt zu einem erweiterten Verständnis von Industrial Engineering als Methodenmanagement im Rahmen des Produktivitätsmanagements. In den drei Phasen des PEP stellt MTM zahlreiche Unterstützungsinstrumente zur Verfügung. Beispielsweise sind dies die bewährten Methoden ProKon (Produktionsgerechte Konstruktion) sowie z. B. MTM-UAS (Universelles Analysiersystem) und MTMergonomics® für die Darstellung der

Arbeitsabläufe während der Planung bzw. bei Prozessoptimierungen. Die Neuentwicklungen Human Work Design und Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) weisen den Weg von MTM zur ganzheitlichen Gestaltung und Modellierung menschlicher Arbeit.

## 6 Human Work Design und Ergonomic Assessment Worksheet – Ganzheitliche Gestaltung menschlicher Arbeit

Um menschliche Arbeitsabläufe ganzheitlich, insbesondere unter ergonomischen Aspekten, gestalten zu können, müssen Einflussgrößen wie Körperhaltung, Bewegungsrichtung u.a. erfasst werden. Unter dem Titel „Human Work Design“ entsteht in Zusammenarbeit von der Deutschen MTM-Vereinigung e.V. und deren Mitgliedsunternehmen (AUDI AG, DAIMLER AG, VOLKSWAGEN AG und MIELE & Cie. KG) sowie Wissenschaftspartnern (IAD der TU Darmstadt und dem IAW der RWTH Aachen) ein neues MTM-Bausteinsystem. Mit dem Bausteinsystem Human Work Design wird erstmals für die methodische als auch physische Bewertung eine standardisierte Prozessbeschreibung geliefert.

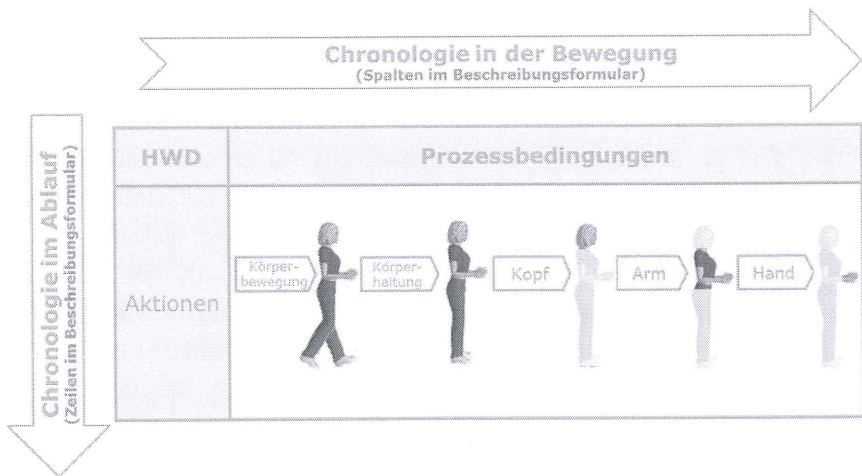


Abbildung 7: Chronologische Modellierung menschlicher Arbeit mit Human Work Design (Finsterbusch et al., 2014)

Durch die Kopplung physischer Bewertungsverfahren (z. B. EAWS) kann die ergonomische Gestaltung menschlicher Arbeit über die Prozesskette quantifiziert werden. Durch die Erfassung ergonomischer Einflussgrößen liefert Human Work Design eine bisher nicht gekannte Qualität bei der Beschreibung menschlicher Arbeitsabläufe (Abbildung 7).

Mit dem neuen Prozessbausteinsystem Human Work Design werden ergonomische Einflussgrößen (z. B. Bewegungsrichtung) erfasst, die in den bisherigen Prozessbausteinsystemen keinen Niederschlag gefunden haben. Damit wird es möglich, parallel zu den beiden Ergebnisgrößen „Modellierung des Ablaufs“ und „Zeit“ einen weitere Einflussgröße „Ergonomie“ zu aktivieren und damit einen wesentlichen Schritt in Richtung ganzheitliche Gestaltung zu gehen.

Human Work Design repräsentiert durch die Verwendung von Piktogrammen sowie durch die konsequente chronologische Modellierung deutlicher und klarer eine Prozesssprache als dies durch die bisherigen Prozessbausteinsysteme erfolgte. Somit erschließt sich die Modellierung menschlicher Bewegungen einem viel größeren Personenkreis, da es einfach wird, einen Ablauf zu beschreiben und zu verstehen; dies war – bedingt durch die bisherige Kodierung der Prozessbausteine - „nur“ MTM-ausgebildeten Personen möglich.

Das vom Menschen abgeleitet Bewegungsmodell (Körper, Kopf, Arm und Hand) ermöglicht die simultane Gestaltung ergonomischer und produktiver Arbeit. Gleichzeitig wird durch die Kopplung physischer Bewertungsverfahren (z. B. EAWS) eine Standardisierung bei der Bewertung von Belastungsdauer (Sollzeitermittlung durch MTM-Normzeitwert, MTM-Normleistung) und der Intensität (Belastungshöhe der Arbeitsmethode und deren Einflussgrößen) erreicht. Dies schafft bei allen Beteiligten (Arbeitnehmer und Arbeitgeber) ein gemeinsames Verständnis und fördert über die Prozesskette eine interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Planung und Gestaltung menschlicher Arbeit (Finsterbusch et al., 2014).

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

Dieser Beitrag adressiert grundlegende Aspekte menschlicher Arbeit im Kontext der Industrie 4.0 und gibt Hinweise, wie aus menschlicher Sicht der „optimale Punkt“ für Produktions- und Arbeitssysteme im Zusammenwirken von Menschen und Maschinen bestimmt werden kann (bzw. könnte). Besonders vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 ist eine fundierte Kenntnis der Prinzipien und Grundlagen manueller Arbeit bzw. guter Arbeitsgestaltung von besonderer Bedeutung, um im Kontext der Cyber-Physischen Produktionssysteme die Modellierung produktiver Arbeit auch aus Sicht des Menschen her durchführen zu können.

Insbesondere die Prozesssprache und die immanente Normleistung bieten grundlegende Antworten zu den einleitend gestellten Fragen nach den Anforderungen an menschliche Leistung. Sie wird, bspw. durch ihre Ausprägung in Form der MTM-Normzeiten, zu einem zentralen Element in betrieblichen Arbeits- und Produktionssystemen, ermöglicht ein gemeinsames, interdisziplinäres Verständnis bei der Gestaltung menschlicher Arbeit und gewinnt somit vor dem Hintergrund der Verschmelzung von IT und Produktion in der Industrie 4.0 zentrale Bedeutung. Ergänzend dazu bietet das Industrial Engineering Verständnis von MTM für Unternehmen einen geeigneten Rahmen zur systematischen Entwicklung der Produktivität von Arbeits- und Produktionssysteme.

Perspektivisch betrachtet ist

- a) dieser Beitrag Voraussetzung für die - beginnende - Einordnung, Abgrenzung und Positionierung von MTM als nationale und internationale Organisation und als Methode bzw. Instrument zur Planung, Gestaltung und Bewertung menschlicher Arbeit im sich intensivierenden Diskurs der Industrie 4.0 und
- b) wird MTM bei der Entwicklung, Planung, Gestaltung und Umsetzung von Human-orientierten Cyber-Physischen Produktionssysteme (HCPPS) eine zentrale Rolle spielen.

## Literatur

- Becks, C.: *Investitionsarme Gestaltung zukunftsorientierter Arbeitsstrukturen – MTM-Planungssystematik für die Serienfertigung*. In: *Zeitschrift Personal 9/93*, Wirtschaftsverlag Bachem 1993
- Bokranz, R. / Landau, K.: *Handbuch Industrial Engineering. Produktivitätsmanagement mit MTM*. Schaeffer-Pöschel, Stuttgart 2012
- Bokranz, R. / Landau, K.: *Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch*. Schaeffer-Pöschel, Stuttgart 2006
- Britzke, B.: *Verfügen wir über einen soliden Leistungsmaßstab?*. In: *Planung+Produktion, Publica-Press Heiden, Heft 10, Oktober 1994, S. 17*
- Deuse, J. / Schallow, J. / Sackermann, R.: *Arbeitsgestaltung und Produktivität im globalen Wettbewerb*. In: *Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert - 55. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V., 4.-6.3.2009, GfA-Press, Dortmund, S. 19-23*.
- Finsterbusch, T. et al.: *Human Work Design- Ganzheitliche Arbeitsgestaltung mit MTM*. In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft - 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund : GfA-Press, 2014, S. 324–326*
- Glatz, H. / Nadig, F.: *MTM Geschichte und Entwicklung*. In: *Personal. MTM-Report 2003*. Verlagsgruppe Handelsblatt Düsseldorf, 2003, S. 21-25
- Helms, W.: *MTM – Ein Verfahren vorbestimmter Zeiten*. In: *Personal, MTM-Report 91/92, Köln 1991*
- Hilf, H. H.: *Arbeitswissenschaft. Grundlagen der Leistungsforschung und Arbeitsgestaltung*. Hanser, München 1957
- Imai, M.: *KAIZEN. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb*. Wirtschaftsverlag Langen Müller Herbig, München 1992
- Ishiwata, J.: *Die flexible Fabrik. Moderne Industrie, Landsberg 2001*
- Kuhlang, P.: *“Industrial Engineering – Systematische Gestaltung produktiver, industrieller Wertströme“*, Habilitationsschrift, Wien, Techn. Univ., 2013.
- Sekine, K.: *Produzieren ohne Verschwendung. Moderne Industrie, Landsberg 1995*

*Stowasser, S.: Produktivität und Industrial Engineering. In: Landau, K. (Hrsg.): Produktivität im Betrieb. Tagungsband der GfA Herbstkonferenz 2009, S. 201-211. Ergonomia, Stuttgart 2009*

*Wilhelm, B.: Kundenwünsche wirtschaftlich umsetzen – was machen die Japaner anders? mi-Kongress „Die Kraft der 2. Lean Welle“, Ludwigsburg 2007*

*Westkämper, E.: MTM – ein System mit Zukunft. In: Britzke, B. (Hrsg.): MTM in einer globalisierten Wirtschaft. Arbeitsprozesse systematisch gestalten und optimieren. mi-Wirtschaftsbuch, München, erscheint 2010*

*Womack, J. P. / Jones, D. T. / Roos, D.: The machine that changed the world, Macmilan Publishing Company, New York, 1990*