



MTM-Schriften Industrial Engineering
Ausgabe 18



**Digitalisierung der MTM-Methoden –
Perspektiven zur Gestaltung
produktiver und ergonomiegerechter Arbeit
in Produktion und Logistik**

Herausgeber der MTM-Schriften Industrial Engineering:
Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Kuhlang
Geschäftsführer MTM ASSOCIATION e. V.
Geschäftsführer Deutsche MTM-Gesellschaft Industrie- und Wirtschaftsberatung mbH
Leiter MTM-Institut

MTM ASSOCIATION e. V., MTM-Institut
Eichenallee 11
15738 Zeuthen
Tel.: +49 33762 20 66-31
Fax: +49 33762 20 66-40
institut@mtm.org
www.mtm.org/forschung

Autoren:

Prof. Dr. Peter Kuhlang, Dr. Martin Benter, Maria Neumann, Constantin Eckart

© 2023, MTM ASSOCIATION e. V., MTM-Institut

Kuhlang, P., Benter, M., Neumann, M., Eckart, C.:
Digitalisierung der MTM-Methoden – Perspektiven zur Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit in
Produktion und Logistik. MTM-Schriftenreihe Industrial Engineering, Ausgabe 18. Hamburg: Eigenverlag MTM
ASSOCIATION e. V., 2023.

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet dies Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie: Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

ISBN 978-3-945635-26-1

Eigenverlag und Druck: MTM ASSOCIATION e. V.
Elbchaussee 352
22609 Hamburg
Telefon: +49 40 822779-0
Telefax: +49 40 822779-79
Internet: www.mtm.org

Titelbilder:

© vege - Fotolia.com;
© Joachim Wendler - Fotolia.com

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter und beinhalten keine Wertung.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung - mit Ausnahme der in den §§53, 54 URG genannten Sonderfällen - reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt.....	1
Abbildungen und Tabellen	3
Vorwort.....	5
1 Arbeitsgestaltung in Produktion und Logistik.....	6
2 Arbeitsgestaltung mit MTM.....	8
2.1 Die Prozesssprache MTM	8
2.1.1 Das Arbeitssystemmodell	8
2.1.2 Der MTM-Prozessbaustein und das Arbeitsablaufmodell nach MTM	9
2.1.3 Die MTM-Prozessbausteinsysteme	12
2.2 MTM in der Logistik.....	14
2.2.1 MTM-Logistikdaten	15
2.2.2 Handling von Teilen, Kartons, Behältern	16
2.2.3 Transport mit Staplern, Hubwagen und Kran.....	18
2.2.4 Anwendungsgebiete in der Industrie	20
2.2.5 Ausblick MTM Referenzprozesse Logistik.....	22
2.3 Ergonomische Arbeitsgestaltung mit EAWS®	23
2.4 Zeitliche und ergonomische Bewertung mit Human Work Design.....	26
2.4.1 MTM-HWD®-Aktionen	26
2.4.2 Kodierung/Piktogramme	29
2.4.3 MTM-HWD®-Beschreibungsformular	30
2.4.4 Funktionsweise von MTM-HWD® – Ein praktisches Beispiel.....	30
2.4.5 Beschreibung von Tätigkeiten mit MTM-HWD®	31
2.4.6 Bewertung von Tätigkeiten mit MTM-HWD®	36
2.4.7 MTM-HWD® bei Miele & Cie. KG	36
3 Digitale Arbeitsgestaltung mit MTMmotion®	38
3.1 Simulationsanalysen	38
3.2 Technologien zur Verarbeitung von Bewegungsdaten mit MTMmotion®	39
3.3 Anwendungsbeispiel.....	40

3.4	Nutzung der MTMmotion®-Schnittstelle für die Übersetzung von VR-Bewegungsdaten.....	41
3.5	MTMmotion®-Schnittstellendaten.....	42
3.6	Ableitung einer MTM-UAS®-Analyse	45
3.6.1	Validierung der Eingabedaten.....	45
3.6.2	Vervollständigung der Eingabedaten.....	46
3.6.3	Übersetzung in MTM-Prozessbausteine.....	47
3.6.4	Kombination unterschiedlicher Körperteile	48
3.6.5	Die erzeugte MTM-UAS®-Analyse.....	49
3.7	Ableitung einer MTM-HWD®-Analyse.....	49
3.7.1	Übersetzung in grundlegende Aktionen.....	50
3.7.2	Kombination unterschiedlicher Körperteile	50
3.7.3	Die erzeugte MTM-HWD® Analyse.....	51
4	Aktuelle Forschungsprojekte.....	53
4.1	Letzte Meile – Verbindung von Motion Capture mit MTM	53
4.2	KI und MTM: Forschungsprojekt HAawAI.....	54
5	Einordnung und Ausblick.....	55
5.1	Arbeitsgestaltung und Digitalisierung	55
5.2	Entwicklung von MTMmotion®	56
5.3	Weiterentwicklung und Zukunft von MTMmotion®.....	56
5.4	Sichtweise zum zukünftigen Bedarf an MTM-Ausbildungen und MTM-Beratung.....	57
5.5	Beitrag zur Zukunftsvision des IE	58
6	Literatur	59

Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Sprachelemente des MTM-Prozessbausteinsystems.....	9
Abbildung 2: Arbeitsablaufmodell nach MTM.....	11
Abbildung 3: Systematik der (anwendungsneutralen) MTM-Prozessbausteinsysteme..	12
Abbildung 4: Typische Anwendungsgebiete der MTM-Logistikdaten in der Intralogistik	15
Abbildung 5: Ziele der MTM-Anwendung in der Logistik.....	16
Abbildung 6: Anwendungsfall Verpackung schließen.....	17
Abbildung 7: Analyse für den Anwendungsfall Verpackung schließen.....	18
Abbildung 8: Anwendungsfall 2: Standardvorgänge Transport.....	19
Abbildung 9: Analyse Standardvorgänge Transport für Anwendungsfall 2.....	20
Abbildung 10: EAWS® Worksheet.....	24
Abbildung 11: Die Prozessbausteine von MTM-HWD® – Die MTM-HWD®-Aktionen	27
Abbildung 12: Einflussgröße Grundstellung – Skalierungen stehend, sitzend, hockend, kniend auf einem Knie, kniend auf beiden Knien, liegend.....	29
Abbildung 13: Arbeitsplatzlayout.....	31
Abbildung 14: Darstellung der Tätigkeit	31
Abbildung 15: MTMmotion® – technologieunabhängige Übersetzung in MTM-Analysen	40
Abbildung 16: Ansichten im Virtual Reality Tool von LIVINGSOLIDS.....	41
Abbildung 17: Ableitung von MTM-Analysen über MTMmotion®	41
Abbildung 18: Validierung von Objektabschnitten.....	45
Abbildung 19: Validierung von Objektinformationen	47
Abbildung 20: Auszug aus der Übersetzung des Aufnehmens und Platzierens	48
Abbildung 21: Bestimmung des Entfernungsbereichs durch Berücksichtigung von Körperbewegungen.....	51
Abbildung 22: Automatisch generierte MTM-HWD®-Analyse	52
Abbildung 23: Zielvorgehen im Forschungsvorhaben HAawAI	54
Abbildung 24: MTMmotion® Bewegungsdatenquellen	56
Abbildung 25: MTMmotion® - mögliche weitere Datenquellen	57
Tabelle 1: Legende MTM-Prozessbausteinsysteme.....	12
Tabelle 2: Objekte und Aktionen.....	32
Tabelle 3: Einflussgrößen – untere Extremitäten	33
Tabelle 4: Einflussgrößen – Rumpf und Kopf/Nacken.....	33
Tabelle 5: Einflussgrößen – Arm und Gewicht/Kraft	34
Tabelle 6: Einflussgrößen - Hand	35
Tabelle 7: Zeitliche Bewertung.....	36
Tabelle 8: MTMmotion®-Daten: Objektliste.....	42
Tabelle 9: MTMmotion®-Daten: Armbewegungen	43
Tabelle 10: MTMmotion®-Daten: Einflussfaktoren der Armbewegungen	44

Tabelle 11: Fehlende Armbewegung für Schraube.....	46
Tabelle 12: Übersetzung der Armbewegungen in ein Zwischenergebnis mit Grundvorgängen.....	47
Tabelle 13: Automatisch generierte MTM-UAS®-Analyse	49
Tabelle 14: Übersetzung der Armbewegungen in ein Zwischenergebnis mit Grundvorgängen.....	50

Peter Kuhlang

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser!

Die vorliegende, 18. Ausgabe der Schriftenreihe „MTM-Schriften Industrial Engineering“ beleuchtet die Digitalisierung der MTM-Methoden mit dem Fokus auf die Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit in Produktion und Logistik.

Zu den wichtigsten, in der Gründungsschrift des MTM-Instituts festgelegten Aufgabengebieten zählen die Weiterentwicklung von MTM zur permanenten Ausweitung der MTM-Anwendung, das Herstellen von Netzwerken und die Verbesserung der Anwendungsvoraussetzungen sowie die Öffentlichkeitsarbeit für den (arbeits-) wissenschaftlichen Diskurs und breite (populär-) wissenschaftliche Wirkung. Aus dieser Tradition heraus bietet die Schriftenreihe „MTM-Schriften Industrial Engineering“ eine Plattform, um anwendungsorientierte und theoretische Arbeiten im Fachgebiet des Industrial Engineerings in zitationsfähiger Form zu veröffentlichen.

Die diskontinuierlich erscheinenden Veröffentlichungen beschäftigen sich im Fachgebiet „Industrial Engineering“ im engeren und weiteren Sinne mit MTM. Dabei adressieren sie Neu- und Weiterentwicklungen, praktische Anwendungen in bekannten und neuen Fachgebieten sowie theoretische Erkenntnisse und Aspekte zur Fundierung und Verbreitung von MTM.

In der vorliegenden Ausgabe der Schriftenreihe wird der Beitrag von MTM zur Entwicklung der Arbeitswirtschaft vor dem Hintergrund von Digitalisierung beschrieben. Konkret werden in diesem Kontext MTM-Methoden zur Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit in den Bereichen Produktion und Logistik behandelt. Neben der Vorstellung der MTM-Prozessbausteinsysteme MTM-LOG® (Logistik) und MTM-HWD® (Human Work Design) sowie der ergonomischen Bewertung mittels EAWS®, liegt ein Schwerpunkt auf der digitalen Arbeitsgestaltung unter Einsatz von MTMmotion®. Hierbei wird speziell die Ableitung von MTM-UAS® und MTM-HWD®-Analysen aus Schnittstellendaten betrachtet. Schließlich werden zukünftige Entwicklungen im Bereich der Datenerfassung mittels Motion Capturing und der Ableitung von MTM-Analysen skizziert.

Abschließend ordnen wir die automatisierte Anwendung von MTM in einen breiteren, zukunftsorientierten Kontext ein.

Peter Kuhlang, im Oktober 2023

Geschäftsführer MTM ASSOCIATION e. V. und Deutsche MTM-Gesellschaft mbH
Leiter MTM-Institut

1 Arbeitsgestaltung in Produktion und Logistik

Die Kosten sind eine wesentliche Zielgröße für Unternehmen im nationalen oder internationalen Wettbewerb. Ein relevanter Anteil dieser Kosten sind Lohnkosten, insbesondere wenn die Arbeit durch einen hohen Anteil an manuellen Tätigkeiten geprägt ist. Eine zeitliche Bewertung dieser Prozesse erlaubt es zum einen, Kapazitätsbedarfe zu ermitteln und zum anderen ermöglicht sie die Identifizierung von Verbesserungspotenzialen und hilft so bei der zielgerichteten Gestaltung menschlicher Arbeit.

Es gibt unterschiedliche Methoden zur zeitlichen Beschreibung, Bewertung und Analyse von Arbeitsabläufen. Bekannte Methoden sind unter anderem REFA-Zeitaufnahme¹, MTM² oder Work Factor³. Alle Methoden haben dabei unterschiedliche Stärken und Schwächen. Wesentlicher Vorteil der MTM-Methoden ist unter anderem die personenunabhängige Beschreibung der Arbeitsabläufe. Unterschiedliche Ausführungsgeschwindigkeiten werden beispielsweise nicht betrachtet und erlauben somit eine objektive Bewertung der Arbeitsinhalte. Für unterschiedliche Anwendungsbereiche existieren unterschiedliche MTM-Systeme wobei das bekannteste und weltweit am meisten verbreitete System das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-UAS® (MTM-Universelles Analysiersystem) ist.⁴

Neben der Betrachtung der Zeit gewinnt die Ergonomie in allen Bereichen menschlicher Arbeit zunehmend an Bedeutung. Gut gestaltete Arbeit vermeidet übermäßige biomechanische Belastung, erhält die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten und fördert die Arbeitszufriedenheit. Eine ganzheitliche Arbeitsplatzgestaltung unter Berücksichtigung ergonomischer Aspekte gewinnt daher immer mehr an Bedeutung.⁵

Um diese Aufgabe zu erfüllen, wenden Unternehmen in der Regel Methoden zur Gefährdungsbeurteilung an, beispielsweise das „Ergonomic Assessment Worksheet“⁶ (EAWS®). Ziel dieser Methoden ist die Identifizierung ergonomischer Risiken für die Beschäftigten in Arbeitssystemen. Darüber hinaus ist die Beurteilung von Risiken durch biomechanische Belastungen in vielen europäischen Ländern für Unternehmen verpflichtend.

Zeitliche und ergonomische Analysen von Arbeitsprozessen sind also wesentlicher Bestandteile der Arbeitsgestaltung. Insbesondere in den Bereichen Produktion (beispielsweise in der Automobilindustrie und Herstellern von Weißer Ware) und Logistik (bei-

¹ vgl. REFA, 1997

² vgl. Antis et al., 1969; Bokranz & Landau, 2012; Maynard et al., 1948

³ vgl. Quick, 1960

⁴ vgl. Bokranz & Landau, 2012; MTMA, 2019b

⁵ vgl. MTMA, 2022

⁶ vgl. Schaub et al., 2012

spielsweise Logistikdienstleister und innerbetriebliche Logistik), in denen manuelle Tätigkeiten teils einen hohen Anteil an den Arbeitsprozessen haben, finden die Analysemethoden verbreitet Einsatz. Auch Tätigkeiten der Basisarbeit, die aktuell im Fokus der arbeitspolitischen Bestrebungen sind (Stichwort: Letzte Meile), können mit diesen Analysemethoden untersucht werden.⁷

Wissen und Methoden der Arbeitswirtschaft stehen dabei nicht still, sondern entwickeln sich mit den Anforderungen und Rahmenbedingungen weiter.⁸ Wesentliche aktuelle Entwicklungen entstehen dabei insbesondere im Kontext der Digitalisierung.⁹ In dieser Ausgabe der Schriftenreihe wird daher die Entwicklung der Arbeitswirtschaft vor dem Hintergrund von Digitalisierung näher beschrieben. Konkret werden in diesem Kontext MTM-Methoden zur Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit in den Bereichen Produktion und Logistik behandelt. Neben der Vorstellung der MTM-Prozessbausteinsysteme MTM-LOG[®] (Logistik) und MTM-HWD[®] (Human Work Design) sowie der ergonomischen Bewertung mittels EAWS[®], liegt ein Schwerpunkt auf der digitalen Arbeitsgestaltung unter Einsatz von MTMmotion[®]. Hierbei wird speziell die Ableitung von MTM-UAS[®] und MTM-HWD[®]-Analysen aus Schnittstellendaten betrachtet. Schließlich werden zukünftige Entwicklungen im Bereich der Datenerfassung mittels Motion Capturing und der Ableitung von MTM-Analysen skizziert.

⁷ vgl. Bovenschulte et al., 2021

⁸ vgl. Mühlbradt et al., 2018

⁹ vgl. Benter & Neumann, 2023

2 Arbeitsgestaltung mit MTM

In der Arbeitsgestaltung werden unterschiedliche Methoden der Zeitermittlung genutzt. Eine der Bewährtesten ist die MTM-Methode, mit der man Abläufe bereits in der Planungsphase zeitlich bewerten kann; ein ganz wesentlicher Vorteil in Zeiten der digitalen Arbeitsgestaltung. Entstanden und durchgesetzt hat sich die Methode vor allem im Bereich der Montageplanung. Die Anwendungsbereiche gehen allerdings weit darüber hinaus. So funktioniert MTM ebenso gut in der Logistik (MTM-LOG®). Durch die kombinierte Anwendung mit ergonomischen Methoden wie EAWS® können Arbeitsabläufe auch ergonomisch bewertet werden.

Dieses Kapitel beginnt mit einer einführenden Betrachtung der Prozesssprache MTM und den MTM-Prozessbausteinsystemen. Im Anschluss werden MTM in der Logistik, die ergonomische Arbeitsgestaltung mit EAWS® sowie der menschenorientierte Ansatz MTM-HWD® (Human Work Design) erläutert.

2.1 Die Prozesssprache MTM

Die Planung, Modellierung und Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit beruht insbesondere in Zeiten der Digitalisierung auf methodischen und softwaregestützten Modellen. Die Modellierung von Arbeitssystemen und Arbeitsabläufen erfolgt mit Hilfe einzelner (Modell-)Elemente und umfasst Beschreibungen sowie Bewertungen produktiver und ergonomiegerechter 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.¹⁰

2.1.1 Das Arbeitssystemmodell

Für die Abbildung von Systemen bedient sich die Wissenschaft einer Vielzahl an Modellen. Ein sehr bekanntes Modell der Arbeitswissenschaft ist das Arbeitssystemmodell, bestehend aus den Elementen Arbeitsaufgabe, Mensch, Arbeitsablauf, Betriebsmittel, Arbeitsplatz, Arbeitsumgebung, Input, Output sowie deren Systemgrenzen und -größen.¹¹ Das Element „Arbeitsablauf“ steht dabei „für das zeitlich-logische Zusammenwirken von Mensch und Arbeits- bzw. Sachmitteln bei der Transformation der Eingabe in die Ausgabe“.¹² Das Streben nach einer nachvollziehbaren und reproduzierbaren Beschreibung des Zusammenwirkens der Systemelemente wird insbesondere für die Gestaltung der Arbeitsabläufe nach produktiven und ergonomiegerechten Gesichtspunkten benötigt. Voraussetzung dafür ist ein definiertes Vorgehen mit dessen Hilfe Arbeitsabläufe erfasst,

¹⁰ vgl. Kuhlmann, 2018

¹¹ vgl. Schmauder et al., 2014, S. 23

¹² vgl. Bokranz & Landau, 2006, S. 777

dokumentiert und bewertet werden. Hierfür werden Prozesssprachen wie MTM, die Wertstrom-Darstellung oder Flowchart-Analysen mit ihren jeweils charakteristischen Notationen angewendet.

2.1.2 Der MTM-Prozessbaustein und das Arbeitsablaufmodell nach 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“. 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 – anhand von MTM-Prozessbausteinen erstellen lassen.¹³ Die MTM-Prozessbausteine der Prozesssprache MTM sind hinsichtlich ihrer zulässigen Verwendung eindeutig festgelegt.¹⁴

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

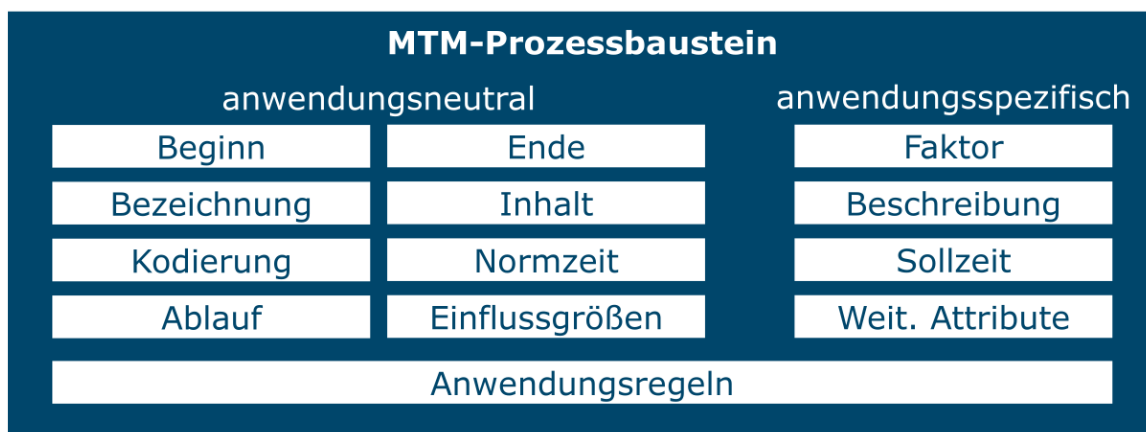


Abbildung 1: Sprachelemente des MTM-Prozessbausteinsystems¹⁵

Der anwendungsneutrale Teil eines (einzelnen) MTM-Prozessbausteins (z. B. mit der Kodierung R2A) wird bei seiner Entwicklung einmalig definiert. Der MTM-Prozessbaustein R2A beschreibt eine Hinlangbewegung 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. Der spezifische MTM-Prozessbaustein R2A umfasst eine maximale Bewegung von 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. Begrenzt wird ein MTM-Prozessbaustein durch die klar definierten Ereignisse „Beginn“ und „Ende“. Seine

¹³ vgl. Bokranz & Landau, 2012

¹⁴ vgl. Fischer et al., 2015, S. 95

¹⁵ vgl. Bokranz & Landau, 2012

Namensgebung (Bezeichnung) erfährt ein MTM-Prozessbaustein aus dem Sprachelement „Ablauf“ bzw. dem Prozess. Dieser wiederum repräsentiert den Handlungsumfang eines MTM-Prozessbausteins. Abhängig von seiner Granularität (Hierarchieebene; s. Abbildung 3) umfasst dieser Handlungsumfang eine einzelne Finger- bzw. Hand-Bewegung bis hin zu einem gesamten Montageablauf.¹⁶

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

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

Zusammenfassend bezeichnet demnach ein MTM-Prozessbaustein einen Ablauf der seinem Inhalt und seiner Verwendung nach definiert wurde und für den ein Zeitstandard gilt.¹⁷

Die Verbindung des anwendungsneutralen mit dem anwendungsspezifischen Teil eines MTM-Prozessbausteins präzisiert den (Arbeits-)Inhalt sowie 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 (Modellierung) 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 (s. Abbildung 2).

¹⁶ vgl. Finsterbusch & Kuhlmann, 2017

¹⁷ vgl. Bokranz & Landau, 2012, S. 386

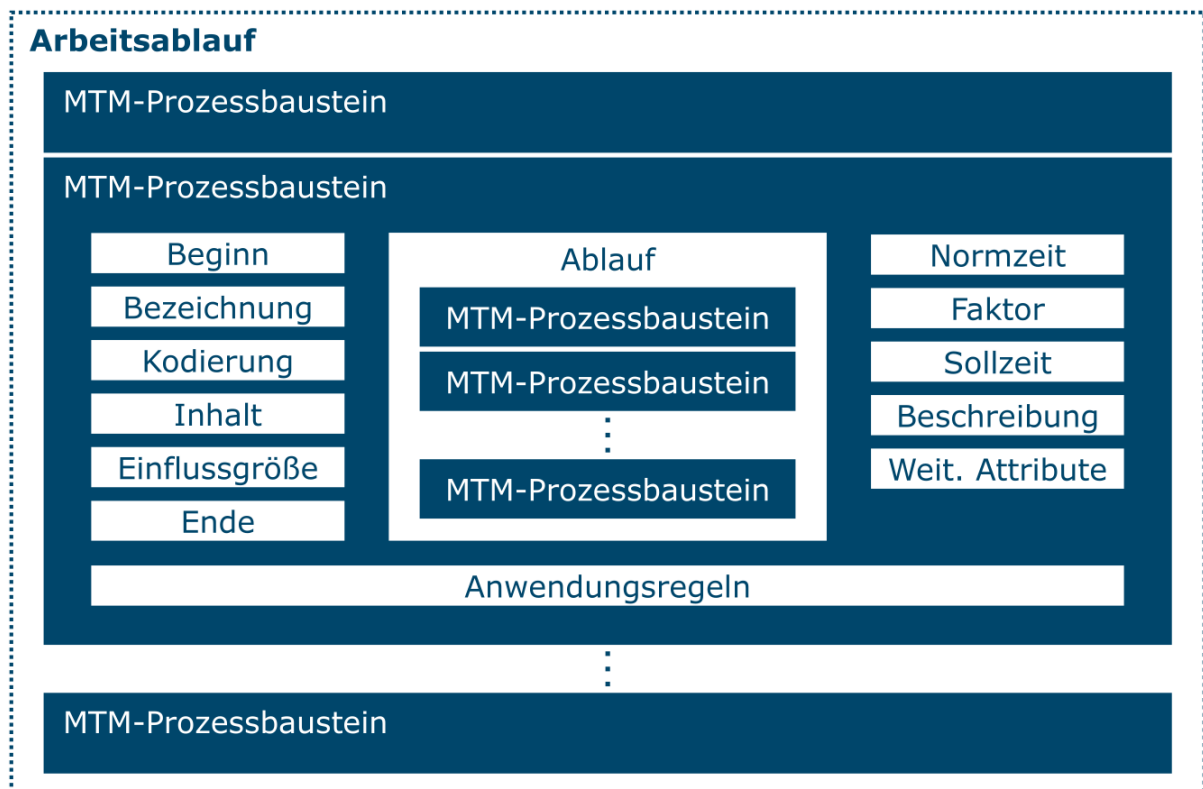


Abbildung 2: Arbeitsablaufmodell nach MTM¹⁸

In dieser Veröffentlichung wird, ebenso wie in der alltäglichen Anwendung, zwischen den Begriffen „MTM-Prozessbaustein“ und „Prozessbaustein“ unterschieden. Daher wird nachfolgend diese Unterscheidung differenziert betrachtet.

Notwendige Bedingungen für MTM-Prozessbausteine sind eine immanente zeitliche Bewertung auf Grundlage einer definierten Bezugsleistung – konkret die MTM-Normleistung – sowie die Erfüllung der Qualitätsanforderungen und Qualitätsmerkmale an MTM-Prozessbausteine bzw. -systeme (Stabilität, Validität, Wirtschaftlichkeit).¹⁹ Hinreichend ist die Tatsache, dass ihr anwendungsneutraler Teil auf MTM-Datenkarten der MTM-Prozessbausteinsysteme zu finden ist.

Der Begriff „Prozessbaustein“ (ohne „MTM“ als Präfix) wird i. A. als übergeordneter Begriff für „einen festgelegten Arbeitsinhalt“ verwendet. Genauer betrachtet sind bei Prozessbausteinen häufig die, in Abbildung 1 dargestellten, Sprachelemente nicht vollständig definiert. Ein weiteres Kennzeichen ist, dass Prozessbausteine (ohne „MTM“ als Präfix) oftmals andere Bezugsleistungen als Grundlage haben und häufig keine immanente zeitliche Bewertung aufweisen.

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

¹⁸ vgl. Finsterbusch et al., 2017

¹⁹ vgl. Bokranz & Landau, 2012, S. 394

die Gesamtstruktur aller (branchenneutralen und unternehmensspezifischen) MTM-Prozessbausteinsysteme wird als „Systematik der MTM-Prozessbausteinsysteme“ bezeichnet (s. Abbildung 3).²²

Der Prozesstyp bzw. das Methodenniveau – also die Chance zur Routinebildung bzw. der Grad der Arbeitsweisen-Streuung – bestimmen die Genauigkeit der Ablaufbeschreibung mit MTM. Die Arbeitsweisen-Streuung ihrerseits hängt vom Übungsgrad ab – geringe Übung bedeutet eine hohe Arbeitsweisen-Streuung. Die Chance zur Routinebildung wiederum hängt von der Wiederholhäufigkeit – ausgeprägt durch Zyklusdauer und Variantenzahl – sowie der Arbeitsgestaltung und damit dem Kontrollaufwand von Bewegungen ab.

MTM-1® (das MTM-Grundsystem) bildete die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung weiterer Bausteinsysteme. Es wurde für Fertigungen mit hohem Wiederholcharakter und kurzzyklischen Arbeitsabläufen, wie sie typischerweise in der Mengenfertigung vorliegen, entwickelt.

MTM-2® und MTM-SD® wurden für die Anwendung in der Großserien- oder Serienfertigung entwickelt. Typische Anwendungsbereiche sind beispielsweise Zulieferbetriebe des Fahrzeugbaus oder der Elektro- und Elektronikfertigung. Mit dem MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD® werden Taktzeiten im Bereich von 30 bis 120 Sekunden abgedeckt. Es wird wie MTM-1® vorrangig in der Mengenfertigung eingesetzt. Ein entscheidender Unterschied zu MTM-1® ist, dass gestalterische Maßnahmen nicht nur aus Sicht der Produktivität, sondern auch aus Sicht der Ergonomie (auf Basis des EAWS®) aufgezeigt und ausgewiesen werden.²³

Das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-UAS® setzt die charakteristischen Merkmale der Serienfertigung voraus und wird vorrangig für Analysen in Unternehmen und Zulieferer des Fahrzeugbaus, des Flugzeugbaus, des Gerätebaus, der Elektro- und Elektronikfertigung und der Logistik verwendet. Das Anwendungsgebiet von MTM-MEK® (MTM für die Einzel- und Kleinserienfertigung) wird durch die Erklärung der Abkürzung bereits deutlich. Typische Anwendungsbereiche liegen in den Unternehmen des Maschinen- und Stahlbaus, des Anlagenbaus, des Luftfahrzeugbaus, aber auch in den Bereichen der Wartung und Reparatur, der Logistik sowie bei Rüst- und Umstellungsarbeiten. Bei den MTM-Prozessbausteinsystemen MTM-UAS® und MTM-MEK® sind durch Aggregation jeweils Standardvorgänge für typische Tätigkeiten wie z. B. Schraubarbeiten, Behandeln von Oberflächen, Festspannen und Lösen, Prüfen oder Messen und Normteile montieren entwickelt worden.²⁴

Auch für die Gestaltung, Verbesserung und Quantifizierung von administrativen Geschäftsprozessen wurde ein MTM-Prozessbausteinsystem entwickelt: das MTM-Office-

²² vgl. Kuhlmann, 2018

²³ vgl. MTMA, 2019a

²⁴ vgl. MTMA, 2019a

System. Es eignet sich zur Ermittlung der Ausführungsdauer von Arbeitsaufgaben für planmäßig vorkommende Tätigkeiten. Angewendet wird das System hauptsächlich in Dienstleistungsunternehmen, Verwaltungen oder in den indirekten Bereichen der Industriebetriebe. Das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-Sichtprüfen wird zur Planung, Gestaltung und zeitlichen Bewertung visueller Prüftätigkeiten, die vom menschlichen Urteils- und Entscheidungsvermögen abhängen, genutzt. Es ermöglicht auch die begründete Auswahl optischer Hilfsmittel wie Lupen, Mikroskope und Monitore sowie die Gestaltung und Bewertung visueller Prüftätigkeiten unter Verwendung dieser Hilfsmittel. Typische Anwendungsbereiche liegen in Unternehmen mit einem bedeutenden Anteil visueller Prüftätigkeiten, wie z. B. bei der visuellen Kontrolle von Lötstellen, lackierten Oberflächen, Bauelementen oder Leiterbahnen auf Leiterplatten.²⁵

Für die korrekte Anwendung der MTM-Prozessbausteinsysteme ist eine Ausbildung (siehe training.mtm.org) erforderlich.

Insbesondere für die Anwendung in intralogistischen Bereichen steht das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-LOG® (MTM-Logistik) zur Verfügung, das Nachfolgend im Detail beschrieben wird.

2.2 MTM in der Logistik

Eine moderne Arbeitswirtschaft im Sinne eines systematischen Produktivitätsmanagement sowie moderne Arbeitsbemessung und der Einsatz von arbeits- und zeitwirtschaftlichen Methoden stellt bisher für Logistikunternehmen und kleinere sowie mittlere Unternehmen zumeist keine wesentliche Aufgabe dar. Um allerdings aktuelle Zeitverbräuche richtig darzustellen und Engpässe zu erkennen, spielen Zeitdaten eine entscheidende Rolle. Mit ihrer Hilfe kann beurteilt werden, was die eigenen Abläufe (Intralogistik, Produktion bzw. Montage) überhaupt leisten können.

Für die vielfältigen Aufgaben, die in den Bereichen Tendermanagement, Logistik, Prozessmanagement, Lean Management, Verbesserungsmanagement und Arbeitsplanung vorkommen, werden Methoden der Zeitermittlung genutzt. Zu diesen Aufgaben zählen u. a. das Gestalten von effizienten und ergonomiegerechten Arbeitssystemen, Prozessen und Wertströmen, das Identifizieren von Engpässen, das Ermitteln von Zyklus- bzw. Transportzeiten, die Optimierung von physischer Belastung oder die Kalkulation von Auswirkungen durch Verbesserungsideen.²⁶ Für all dies hat die Anwendung der MTM-Methode in den vergangenen Jahren – vor allem aufgrund stetig steigender Logistikkosten – noch zusätzlich an Bedeutung gewonnen.

Die gestiegenen Kosten ergeben sich einerseits durch die hohen organisatorischen, technischen und personellen Anforderungen, die heute an eine unternehmensübergreifende Logistik gestellt werden. Andererseits erschwert eine unzureichende Genauigkeit bei der

²⁵ vgl. MTMA, 2019a

²⁶ vgl. MTMA, 2022

Betrachtung von logistischen Prozessen, in denen der Mensch operativ tätig ist, die Einhaltung geplanter und vorgegebener Kosten. Genau an dieser Stelle kann der Einsatz von MTM – konkret des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-Logistik (MTM-LOG®) – erheblich zur Gestaltung und Verbesserung logistischer Prozesse beitragen.

2.2.1 MTM-Logistikdaten

Im Allgemeinen werden die MTM-Logistikdaten zur Beschreibung und Gestaltung der oben genannten, unterschiedlichen Aufgabenbereiche, genutzt. Auch hier finden sich beispielsweise bei Kommissionierung, Transport sowie Verpacken und Prüfung eine hohe Anzahl an Tätigkeiten, die als Basisarbeit betrachtet werden (s. Abbildung 4). Die typischen Abläufe der Intralogistik, die in ihrer Komplexität unterschiedlich sein können, werden als Standardvorgänge im Bereich der Logistik bezeichnet.²⁷

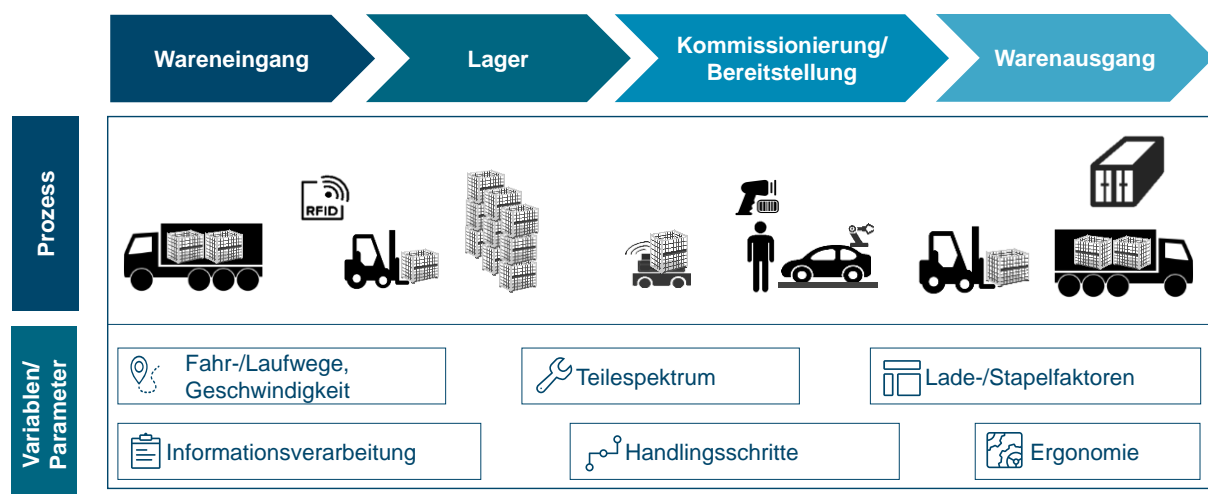


Abbildung 4: Typische Anwendungsgebiete der MTM-Logistikdaten in der Intralogistik

Die MTM-Logistikdaten werden hauptsächlich dazu eingesetzt, logistische Abläufe bzw. Arbeitssysteme abhängig von Einflussgrößen, Variablen bzw. Parametern zeitlich und ergonomisch zu bewerten. Außerdem werden sie dazu genutzt, existierende aber vor allem auch noch nichtexistierende Abläufe gezielt und faktenbasiert zu bewerten, die Produktivität zu planen und steigern sowie den erforderlichen Personalbedarf zu ermitteln (s. Abbildung 5).²⁸

²⁷ vgl. Sunk et al., 2014

²⁸ vgl. Kuhlmann & Neumann, 2023

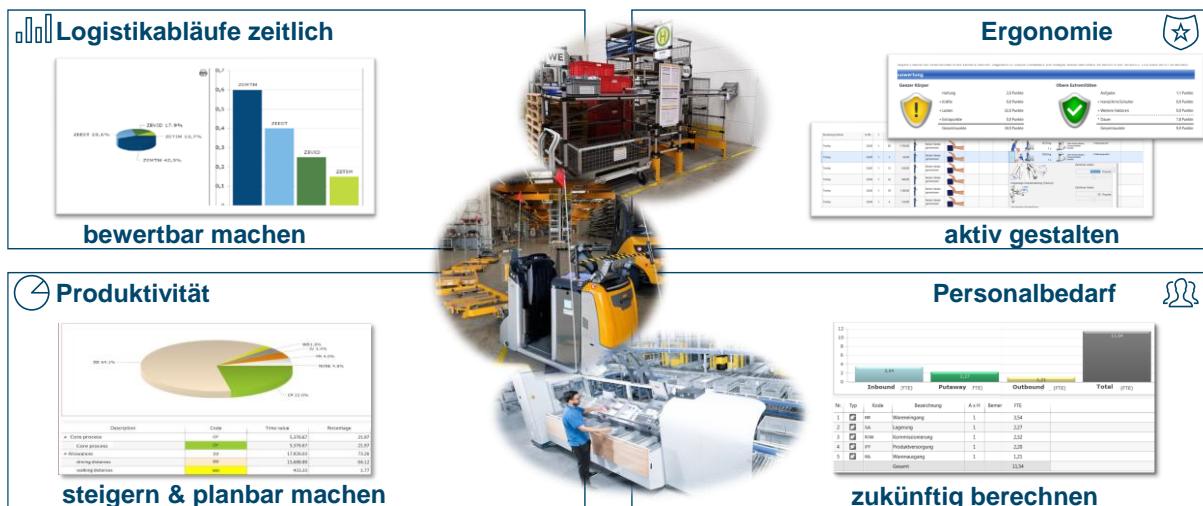


Abbildung 5: Ziele der MTM-Anwendung in der Logistik

Für die Anwendung der MTM-Logistikdaten gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Die üblichen Arbeitsaufgaben laufen auftragsbezogen, mit zum Teil hoher Wiederholhäufigkeit ab, sodass die Beschäftigten die Möglichkeit zur Routinebildung haben.
- Den Beschäftigten stehen für die Arbeitsaufgaben geeignete Arbeits- und Transportmittel zur Verfügung.
- Die Arbeitsplätze sind entsprechend dem Spektrum der Arbeitsaufgaben gestaltet.²⁹

Diese Bedingungen charakterisieren typischerweise das Methodenniveau bzw. den Prozessstyp der Serienfertigung und intralogistischer Abläufe bzw. Tätigkeiten, weshalb die MTM-Logistikdaten auf Grundlage der Grundvorgänge des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-UAS® basieren.³⁰

In der praktischen Anwendung haben vor allem die Standardvorgänge für Handling und Transport eine große Bedeutung.

2.2.2 Handling von Teilen, Kartons, Behältern

Die Standardvorgänge Handling von Teilen, Kartons, Behältern sind MTM-Prozessbausteine zur Bewertung von Standardabläufen mit handelsüblichen und in der Praxis häufig eingesetzten Transporteinheiten. Die MTM-Prozessbausteine existieren für die Handhabung von Teilen, Behältern und Kartons, für das Öffnen und/oder Schließen von Verpackungen sowie die zugehörigen Informationsverarbeitungen. Beim Handling werden

²⁹ vgl. MTMA, 2019c

³⁰ vgl. MTMA, 2019b

Anzahl und Häufigkeit variabel vorkommenden Körperbewegungen (Gehen, Bücken, Setzen und Aufstehen) sowie das Holen, Platzieren an der Verwendungsstelle und Ablegen von Hilfsmitteln (Werkzeug) mit Ergänzungswerten berücksichtigt.

Die MTM-Prozessbausteine für die Handhabung von Teilen, Behältern und Kartons decken gängige Arbeitsaufgaben ab, die in den Bereich der Basisarbeit eizuordnen sind. Mit ihnen können alle notwendigen Bewegungen beschrieben werden, um ein Behältnis, einen Karton oder ein Teil von einer Stelle zur anderen umzusetzen, auszutauschen oder umzufüllen. Hier spielen beispielsweise Anzahl und Gewicht der zu handhabenden Objekte sowie deren Größe eine Rolle für die richtige Beschreibung des vorliegenden Arbeitsablaufs.

Die Vorgänge „Verpackung öffnen“ und „Verpackung schließen“ beschreiben bereits ihren Inhalt. Sie umfassen alle für die Logistik relevanten Tätigkeiten, um entweder die Zugänglichkeit zu den in der Verpackung befindlichen Gegenständen zu erreichen oder um Behältnisse mittels erforderlicher Hilfsmaterialien und Werkzeuge zu verschließen. Hier werden vor allem die Art der Verpackung, also ob es sich z. B. um einen Faltkarton, einen Beutel oder eine Gitterbox handelt, und ob es Abdeckungen, Deckel oder Zwischenablagen gibt, berücksichtigt.

Unter Verwendung der MTM-Logistikdatenkarte „Handling – Verpackung schließen“ wird das eben erläuterte anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels erklärt. Hierzu wird ein bereits gefüllter Karton mit der Größe 30 x 25 x 20 cm aufgenommen und auf eine Werkbank gestellt. Anschließend wird ein Deckel auf die sich im Karton befindlichen Teile gelegt und der Karton mit zwei Klebestreifen verschlossen (s. Abbildung 6).

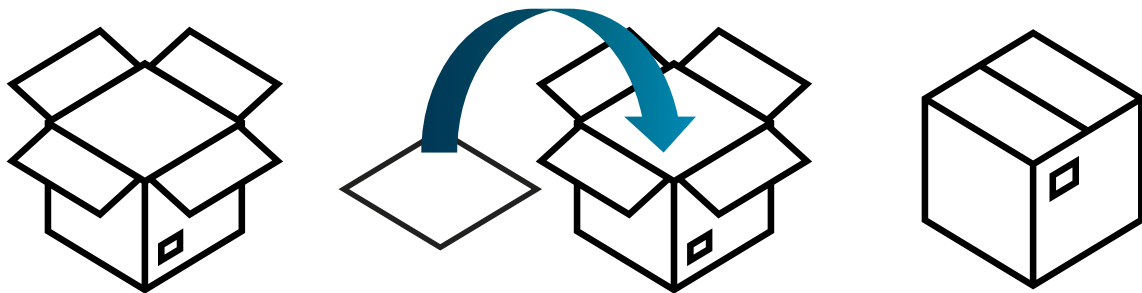


Abbildung 6: Anwendungsfall Verpackung schließen

Der Analyse für den Anwendungsfall Verpackung schließen (s. Abbildung 7) kann entnommen werden, dass die Kodierung *SBFA* für das Aufstellen und Verschließen eines Faltkartons mit maximalen Abmessungen von 30 x 30 x 30 cm einen Zeitwert von 215 TMU (Time Measurement Unit, 1 TMU = 0,036 Sekunden), was ca. 7,7 Sekunden entspricht, hat.

Das Einlegen des Deckels wird durch den Code *SADA* und das Verschließen des Kartons mit dem Klebeband durch das *SBZA* beschrieben. Für das *SADA* sind 60 TMU (ca. 2,2 Sekunden) vorgesehen, der Zeitwert für das *SBZA* (110 TMU) wird mit 2 multipliziert (zwei Klebestreifen), sodass daraus 220 TMU (ca. 7,9 Sekunden) werden. Somit entsteht für

dieses kleine Anwendungsbeispiel eine mit MTM analysierte Gesamtzeit (Grundzeit t_g) von 495 TMU, was ca. 17,8 Sekunden entspricht.

Verpackung schließen			4LH	TMU	
Behältnisse (aufstellen und verschließen)	Faltkarton (je Seite 2 Innen- u. 2 Außenlaschen)	≤ 30 × 30 × 30 cm	SBFA	215	
		≤ 50 × 50 × 50 cm	SBFB	335	
		≤ 80 × 80 × 80 cm	SBFC	445	
	Laschen (alle Kartons)	Einzel- oder paarweise	≤ 30 × 30 cm	SBLA	35
			≤ 50 × 50 cm	SBLB	45
			≤ 80 × 80 cm	SBLC	50
		Verschlusslasche		SBLV	65
	Zuschlag Klebestreifen	≤ 30 cm	SBZA	110	
		≤ 50 cm	SBZB	145	
		≤ 80 cm	SBZC	170	
Folienbeutel	Incl. Aufnehmen und Ablegen	≤ 30 × 30 × 30 cm	SBBA	155	
		≤ 50 × 50 × 50 cm	SBBB	250	
	Verschluss	Gleitverschluss	SBBC	45	
		Druckverschluss Klebestreifen	SBBD	75	
Gitterbox/Faltbox	Aufstellen*	SBGA	535		
	Schließen	SBGS	175		
Abdeckungen	Deckel/ Zwischenlage	≤ 30 × 30 cm	SADA	60	
		≤ 50 × 50 cm	SADB	90	
		≤ 80 × 80 cm	SADC	115	
	Einschlagpapier/ Folie	≤ 30 × 30 cm	SAEA	95	
		> 30 × 30 cm	SAEB	125	

Beschreibung	Kode	Faktor	TMU
Karton aufstellen und verschließen	SBFA	1	215
Deckel	SADA	1	60
Klebeband	SBZA	2	220
			495

Abbildung 7: Analyse für den Anwendungsfall Verpackung schließen

2.2.3 Transport mit Staplern, Hubwagen und Kran

Die Standardvorgänge Transport umfassen alle notwendigen MTM-Prozessbausteine zur Bewertung von Standardabläufen mit handelsüblichen und in der Praxis häufig eingesetzten Transportfahrzeugen oder Transportwagen und berücksichtigen dabei die unterschiedlichen Fahrzustände und -ausstattungen sowie relevante Sicherheitsbestimmungen. Neben den allgemeinen MTM-Prozessbausteinen existieren für den Transport außerdem die Vorgangsschritte und Vorgangsfolgen sowie sonstige Transportmittel und Krandaten.

Die Allgemeinen MTM-Prozessbausteine beschreiben Abläufe, die unabhängig vom Fahrzeugtyp pro MTM-Prozessbaustein stets die gleiche Methode widerspiegeln. Zu ihnen gehören u. a. die Prozesse „Motor starten und ausschalten“, „Sicherheitsgurt an- und ablegen“ oder „Feststellbremse ziehen und lösen“.

Die Stapler Vorgangsschritte und Vorgangsfolgen beziehen sich auf die Fahrzeugtypen Fahrgabelstapler, Schubmaststapler und Hubwagen, wobei bei letzterem die Unterscheidung zwischen mitgehend und mitfahrend vorgenommen wird. Die Vorgangsschritte spiegeln Transportbewegungen, wie beispielsweise „Fahren“; „Heben/Senken“ oder „Palette in oder aus Regalplatz“ wider. Die Vorgangsfolgen entstehen durch Verdichtung und statistische Gewichtung aus den Standardvorgängen und enthalten alle typischen Fahroptionen für das Aufnehmen und Platzieren von Paletten, Behältern oder ähnlichen Transporthilfsmitteln mit Staplern. Mithilfe der Vorgangsfolgen können durch eine bewusst detailliert gewählte Beschreibung der Abläufe Transportspiele transparent darge-

stellt werden. Unterschiedliche Transportmethoden, Fahrzeugausstattungen und Leistungen können in ihren einzelnen Ausprägungen sicher und hinreichend präzise beschrieben und analysiert werden.

Um das Erläuterte besser zu verstehen, wird nun die Analyse eines einfachen Anwendungsfalls mit den Logistik-Prozessbausteinen Stapler Vorgangsschritte und Vorgangsfolgen beschrieben. Mit einem Fahrgabelstapler wird eine Palette aus einer Höhe von 2,5 Metern aufgenommen und über eine Strecke von 100 Metern (inkl. 2 Kurven) auf dem Boden platziert (s. Abbildung 8). Der Einfachheit halber wird hier davon ausgegangen, dass der Beschäftigte bereits angeschnallt auf dem Fahrgabelstapler sitzt und der Gang eingelegt ist.

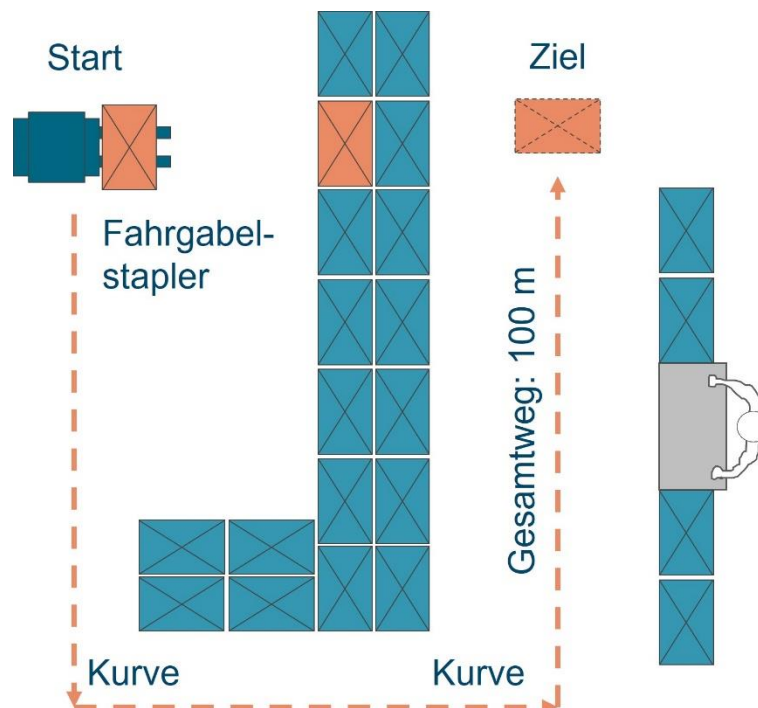


Abbildung 8: Anwendungsfall 2: Standardvorgänge Transport

Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, werden die Datenkarten Stapler Vorgangsschritte und Vorgangsfolgen für die Analyse verwendet. Für das Aufnehmen und Platzieren der Palette wird der entsprechende Code (*SACAFM*) der Datenkarte „Stapler Vorgangsfolgen“ entnommen. Für diesen Arbeitsschritt sind 1.080 TMU, die ca. 38,9 Sekunden entsprechen, vorgesehen. Das Fahren von 100 Metern (inkl. 2 Kurven) mit dem Fahrgabelstapler wird auf der Datenkarte „Stapler Vorgangsschritte“ abgelesen. Für einen Meter fahren steht der Code *SFISF*, der einen Zeitwert von 13 TMU hat. Dieser wird mit 100 multipliziert, was für die Fahrtzeit zu einer Gesamtzeit von 1.300 TMU, also 46,8 Sekunden, führt. Das Kurvenfahren entspricht dem Code *SFKSF*, der mit dem Faktor zwei multipliziert wird und eine Zeit von 32 TMU (ca. 1,2 Sekunden) ergibt. Der gesamte Ablauf benötigt laut MTM 2.410 TMU, also ca. 86,9 Sekunden (Grundzeit t_g).

Stapler Vorgangsfolgen		Sitzstapler				
Aufnehmen	Platzieren	Zeitwerte in TMU	Fahrgabelstapler		Schubmaststapler	
			Ohne	Mit	Ohne	Mit
Boden	Boden	SAAA	603	833	718	983
	1,2 m	SAAB	751	981	903	1168
	2,5 m	SAAC	912	1142	1105	1370
	4,0 m	SAAD	1098	1328	1337	1602
1,20 m	Boden	SABA	854	934	1014	1084
	1,2 m	SABB		1082		1269
	2,5 m	SABC		1243		1471
	4,0 m	SABD		1429		1703
2,50 m	Boden	SACA	1000	1080	1160	1230
	1,2 m	SACB		1228		1415
	2,5 m	SACC		1389		1617
	4,0 m	SACD		1575		1849

Stapler Vorgangsschritte		Sitzstapler			
Zeitwerte in TMU		Kode	Fahrgabelstapler	Schubmaststapler	
Vorgangsschritte pro Stapler		4LT	F	S	
Fahren	Intern pro m	Stabil o. leer	SFIS	13	13
		Labil	SFIL	17	17
	Kriechgeschwind.		SFIK	40	40
	Außenbereich stabil oder leer		SFAS	7	9
Kurve 90°	Stabil oder leer	SFKS	16	16	
	Labil	SFKL	56	56	
Verzögerung (Start und Stopp)	Unbeladen	SFVU	30	30	
	Beladen	SFVB	56	56	
Ausrichten 90°	auf Lagerplatz	Stabil oder leer	SRLS	80	70
		Labil	SRLL	130	120
	in Fahrtrichtung (rückwärts)	Stabil oder leer	SRFS	65	55
		Labil	SRFL	115	105

Beschreibung	Kode	Faktor	TMU
Palette Aufn. + Platz 2,5 m - Boden	SACAFM	1	1080
100 m fahren	SFISF	100	1300
2 Kurven fahren	SFKSF	2	32
			2410

Abbildung 9: Analyse Standardvorgänge Transport für Anwendungsfall 2³¹

Unter „Sonstige Transportmittel“ sind Elektroschlepper, Handgabelhubwagen und Transportwagen zu finden, die mit ihren unterschiedlichen Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf die Bewegungszeit auf separaten Datenkarten zu finden sind.

Die Krantdaten stellen einerseits ein Datenangebot für in der Praxis häufig anzutreffende Krantypen (Einschienenkran, Brückenkran und Säulendrehkran) dar. Andererseits liefert die vorliegende Bausteinarchitektur eine gute Ausgangsbasis zum Aufbau von eigenen bedarfspezifischen Krantdaten.

Es gibt weitere Logistik-Prozessbausteine, wie beispielsweise „Informationen verarbeiten“, mit denen weitere Logistiktätigkeiten, beschrieben werden können. Das „Informationen verarbeiten“ steht für alle erforderlichen Tätigkeiten zur Informationsaufnahme, -verarbeitung und -eingabe. Hier lassen sich Prozesse wie Lesen, Schreiben oder Daten mit einem Scanner einlesen finden.

2.2.4 Anwendungsgebiete in der Industrie

Die folgenden Beispiele geben einen Einblick, wie die MTM-Prozessbausteine der MTM-Logistikdaten in der logistischen Praxis angewendet werden.

³¹ MTMA, 2019c

Ersatzteillogistik

Das Original Teile Center, kurz OTC, der Volkswagen AG stellt die Ersatzteilversorgung unterschiedlicher Unternehmen auf der ganzen Welt sicher. Angesichts der Vielfalt von Verpackungen, Mengen, Gewichten und Lagerarten stellt dies eine große Herausforderung für Technik, Organisation und Mitarbeitende dar. Durch die Einführung der MTM-Prozessbausteinsysteme MTM-UAS® und MTM-LOG® ist es gelungen, alle zugeordneten Arbeitsplätze zu analysieren und transparent in einem eigens entwickelten VW-Logistiksystem abzubilden. Die daraus resultierenden Verbesserungen der Logistkarbeitsplätze und Abläufe haben dazu geführt, dass die Produktivität durchschnittlich um zehn Prozent gesteigert und Arbeitsplätze ergonomisch gestaltet werden konnten.

Kontraktlogistik

Die Abteilung Solutions Engineering der deutschen Kühne + Nagel-Organisation ist für die Planung und Ressourcenkalkulation von Neukundengeschäften in der Kontraktlogistik zuständig. Hier wurde mit Standardzeiten, die teils auf MTM-Logistikdaten, teils auf Erfahrungswerten (Zeitaufnahmen) basierten, gearbeitet und geplant. Außerdem wurden ausgewählte Arbeitsplätze im Bereich manuelle Kommissionierung auf physische Belastungen beim Handhaben und Umsetzen von Lasten untersucht und verbessert. Der daraus entstandene Zeitenkatalog für die Ressourcenkalkulation sowie eine unternehmensinterne Datenkarte mit Zuschlägen für Lastgewichte und Körperhaltungen wurde Kühne + Nagel für die zukünftige Umsetzung ihrer Logistiklösungen zur Verfügung gestellt.

Tenderkalkulation

Als weiteres Beispiel kann die MTM-Anwendung bei Müller – LILA LOGISTIK genannt werden. Sie bietet in den eigenen Logistics Service Centern u. a. die Vormontage bzw. Montage von Baugruppen und Komponenten an. Für die Planung und Kalkulation eines Angebotskonzepts für ein Unternehmen aus der Automobilindustrie wurden Planzeitwerte für die Vormontage der ausgewählten Produkte bzw. Produktfamilien mit MTM-UAS® ermittelt. Dies führt einerseits zu einer validen Datenbasis für die Angebotserstellung, andererseits aber auch zu einer erhöhten Transparenz der Prozesse. Daraus resultiert ein weiterer Benefit: die Identifikation von Verschwendung. So ergaben sich während des Projekts Impulse wie z. B. das Vermeiden von Mehrfachhandling oder eine ablaufgerechte Anordnung der Bauteile, Hilfsmittel, Vorrichtungen und Werkzeuge. Darüber hinaus wurden Gestaltungspotenziale bei der Materialbereitstellung am Arbeitsplatz aufgezeigt.

Prozesszeitkatalog für logistische Tätigkeiten

Ein Projekt bei DB Schenker hatte zum Ziel, einen eigens auf das Unternehmen angepassten Prozesszeitenkatalog anzufertigen und die Prozesszeiten zu standardisieren. So entstand eine valide Datenbasis, mit der bereits in der Planung angesetzt, also prospektiv vorgegangen werden kann. Auf der Grundlage der bereits bei DB Schenker bestehenden

MTM-Logistikdaten und Zeitbausteinen wurde der Fokus auf die Prozesse im Lager – von Wareneingang bis Warenausgang – gelegt. Das Ergebnis waren prozessneutrale Zeitbausteine, die je nach Aggregationsgrad entweder für die Verbesserung der Prozesse oder für die Planung und Kalkulation eingesetzt werden. Durch den entwickelten Prozesszeitenkatalog ist es gelungen, schneller und exakter zu arbeiten – sowohl in der Analyse als auch in der Planung. Dies führt langfristig zu höherer Planungs- und Investitionssicherheit.

Preis- und Ressourcenkalkulation

Die Standardisierung der Preiskalkulation stand im Mittelpunkt eines Projektes bei TechnoCargo Logistik, einem Logistik-Dienstleister der Vaillant Group. Die Kostenstruktur war vor Projektstart per Open-Book-Methode gemeinsam mit Mitarbeitenden der Vaillant Group festgelegt worden. Die Preise spiegelten jedoch nicht den spezifischen Aufwand für Personal und Ausrüstung in den einzelnen Bereichen wider. Mit Start des Projektes wurden alle Prozesse vom Wareneingang der verschiedenen Heiz-, Lüftungs- sowie Klimageräte und Zubehör bzw. Ersatzteile über den Warenausgang bis zur Ersatzteilproduktion und dem Controlling mit MTM analysiert und dokumentiert. Darauf aufbauend wurde eine neue Logik für die Preiskalkulation entwickelt. Mit dem neuen Modell für die Prozess- und Aufwandsberechnung wurde die Kapazitätsplanung und Kostenprognose auf ein neues Qualitätsniveau gehoben. Ein weiteres positives Resultat war ein besseres Prozessverständnis und eine umfassende Identifikation mit Einsparpotenzialen. Durch den permanenten Preisvergleich entlang der Supply Chain ist es möglich, prozessgenau nachzuweisen, warum wie viel pro Paket oder Palette bezahlt werden muss.

Das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-LOG® kann erheblich zur Gestaltung und Verbesserung logistischer Prozesse beitragen. Durch die präzise Bewertung und Planung von Arbeitsabläufen können Unternehmen ihre Prozesse optimieren. Dies gilt für verschiedene Anwendungsbereiche wie Ersatzteillogistik, Kontraktlogistik, Tenderkalkulation und Prozesszeitkataloge. Um die Anwendung von MTM in der Logistik weiter zu erleichtern, werden MTM-Referenzprozesse entwickelt, die standardisierte Abläufe abbilden und eine schnellere Bewertung ermöglichen. Die Integration von MTM in logistische Prozesse zeigt somit einen klaren Weg zur Optimierung von Abläufen und zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit auf.

2.2.5 Ausblick MTM Referenzprozesse Logistik

Um MTM für die Bewertung logistischer Fragestellungen noch einfacher und schneller anwenden zu können, eignen sich die sogenannten MTM-Referenzprozesse Logistik (MTM-RPL's), die hier kurz erläutert werden.

Die Referenzprozesse beschreiben hochaggregierte Standards für den Wareneingang (z. B. Entladen LKW), die Einlagerung von Ladungseinheiten, Tätigkeiten an Supermärkten und das Kommissionieren (beispielsweise Bestücken Routenzug), Tätigkeiten des Packens bzw. Umpackens, die Bandversorgung durch Routenzüge und Materialrückführung

sowie für den Warenausgang (z. B. Beladen LKW von Sammelplatz mit Ganzladungsträgern). Sie basieren auf MTM-UAS® bzw. den MTM-Logistikdaten und repräsentieren somit standardisierte Referenzabläufe, die mit den zugehörigen Mengengerüsten kombiniert werden. Damit sind die Neutralität und Seriosität der Ergebnisse ausreichend gesichert.

Die Bewertung von Logistikprozessen wird deshalb weiter beschleunigt und vereinfacht, da – im Gegensatz zu den MTM-Logistikdaten – kaum noch MTM-Wissen bzw. eine MTM-Ausbildung für die Anwendung dieses Konzepts erforderlich ist. Erreicht wird die vereinfachte Anwendung, indem nur noch Prozesseinflussgrößen (Entfernungen/Fahr- und Gehwege), (technologische) Variablen (Durchschnittsgeschwindigkeiten) und Parameter (Mengen bzw. Transportgewichte, Ladungseinheiten) abgefragt werden und zur Kalkulation von Zeit und ergonomischen Belastungen mit den Referenzprozessen kombiniert werden. Dadurch kann sehr flexibel auf kurzfristige Prozessänderungen, wie eine geringere / höhere Menge, reagiert, der Personalbedarf tagesaktuell ermittelt und auch Hinweise auf Verbesserungspotenziale ausgewiesen werden.

Allgemein beschreiben die Referenzprozesse den Warenumschlag vom Wareneingang, über die Ein- und Auslagerung, die Kommissionierung, die Transporte bis hin zum Warenausgang – oder anders formuliert: die gesamte Intralogistik im Werk oder im Lager.

Bei der Gestaltung von Arbeitsprozessen steht neben der Steigerung der Produktivität auch die Berücksichtigung ergonomischer Aspekte im Fokus.

2.3 Ergonomische Arbeitsgestaltung mit EAWS®

Verbindungen zwischen Ergonomie und Methodengestaltung mit MTM bestehen insbesondere in den Bereichen der Gestaltung, Anordnung und Dimensionierung der Teile, des Arbeitsbereiches, des Arbeitsplatzes und weiterer Elemente, die direkten Einfluss auf die Arbeitsabläufe haben.

MTM, insbesondere die MTM-Prozessbausteinsysteme MTM-1® und MTM-HWD® mit der größten Anzahl an zeitrelevanten Einflussgrößen, unterstützen die Identifizierung von Wertschöpfung und Verschwendung und führen so zu produkt- und prozessoptimierenden Denk- und Gestaltungsansätzen.³² Ein größtenteils verschwendungsfreier Arbeitsprozess mit einer niedrigen Vorgabezeit (Sollzeit) ist ein Indiz für einen gut gestalteten Prozess. Die Prozessgestaltung wird dabei durch das Aufzeigen von Einflussgrößen – beginnend bei der Gestaltung des Produktes durch beispielsweise ein vom Konstrukteur geschaffenes vereinfachtes Fügen, über die Gestaltung des Arbeitsplatzes durch Reduktion von Bewegungslängen bis hin zur Gestaltung der Logistik durch Verbesserung von Greifbedingungen bei der Teileentnahme – gefördert bzw. erleichtert.³³

³² vgl. MTMA, 2019a

³³ vgl. Kuhläng, 2018

Eine hohe ergonomiegerechte Gestaltungsgüte ist dabei Voraussetzung für dauerhaft fehlerfreie und effiziente Arbeit. So gehört die bewusste Gestaltung von beidhändiger Arbeit und die Vermeidung von unnötiger biomechanischer Belastung und notwendigen Belastungswechseln untrennbar zu einer guten Arbeitsgestaltung. Ein optimales Layout wird bereits durch die Vermeidung unnötiger Laufwege und durch eine bessere Teileanordnung sowie durch die Vermeidung von unnötiger Belastung, beispielsweise durch zusätzliches Bücken, ermöglicht.³⁴

Zusammenfassend kann die ganzheitliche Gestaltung menschlicher Arbeit als Anspruch und Herausforderung für die Arbeitswirtschaft gesehen werden.³⁵ Eine wesentliche Grundlage hierzu ist die Ergonomiebewertung mit EAWS® und weiterführend das neueste MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD®.³⁶

Das EAWS® ermöglicht es, ergonomische Defizite zu identifizieren (nicht nur in bestehenden Arbeitssystemen, sondern auch bereits in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses) und so gesundheitliche Risiken zu minimieren. Es ist das einzige Verfahren, das dazu unterschiedliche Belastungsarten erfasst und zu einer Gesamtbelastung zusammenfasst. Die Risikobereiche Körperhaltung, Aktionskräfte und Lastenhandhabung beschreiben die Belastung des Gesamtkörpers. Zusätzlich bewertet das EAWS® die Belastung der oberen Extremitäten durch Tätigkeiten mit hoher Wiederholhäufigkeit.³⁷ Diese Belastungsarten werden bei EAWS® in fünf Sektionen erfasst und bewertet (s. Abbildung 10).

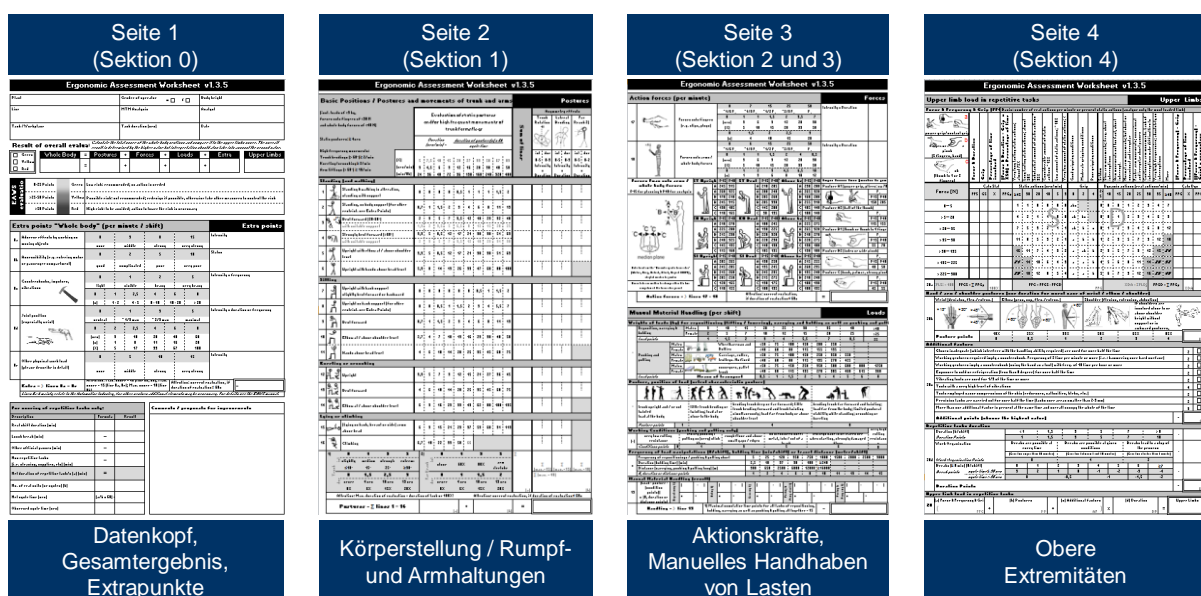


Abbildung 10: EAWS® Worksheet³⁸

³⁴ vgl. Kuhlang, 2018

³⁵ vgl. Schlick et al., 2010

³⁶ vgl. Kuhlang, 2018

³⁷ vgl. Lavatelli et al., 2012; Schaub et al., 2012

³⁸ vgl. DMTMV, 2014

Die Bewertung beginnt mit der Erfassung von generellen und organisatorischen Daten (z. B. Taktzeit, Analyst, Datum der Analyse, bewerteter Arbeitsplatz). In Sektion 0 – *Extrapunkte* – erfolgt die Bewertung von Extrapunkten, die beispielsweise für sich bewegende Objekte, für schlechte Zugänglichkeit des Arbeitsplatzes oder für Rückschläge, Schwingungen oder Impulse vergeben werden. In Sektion 1 – *Körperhaltungen und Körperbewegungen* – wird die Belastungshöhe durch die Art der Körperhaltung (Stehen, Sitzen, Hocken) in Kombination mit der Dauer (auf Basis der Taktzeit) berücksichtigt. In Sektion 2 – *Aktionskräfte* – wird die Belastungshöhe in Abhängigkeit von der Art der Kraft, der Greifart bzw. der Körperstellung und der Krafrichtung nach spezifischen Regeln ermittelt. Die Belastungsdauer bzw. -häufigkeit (auf Basis der Taktzeit) wird auch hier beachtet. Bei der Sektion 3 – *Manuelle Lastenhandhabung* – ist die Belastungshöhe abhängig vom Gewicht der zu handhabenden Last sowie der Körperhaltung während der Handhabung. Sie ist zudem teilweise von weiteren Einflussgrößen wie beispielsweise der Dauer beim Halten oder der Distanz beim Ziehen oder Schieben abhängig. Die Belastungsdauer wird hierbei auf Basis der Schichtdauer berechnet. In Sektion 4 – *Belastung oberer Extremität durch (kurz-)zyklische repetitive Tätigkeiten* – wird die Belastungsintensität durch Berücksichtigung des Kraftniveaus, der Greifart, ungünstiger Gelenkstellungen und eventueller Zusatzfaktoren ermittelt. Die Belastungsdauer ergibt sich einerseits aus der Frequenz der Bewegungen und andererseits aus der Schichtdauer in Kombination mit der Arbeitsorganisation.³⁹

Zur Bestimmung der physischen, respektive der biomechanischen Belastung bei einer Tätigkeit sind die beiden wichtigsten Faktoren die Dauer bzw. die Häufigkeit der Belastung sowie die Höhe bzw. Intensität der Belastung. Der EAWS®-Index für biomechanische Belastung – der „Belastungsindex“ (R) – ergibt sich dann aus dem Produkt von „Belastungshöhe“ (Intensität I) und „Belastungsdauer“ (D). Die EAWS®-Analyse ermittelt dabei für jeden Sektionsbereich (Gesamtkörper und obere Extremitäten) einen Punktwert, der nach dem Ampelschema (grün, gelb, rot) gemäß Richtlinie 2006/42/EG bewertet wird.⁴⁰

Die ermittelte Belastung aus den Sektionen 0 bis 3 wird dann dem Punktwert für den Gesamtkörper und jene der Sektion 4 dem Punktwert für die oberen Extremitäten zugeordnet. Somit ergibt sich durch Belastungssuperposition das Ergebnis zum einen als Punktwert und zum anderen als Farbe des Ampelschemas.

Ein wichtiges Ziel bei der ergonomiegerechten Arbeitsgestaltung ist die ganzheitliche Gestaltung in allen Phasen des Produktentstehungsprozesses. Die Anwendung von EAWS® erlaubt es, ergonomische Defizite bereits in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses, der Konstruktion und Planung zu erkennen und so gesundheitliche Risiken von vornherein zu vermeiden. Es eröffnet zudem die Möglichkeit, die Arbeitsgestaltung noch stärker auf den Menschen auszurichten, da prozess- und arbeitssystemrelevante Einflüsse systematisch erfasst und ausgewertet werden. Es liefert durch die normierte

³⁹ vgl. Kuhlmann, 2017

⁴⁰ vgl. Schaub et al., 2012

objektive Einschätzung konkrete Ansatzpunkte für Produkt- und Prozessverbesserungen.⁴¹

Durch die Verbindung des MTM-Grundsystems (MTM-1®) mit der Ergonomiebewertung ist das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD® entstanden. Es erlaubt Arbeitsabläufe sowohl zeitlich als auch ergonomisch zu beschreiben und zu bewerten.⁴² Die Anwendung von Methoden wie EAWS® und MTM-HWD® erlaubt es somit, Arbeitsplätze – einschließlich Basisarbeitsplätze – ergonomisch gut zu gestalten.

2.4 Zeitliche und ergonomische Bewertung mit Human Work Design

Mit dem MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD® (Human Work Design) existiert ein innovativer Ansatz, der beschreibt, wie Arbeitsablauf, Zeit und Ergonomie „untrennbar“ miteinander verbunden werden können.

Die Namensgebung erfolgte aus dem Leitgedanken, den Menschen stärker in den Mittelpunkt der Planung und der Gestaltung von Arbeit zu rücken. Einem humanorientierten Ansatz, der zum einen den Erfordernissen eines aktuellen Produktivitätsmanagements in Zeiten von Digitalisierung gerecht wird, muss ebenso Rechnung getragen werden, wie dem Verständnis zur belastungsoptimalen Auslegung von Bewegungen und somit zum Erhalt und zur Förderung der menschlichen Leistungsfähigkeit. Eine ergonomiegerechte Arbeitsgestaltung kann heute nicht mehr nur die Reduktion physischer Belastungen zum Ziel haben, sondern muss in Zeiten des Demografischen Wandels einem belastungsfokussierten und mitarbeiterorientierten Ansatz genügen, der ein gesundes Arbeiten und Lernen über ein längeres Arbeitsleben ermöglicht. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund politischer Diskussionen und Bestrebungen, die Lebensarbeitszeit zu verlängern und damit an die durchschnittlich gestiegene Lebenserwartung anzupassen, zu sehen. MTM-HWD® kann – richtig angewendet – hierzu einen Beitrag leisten.

2.4.1 MTM-HWD®-Aktionen

Die MTM-Prozessbausteine der MTM-Prozessbausteinsysteme lassen sich nach ihrer Granularität in Hierarchieebenen einteilen. Die unterste Ebene bilden die Grundbewegungen (MTM-1®), darüber folgen die Bewegungsfolgen (z. B. MTM-HWD® und MTM-SD®), die Grundvorgänge (MTM-UAS® und MTM-MEK®) sowie weitere Ebenen (z. B. Standardvorgänge)⁴³. Die inhaltliche Zusammensetzung ergibt sich zum einen aus der Logik (inhaltliche Reihenfolge) und zum anderen aus den Prinzipien der Bausteinaggregation, sprich Art und Weise wie MTM-Prozessbausteine zusammengefasst werden. So besteht zum Beispiel eine Bewegungsfolge typischerweise aus einer Folge von bis zu drei

⁴¹ vgl. Kuhlmann et al., 2017

⁴² vgl. Finsterbusch, 2016

⁴³ vgl. hierzu Abbildung 3

Grundbewegungen.⁴⁴ Eine weitere Besonderheit ist, dass üblicherweise keine Zusammenfassung von Bewegungen des Hand-Arm-Systems mit allen Körperbewegungen erfolgt.

Bei MTM-HWD[®] erfolgt eine neue Art und Weise des Zusammenfassens. Die Grundbewegungen (z. B. Gehen, Beugen, Bücken) werden nicht als fester MTM-Prozessbaustein (Zeitwert), sondern als Einflussgröße mit einer definierten Skalierung berücksichtigt. Daraus folgt, dass der Begriff Bewegungsfolge, wie dieser für die MTM-Prozessbausteine von MTM-2[®] und MTM-SD[®] üblich ist, nicht verwendet werden konnte und somit der Begriff der MTM-HWD[®]-Aktionen geboren wurde.

Ein weiteres Merkmal der MTM-HWD[®]-Aktionen ist deren englische Benennung und damit einhergehend deren neue Begriffswelt. In der Nomenklatur der MTM-Prozessbausteine ist der Begriff PLATZIEREN eindeutig definiert. Er kommt in den MTM-Prozessbausteinsystemen MTM-2[®], MTM-SD[®] sowie MTM-UAS[®] vor und umfasst mindestens die Grundbewegungen Bringen und Fügen. Die englischsprachige Namensgebung unterscheidet sich jedoch (MTM-2[®]: *PUT*, MTM-SD[®] und MTM-UAS[®]: *PLACE*). Das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-HWD[®] verfügt ebenfalls über einen Prozessbaustein „Platzieren“ jedoch umfasst dieser neben dem Bringen und Fügen auch das Loslassen sowie mögliche Körperbewegungen. Somit trägt dieser MTM-HWD[®]-Prozessbaustein nicht denselben Namen, sondern erhielt die Bezeichnung *DEPOSIT*. Abbildung 11 zeigt eine Übersicht der MTM-HWD[®]-Aktionen.

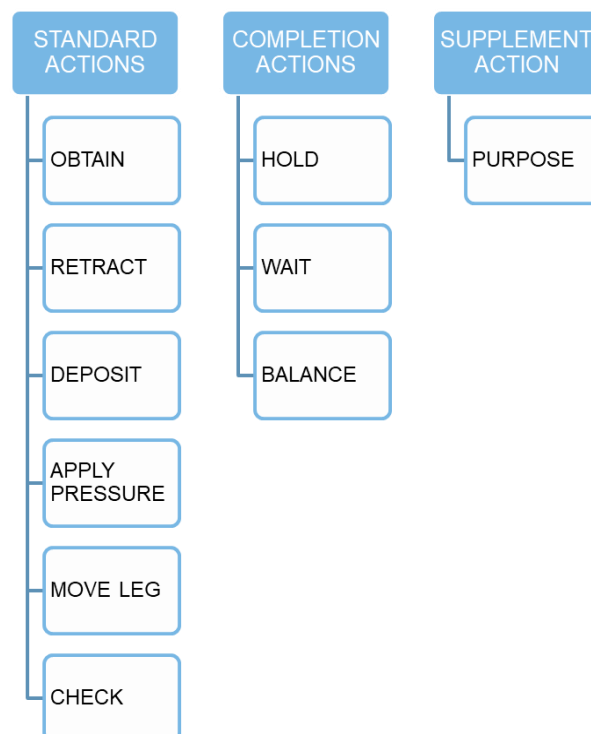


Abbildung 11: Die Prozessbausteine von MTM-HWD[®] – Die MTM-HWD[®]-Aktionen⁴⁵

⁴⁴ vgl. Bokranz & Landau, 2012

⁴⁵ vgl. Finsterbusch, 2015

DEPOSIT ist eine der sogenannten MTM-HWD®-Standard-Actions (*OBTAIN, DEPOSIT, RETRACT, APPLY PRESSURE, CHECK* und *MOVE LEG*). Mit diesen können alle zeitbestimmenden Bewegungen des menschlichen Arbeitsablaufanteils, wie in den bisherigen MTM-Prozessbausteinsystemen auch, beschrieben werden. Die bei bisherigen MTM-Prozessbausteinsystemen nicht vorkommenden „Vervollständigungsaktionen“ (*Completion-Actions*) ermöglichen erstmals eine vollständige (100 %ige) Beschreibung eines Arbeitstaktes bzw. -zyklus aus Sicht des Menschen, so wie dies auch bei der Bewertung physischer Belastungen berücksichtigt wird und werden muss. Hervorzuheben sind hier die MTM-Prozessbausteine *HOLD* und *WAIT*, mit denen zunächst einmal die Beschreibung des Menschen während zeitbestimmender Arbeit (Prozesszeit) von Betriebsmitteln erfolgt, sowie der Prozessbaustein *BALANCE*, mit dem der Zeitanteil der Taktausgleichszeit beschrieben wird.

Aus diesem Sachverhalt lässt sich für die MTM-Lehre ein weiteres Novum ableiten. Erstmals wird mit einem MTM-Prozessbausteinsystem nicht mehr nur die Tätigkeitszeit (t_t) eines Arbeitsablaufes beschrieben. Durch die Zeitanteile der *Completion-Actions* wird die vollständige Grundzeit (t_g) beschrieben. Die Supplement-Action *PURPOSE* ist eine Aktion, die genutzt wird, wenn die zugrundeliegende Zeit für eine Bewegungsfolge, einen Grundvorgang oder einen Arbeitsablauf mit einem anderen MTM-System, in einer anderen Beschreibungsform oder einer Ergänzungstechnik (z. B. MTM-Sichtprüfen, Zeitaufnahme, Vergleichen und Schätzen) erhoben wurde. Diese Aktion kommt im frühen Industrialisierungsprozess eines Produktes und bei der Beschreibung spezieller Arbeitsablaufmodellierungen zum Tragen.

Jeder MTM-HWD®-Aktion sind, in Abhängigkeit von deren Definition (Beginn, Inhalt, Ende), Einflussgrößen und Normzeitwerte zugeordnet. Die Anwendung dieser Aktionen führt zur Erstellung von Arbeitsablaufmodellen (Beschreibungen). Diese Ablaufbeschreibung ist somit das primäre Ergebnis einer MTM-HWD®-Anwendung. Darauffolgend, teilweise auch immanent, entstehen weitere sekundäre Ergebnisse. Diese entstehen aufgrund von Algorithmen (Zeit-Bewertung mittels des Zeitgliederungsschemas, eHPV-Bewertung, EAWS®-Bewertung). Das Besondere dabei ist, dass eine Einflussgröße zur Ermittlung mehrerer Ergebnisgrößen genutzt wird. Der jeweilige Algorithmus bestimmt, welche Eingangsparameter aus der Beschreibung für die Berechnung der Ergebnisgröße(n) benötigt werden.

Dies sei an der Einflussgröße Gewicht verdeutlicht, die zum einen die Sollzeit und zum anderen den Belastungspunktwert beeinflusst. Darüber hinaus sind weitere Einflussgrößen (z. B. die Kopfhaltung) integriert worden, die für eine umfassende Beschreibung des Menschen benötigt werden, jedoch von den derzeitigen Ergonomiebewertungsverfahren (z. B. EAWS®) noch nicht berücksichtigt werden. Prozessbausteine des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-HWD® sind so aufgebaut, dass zukünftig Einflussgrößen ergänzt werden können.

Zusammenfassend liefert eine MTM-HWD®-Analyse gleichzeitig mindestens drei Ergebnisgrößen:

- eine vollumfängliche Arbeitsablaufbeschreibung und die ergonomisch-anthropometrischen Parameter,
- eine Sollzeit und
- einen Belastungspunktwert in Verbindung mit einem Bewertungsverfahren für physische Belastungen.

Somit entstehen mit MTM-HWD® umfassende Modelle menschlicher Arbeitsabläufe.

2.4.2 Kodierung/Piktogramme

Eine Neuerung bilden zudem die Piktogramme des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-HWD®. Jeder Skalierungsstufe einer Einflussgröße ist ein entsprechendes Bild zugeordnet (s. Abbildung 12). Somit entfällt die bisherige Kodierung, welche sich in der Vergangenheit nur dem geschulten Anwender erschloss, und öffnet das MTM-Prozessbausteinsystem für einen deutlich größeren Anwenderkreis. Bereits Gilbreth nutzte Symbole, die nach ihm benannten Therbligs, mit denen er Beschreibungen menschlicher Bewegungen vornahm. Bei der Erstellung der Piktogramme, wurde darauf geachtet, dass:

- die Piktogramme möglichst geschlechtsneutral wirken,
- die dargestellte Person bekleidet ist,
- das zu beschreibende Detail im Vordergrund steht und
- eine Durchgängigkeit hinsichtlich des Designs erkennbar ist (gleiche Farben, gleiche Schraffierungen)



Abbildung 12: Einflussgröße Grundstellung – Skalierungen stehend, sitzend, hockend, kniend auf einem Knie, kniend auf beiden Knien, liegend

2.4.3 MTM-HWD®-Beschreibungsformular

Die klassische Erstellung von MTM-Analysen (Papier und Bleistift) erfolgt mittels einer Datenkarte und den Analyse-Formularen (001-005F). Bei MTM-HWD® ist dies ebenfalls möglich. Hierbei erfolgt die Beschreibung des Arbeitsablaufes auf einem Vordruck, der in drei verschiedenen Ausführungen zur Verfügung steht (00A, 00M, 00E).

Eine MTM-HWD® Analyse ist aufgebaut wie die Texte in einem Buch. Sie wird Zeile für Zeile von links nach rechts gelesen. Wesentliche Bestandteile der drei Beschreibungsformulare sind die Starthaltung, die Analysezeilen (Ablaufbeschreibung) und die Endhaltung. In der Start- bzw. Endhaltung wird die Körperhaltung zu Beginn und zum Ende des jeweiligen Arbeitsablaufes angegeben. Die Kennzeichnung erfolgt durch das Markieren eines Piktogramms je Einflussgröße, sofern die Haltung nicht dem Grundwert entspricht. Für jede Einflussgröße wurde ein Grundwert ermittelt, der als farblich hinterlegtes Piktogramm sichtbar ist. In den Analysezeilen erfolgt die Beschreibung des Arbeitsablaufes (der Arbeitsmethode). Eine Analysezeile umfasst allgemeine Informationen zum Objekt, zu den Händen (links, rechts) und zur Aktion, die ausgeführt wird. Die Einflussgrößen der Aktionen werden mit Hilfe von Piktogrammen dargestellt. Auf diese Weise werden Bewegungsausführung und eingenommene Körperhaltungen beschrieben. In Abhängigkeit des gewählten Piktogramms erfolgen die Ergänzung der Zeitwerte und deren Verrechnung zur Ermittlung der Sollzeit.

2.4.4 Funktionsweise von MTM-HWD® – Ein praktisches Beispiel

Nachfolgend wird MTM-HWD® an einem praktischen Beispiel erklärt, indem zuerst auf die Beschreibung und dann auf die Bewertung eingegangen wird.

Dieses Beispiel nutzt für die Erläuterung von MTM-HWD® einen Montagearbeitsplatz, an dem ein einzelner Mitarbeiter Pumpen zusammenbaut. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die erste Tätigkeit dieser Montage – das Aufnehmen und Platzieren des Pumpengehäuses. Die anschließenden Schritte der Montage sind nicht in diesem Beispiel enthalten.

Abbildung 13 zeigt zunächst den Arbeitsplatz in der Draufsicht. Der Mitarbeiter beginnt die untersuchte Tätigkeit in aufrecht stehender Position (s. Abbildung 14, Ausgangsposition). Zuerst dreht er sich nach hinten und nimmt ein Gehäuse vom Materialwagen auf (s. Abbildung 14, zum Gehäuse). Danach platziert er das Gehäuse in einer Vorrichtung am Montageplatz (s. Abbildung 14, Gehäuse zur Vorrichtung).

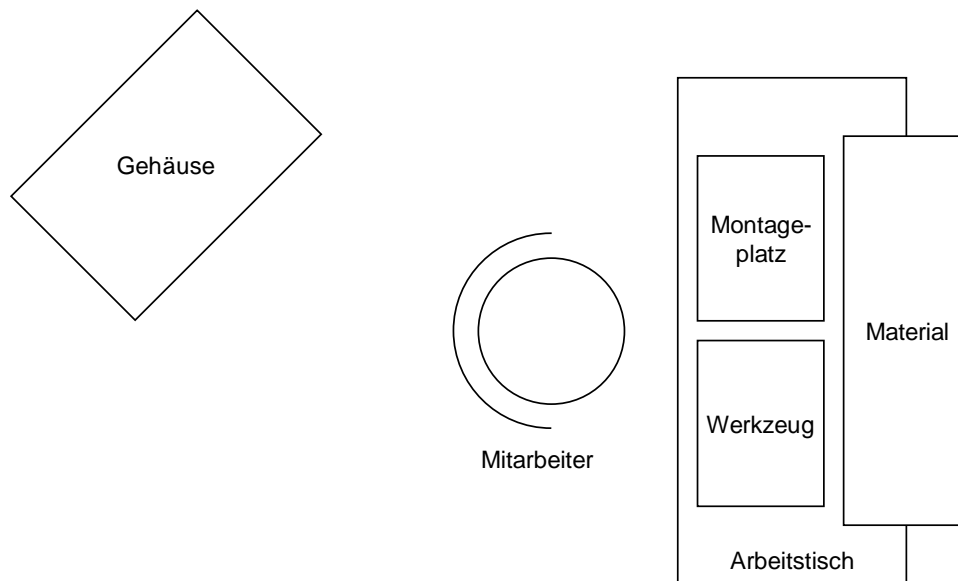


Abbildung 13: Arbeitsplatzlayout



Abbildung 14: Darstellung der Tätigkeit

2.4.5 Beschreibung von Tätigkeiten mit MTM-HWD®

Die beispielhafte Montagetätigkeit wird nachfolgend mit MTM-HWD® beschrieben. Es ist hierbei zu erwähnen, dass im Rahmen des betrachteten Beispiels nicht auf alle Einflussgrößen der beschriebenen Aktionen eingegangen wird.

Prinzipiell folgt in MTM-HWD® nach der Festlegung der Aktionen, der beteiligten Hände und der Objekte die zeilenweise Analyse der einzelnen Bewegungen bzw. Tätigkeiten indem die Einflussgrößen bzw. deren Ausprägungen beginnend bei den unteren Extremitäten über Rumpf, Kopf/Nacken, Arme, Gewichte bzw. Kräfte bis zur Hand erfasst und durch die Auswahl der korrespondierenden Piktogramme dokumentiert werden.

Aktionen und Objekte

Bei der Durchführung der Analyse werden zunächst die Bewegungen bzw. Tätigkeiten – die sogenannten Aktionen – erfasst, die der Mitarbeiter mit seinen Extremitäten durchführt und welche Objekte er dabei verwendet (s. Tabelle 2). Im benannten Beispiel beginnt der Arbeitsablauf mit einer Bewegung zum Materialwagen, um anschließend mit

beiden Händen gleichzeitig das Pumpengehäuse aufzunehmen (*Obtain*). Danach transportiert der Mitarbeiter das Gehäuse zum Montageplatz und platziert es dort (*Deposit*). Die Klammern in der zweiten Spalte geben dabei an, welche Aktionen gleichzeitig stattfinden. So verwendet der Mitarbeiter in dem Beispiel stets beide Hände.

Tabelle 2: Objekte und Aktionen

Nr.		Bezeichnung	Objekt	Aktion	aktive Extremität	passive Extremität
1		Ausgangsposition	-	-		-
2	⌈	zum Gehäuse	Teil	OBTAIN	linke Hand	keine
3		zum Gehäuse	Teil	OBTAIN	rechte Hand	keine
4	⌈	Gehäuse vor Körper	Teil	DEPOSIT	linke Hand	keine
5		Gehäuse vor Körper	Teil	DEPOSIT	rechte Hand	keine
6	⌈	Aufrichten	Teil	DEPOSIT	linke Hand	keine
7		Aufrichten	Teil	DEPOSIT	rechte Hand	keine
8	⌈	Gehäuse in Vorrichtung	Teil	DEPOSIT	linke Hand	keine
9		Gehäuse in Vorrichtung	Teil	DEPOSIT	rechte Hand	keine
10		Endhaltung	-	-	-	-

Weitere mögliche Aktionen wären beispielsweise die Prüfung von Bauteilen (*Check*) oder das Trennen zweier Bauteile (*Retract*). Weitere Objekte, die ausgewählt werden können, sind Werkzeuge, Stellteile oder Transportmittel. Außerdem können auch Tätigkeiten analysiert werden, bei denen der Mitarbeiter nur eine Hand aktiv nutzt oder Tätigkeiten mit dem Fuß ausübt.













Eine Analysenzeile (horizontal) in MTM-HWD® repräsentiert jeweils eine Aktion und somit die Beschreibung einer Bewegung. Die einzelnen Bewegungsanalysen ergeben zusammen (vertikal) die Beschreibung des Arbeitsablaufs – also der Arbeitsmethode.

Für jede Aktion werden die Einflussgrößen und ihre Ausprägungen anhand der entsprechenden Piktogramme erfasst. Die folgenden Ausführungen erklären dies am Beispiel der Analysezeilen 1, 3 und 9 (s. Tabelle 3).

Einflussgrößen – untere Extremitäten

Die MTM-HWD®-Analyse beginnt mit der Erfassung der Starthaltung der beobachteten Person. Beginnt der Ablauf mit der Aktion „Obtain“, so sind bei dieser die Einflussgrößen der Kategorie „untere Extremitäten“ zu beschreiben. Dies umfasst hierbei insbesondere die Einflussgröße Weg, Ausführungsbedingungen sowie die Haltung der Beine (s. Tabelle 3). Die Einflussgröße Stabilität wird mit der Ausprägung „stabil“ beschrieben.

Tabelle 3: Einflussgrößen – untere Extremitäten

Nr.	Weg	Ausführungsbedingungen	Grundstellung	Beinhaltung (links)	Beinhaltung (rechts)
1	-	 unbehindert	 Stehen	 gestreckt	 gestreckt
3	¹ Schritt 1 Seitenschritt	 unbehindert	 Stehen	 gestreckt	 gestreckt
9	Gehen 2 m Gehen: 2 Meter	 unbehindert	 Stehen	 gestreckt	 gestreckt

Die Einflussgröße *Weg* beschreibt die zurückgelegte Strecke des Mitarbeiters, bevor er die Arme oder Hände verwendet. Bei jeder Ausprägung (Gehen, Stufen steigen, Klettern und Kriechen) gibt der Anwender die Anzahl der zurückgelegten Meter, Schritte oder Sprossen an. In dem dargestellten Beispiel geht der Mitarbeiter zunächst einen Schritt zur Seite, um zu dem Gehäuse zu gelangen, und anschließend zwei Meter zum Arbeitstisch.










Die Einflussgröße *Ausführungsbedingungen* beschreibt die Bodenbeschaffenheit beim Zurücklegen des Weges und gibt Hinweise auf den erforderlichen Kontrollaufwand beim Gehen. In dem Montagebeispiel herrschen gute Bedingungen vor, da der Boden eben ist und keine Hindernisse im Weg stehen.

Die Einflussgröße *Grundstellung* gibt wieder, in welcher Stellung sich der Körper am Ende einer Bewegung befindet, also ob der Mitarbeiter steht, sitzt, hockt oder kniet. Die Einflussgröße *Beinhaltung* gibt dann für jedes Bein an, ob es gestreckt oder gebeugt ist. Bei der Beispieltätigkeit steht der Mitarbeiter in der Anfangsposition und am Ende jeder Bewegung mit gestreckten Beinen.

Einflussgrößen – Rumpf und Kopf/Nacken

Im nächsten Analyseschritt widmet sich MTM-HWD® den Haltungen des Rumpfes. Dazu gehören die Einflussgrößen Rumpfbeugung, -drehung und -neigung (s. Tabelle 4) sowie die Kopfhaltung, auf die hier nicht explizit eingegangen wird.

Tabelle 4: Einflussgrößen – Rumpf und Kopf/Nacken

Nr.	Rumpfbeugung	Rumpfdrehung	Rumpfneigung
1	 aufrecht	 keine Rumpfdrehung	 keine Rumpfneigung
3	 stark nach vorne gebeugt	 starke Körperhilfe	 keine Rumpfneigung
9	 aufrecht	 keine Rumpfdrehung	 keine Rumpfneigung













Die Einflussgrößen *Rumpfbeugung*, *-drehung* und *-neigung* beschreiben die Haltung des Oberkörpers am Ende einer Bewegung. So kann beispielsweise noch ein Gehen, ein Beugen oder eine seitliche Neigung des Oberkörpers erfolgen. Die *Rumpfbeugung* gibt an, wie

weit der Oberkörper nach vorn oder hinten gebeugt ist, die *Rumpfneigung*, wie stark er zur Seite geneigt ist und die *Rumpfdrehung*, wie sehr der Rumpf im Vergleich zur Hüfte eingedreht ist bzw. ob eine Körperdrehung unter Verwendung von einem oder zwei Füßen erfolgt. In dem dargestellten Beispiel ist der Körper des Mitarbeiters zunächst in der Grundstellung, das heißt der Rumpf ist nicht gebeugt, gedreht oder geneigt. Um das Gehäuse aufzunehmen, neigt und verdreht er den Rumpf dann stark, um ihn abschließend wieder in die Grundstellung zu bringen. Die Kopfhaltung wird analog beschrieben, indem *Kopfbeugung*, *-drehung* und *-neigung* erfasst werden.

Einflussgrößen – Arm und Gewicht/Kraft

Nach der Analyse der Haltung des Rumpfes folgt im nächsten Schritt die Betrachtung der Arme sowie der aufgebrauchten Kraft bzw. des getragenen Gewichts (s. Tabelle 5). In weiterer Folge wird hier der rechte Arm analysiert.

Tabelle 5: Einflussgrößen – Arm und Gewicht/Kraft

Nr.	Oberarmhaltung	Handposition	Armstreckung	Handhaltung	Gewicht / Kraft
1	 Winkel $0 < x < 20^\circ$	 unterhalb der Schulterhöhe	 Streckung $80\% < x$	 Neutralstellung	keine Kraft
3	 Winkel $x > 60^\circ$ oder $x < 0^\circ$	 unterhalb der Schulterhöhe	 Streckung $40\% < x < 80\%$	 Neutralstellung	keine Kraft
9	 Winkel $20^\circ < x < 60^\circ$	 unterhalb der Schulterhöhe	 Streckung $40\% < x < 80\%$	 Drehung zur Seite	Gewicht: 3,0 kg Gehäuse: 3 kg

Die Einflussgröße *Oberarmhaltung* beschreibt die Auslenkung des Armes nach vorne bzw. nach hinten oder zur Seite. Dabei wird die Auslenkung des Oberarms vom Oberkörper weg gemessen. In dem Beispiel lenkt der Mitarbeiter beim Aufnehmen (*Obtain*) des Gehäuses den rechten Oberarm stark aus. Beim Platzieren (*Deposit*) des Gehäuses in der Montagevorrichtung ist der Oberarm dann nicht mehr so stark ausgelenkt.

Die Einflussgröße *Handposition* gibt an, in welcher Höhe sich die Hand relativ zur Schulter befindet, also ob sie unter, auf oder über Schulterhöhe gehalten wird. Im Beispiel befindet sich die Hand immer unter Schulterhöhe.

Die Einflussgröße *Armstreckung* beschreibt die Entfernung der Hände zum Schultergelenk. Mögliche Ausprägungen sind nah, halbgestreckt und gestreckt. In der Ausgangsposition hält der Mitarbeiter den rechten Arm ausgestreckt. Bei den beiden Aktionen bringt er den Arm dann in die halbgestreckte Haltung.










Analog zur Rumpfhaltung (s. Tabelle 4) beschreibt die *Handhaltung*, ob das Handgelenk in Relation zum Unterarm verdreht, gebeugt oder geneigt ist. In der Ausgangsposition und beim Aufnehmen des Gehäuses befindet es sich in neutraler Stellung, beim Platzieren des Gehäuses muss der Mitarbeiter die rechte Hand jedoch zur Seite neigen.

Für die zeitliche und ergonomische Bewertung der Tätigkeit ist nicht nur die Haltung des Körpers und der Gliedmaßen relevant, sondern auch die Kraft, die in der Haltung aufgebracht werden muss. Die Einflussgröße *Gewicht / Kraft* beschreibt daher die Last des zu handhabenden Gegenstandes bzw. die Kraft, die aufgebracht werden muss. Im Beispiel bringt der Mitarbeiter keine Kraft auf, sondern nur Lastgewichte, wie beispielsweise beim Transport des Gehäuses (*Deposit*) zur Vorrichtung.

Einflussgrößen – Hand

Abschließend wird bei MTM-HWD® die Bewegung der Hand ermittelt. Dies umfasst insbesondere die zurückgelegte Entfernung der Hand bzw. des Arms. Weitere Einflussgrößen sind die Art der Bereitstellung, Platziergenauigkeit, Einbaulage, Fügebedingungen, Greifbewegung und Greifart (s. Tabelle 6). Die Einflussgröße Vibration kommt je nach Aktion vor und wird in diesem Beispiel durchgängig mit der Ausprägung „keine“ beschrieben.

Tabelle 6: Einflussgrößen - Hand

Nr.	Entfernungsbereich	Bereitstellung / Platziergenauigkeit + Einbaulage	Fügebedingungen	Greifbewegung + Greifart
1	-	-	-	 offene Hand ohne Objekt
3	 10	 vereinzelt, ortsveränderlich	-	  Umfassen + 4-Finger-Umfassen
9	 10	 enges Platzieren, mit Ausrichten	 Griffabstand Sichtbehinderung	 4-Finger-Umfassen

Die Einflussgröße *Entfernungsbereich* beschreibt die zurückgelegte Strecke des Handgelenks beim Aufnehmen oder Platzieren eines Objektes. Dabei stehen dem Anwender unterschiedliche Abstufungen von Entfernungen zur Verfügung. Im Beispiel bewegt der Mitarbeiter nach der Beugung und Drehung die Hand aus der Körperbewegung heraus zehn Zentimeter zum Gehäuse. Beim Platzieren des Gehäuses geht er zum Arbeitstisch und muss das Gehäuse dann über zehn Zentimeter zur Vorrichtung bewegen.

Die Einflussgröße *Bereitstellung* gibt die Anordnung bzw. Lage der zu greifenden Gegenstände wieder. In dem Beispiel sind die Gehäuse vereinzelt bereitgestellt, sie befinden sich nicht immer am exakt gleichen Ort.

Die Einflussgrößen *Platziergenauigkeit*, *Einbaulage* und *Fügebedingungen* beschreiben, wie genau Gegenstände platziert werden müssen, ob dabei auf Symmetrie geachtet werden muss und ob Form, Beschaffenheit oder Gewicht zusätzlichen Aufwand erforderlich machen. Beim Platzieren in der Vorrichtung muss der Mitarbeiter das Gehäuse beispielsweise eng mit leichtem Druck fügen, wofür ein Ausrichten des Gehäuses in der Vorrichtung notwendig ist. Erschwerend kommt hinzu, dass das Gehäuse die Sicht auf die Vorrichtung behindert und die Entfernung der Griffposition zur Fügestelle die Ausführung der Aufgabe beeinträchtigt.

Die Einflussgrößen *Greifbewegung* und *Greifart* beschreiben abschließend, welche Position die Finger einnehmen, um den Gegenstand unter Kontrolle zu bringen und zu halten. In der Ausgangsposition hat der Mitarbeiter die Finger der rechten Hand zunächst geöffnet. Um das Gehäuse aufzunehmen, führt er ein Umfassen durch und hält das Gehäuse dann mit einem Umfassen 4-Finger-Griff unter Kontrolle, den er bis zum Ende des Fügevorgangs beibehält.

2.4.6 Bewertung von Tätigkeiten mit MTM-HWD®

Nachdem alle Einflussgrößen zeilenweise erfasst worden sind, erfolgt automatisch die zeitliche Bewertung der Tätigkeiten. Tabelle 7 zeigt die zeitliche Bewertung für das dargestellte Beispiel. Es ergibt sich eine Zeitvorgabe von 53 TMU (ca. 1,9 Sekunden) für die Bewegung zum Gehäuse und von 89 TMU (ca. 4,6 Sekunden) für den Transport zur Montagevorrichtung. Der gesamte Vorgang unter Berücksichtigung aller Analysezeilen dauert 183 TMU.

Tabelle 7: Zeitliche Bewertung

Nr.	Untere Extremitäten	Rumpf + Kopf/Nacken	Arm + Gewicht/Kraft	Hand	Summe
1	-	-	-		
3	16 TMU	29 TMU	0 TMU	8 TMU	53 TMU
9	53 TMU	0 TMU	2 TMU	34 TMU	89 TMU

Gleichzeitig entsteht die sogenannte Ergonomiedeklaration (je Zeile und für den gesamten Arbeitsablauf) sozusagen automatisch „im Hintergrund“. Auf dieser Grundlage sowie durch Beziehung von organisatorischen Daten des Arbeitssystems (Zykluszeit, Schichtdauer, Pausenregime) erfolgt die Berechnung des Ergonomiepunktwerts durch eines der benannten Ergonomiebewertungsverfahren. Die MTM ASSOCIATION e. V. nutzt hierfür standardmäßig EAWS®.

2.4.7 MTM-HWD® bei Miele & Cie. KG

Ab April 2015 erfolgte eine erste Erprobungsphase an einer Montagelinie bei der Firma Miele & Cie. KG im Werk Gütersloh. „Vor allem zwei Dinge haben das Unternehmen bewogen, in dem Entwicklungsprojekt mitzuarbeiten. Zum einen versteht die Geschäftsleitung des familiengeführten Unternehmens Miele & Cie. KG die Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als zentrale Managementaufgabe. Zum anderen sieht sich das Unternehmen angesichts des demografischen Wandels vor der Herausforderung, auch mit älter werdenden Belegschaften produktiv bleiben zu können. Von der Anwendung

des MTM-Prozessbausteinsystems MTM-HWD® versprach sich die Geschäftsleitung aussagekräftige Hinweise, wie ergonomiegerechte Arbeitsgestaltung und Produktivitätsentwicklung in Einklang gebracht werden können.“⁴⁶

Bis zum Dezember 2017 entwickelte sich die Anwendung von MTM-HWD® hin zu einer großflächigen Pilotanwendung in der Serienmontage. Genau beobachtet wurden auch die Unterschiede zwischen den bisherigen Ergebnissen der MTM-UAS®- und EAWS®-Analysen. Der Vergleich der Analyseergebnisse hat gezeigt, dass die Werte unwesentlich voneinander abweichen.

In diesem Abschnitt wurde eine Einführung in das das MTM-HWD® (Human Work Design) Prozessbausteinsystem, das Arbeitsablauf, Zeit und Ergonomie miteinander verknüpft, gegeben. Dabei wurde die Bedeutung der menschenzentrierten Planung und Gestaltung von Arbeit in Zeiten des digitalen und demografischen Wandels hervorgehoben. Mit MTM-HWD®-Aktionen werden Bewegungen beschrieben, wobei Einflussgrößen flexibler berücksichtigt werden. Piktogramme auf dem Analyseformular erleichtern die Kodierung. In der Praxis wurde das MTM-Prozessbausteinsystem eingeführt und ermöglicht die Integration von Ergonomie und Produktivität.

Wie die bestehenden Methoden der Arbeitswirtschaft mit modernen digitalen Tools verbunden und dadurch ihre Anwendung verbessert werden kann, wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

⁴⁶ vgl. Graute, 2016

3 Digitale Arbeitsgestaltung mit MTMmotion®

Durch die zunehmende Digitalisierung in der Arbeitswirtschaft und verschiedene technologische und konzeptionelle Entwicklungen ist es zunehmend möglich, Analysen und Planungen digital zu unterstützen oder zu Teilen zu automatisieren.⁴⁷ Damit sind erhebliche Nutzeffekte für die Unternehmen verbunden. Insbesondere wird eine datenbasierte und qualitätsgesicherte Arbeitswirtschaft auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sowie für internationale Produktionsstandorte wesentlich erleichtert.

Digitalisierung betrifft dabei alle Funktionen im Unternehmen, auch die Arbeitswirtschaft. Sie befasst sich mit der Beschreibung und Analyse der Produktivität und Gesundheit der Beschäftigten in Unternehmen. Eine systematische Planung der Arbeitssysteme und -methoden ist und bleibt auch im Zeitalter der Digitalisierung der Schlüssel für exzellente Produktivität und menschengerechte Arbeitsbedingungen in industriellen Prozessen. Während eine detaillierte Planung oftmals hohen Aufwand verursacht, werden zukünftig mit Hilfe von digitalen Technologien und Tools menschliche Arbeitsprozesse aufwandsärmer und detaillierter geplant.⁴⁸

3.1 Simulationsanalysen

Die Verbindung zwischen der digitalen Welt und der realen menschlichen Arbeit entsteht u. a. durch Übersetzung von digital verfügbaren Informationen wie beispielsweise Bewegungsdaten aus Human Simulation-, Motion Capture- und VR-Systemen in korrekte MTM-Analysen. Diese Ableitung bzw. Abbildung in Form von Simulationsanalysen bildet somit einen Schlüssel für die belastbare Anwendung digitaler Planungswerkzeuge.

Simulationsanalysen beschreiben und bewerten den digital beschriebenen Bewegungsablauf (die Arbeitsweise). Mit anderen Worten: "What you see (simulate, capture) is what you get (describe)!" Eine Simulationsanalyse beschreibt somit Abläufe, die in der Realität bzw. dem späteren Arbeitsablauf so nicht stattfinden, wie durch die digitalen Tools erfasst oder dargestellt. Der Bezug zur menschlichen Arbeit (Leistung) wird für diese Arbeitsabläufe hergestellt, indem sie in Form einer MTM-Analyse beschrieben und bewertet werden. Somit wird der Bezug zur MTM-Normleistung hergestellt und auch das Gütesiegel „Approved by MTM ASSOCIATION“ vergeben. Simulationsanalysen werden durch eine formalisierte Freigabe von MTM- bzw. IE-Experten in Planungs- oder Ausführungsanalysen überführt. Dadurch wird der simulierte Bewegungsablauf bzw. die ausgeführte Arbeitsweise in eine bewusst festgelegte, standardisierte Arbeitsmethode überführt. Zu

⁴⁷ vgl. Benter & Neumann, 2023; Spitzhirn et al., 2022

⁴⁸ vgl. Kuhlmann, 2019a

beachten ist hierbei, dass diese Überführung in abgestimmte (!) Planungsanalysen bewusst geschehen muss.⁴⁹

Nachfolgend erfolgt zunächst eine Erläuterung über grundlegende Aspekte bei der Verarbeitung von Bewegungsdaten mit MTMmotion®. Ein konkretes Anwendungsbeispiel dient im Anschluss dazu, die Anwendung der MTMmotion®-Schnittstellendaten zu veranschaulichen. Den Kern dieses Kapitel bilden die Übersetzungen der Schnittstellendaten in valide MTM-UAS®- und MTM-HWD®-Analysen.⁵⁰

3.2 Technologien zur Verarbeitung von Bewegungsdaten mit MTM-motion®

Digitale Technologien finden zunehmend Einzug in alle Aspekte der Arbeitswelt. Im Bereich der Arbeitsgestaltung umfasst dies Technologien, die menschliche Bewegungsdaten generieren bzw. erfassen und anschließend weiterverarbeiten. Dazu gehören u. a. Human Simulation⁵¹, Virtual Reality⁵² und Motion Capture⁵³. Mit diesen Technologien kann menschliche Arbeit insbesondere dann zielgerichtet gestaltet werden, wenn die betrachteten Arbeitsvorgänge systematisch zeitlich und ergonomisch bewertet werden. Dafür eignen sich klassische Methoden der Arbeitsgestaltung wie MTM und EAWS®.

Der Softwarehersteller imk Industrial Competence hat beispielsweise eine Lösung zur Ableitung von MTM-HWD®-Analysen aus dem Simulationstool ema Work Designer entwickelt und in Zusammenarbeit mit der MTM ASSOCIATION e. V. evaluiert.⁵⁴ Neben imk sind jedoch auch weitere Technologiehersteller an Lösungen zur Ableitung von bewährten Methoden der Arbeitsgestaltung interessiert. Um zu gewährleisten, dass diese Lösungen valide, regelkonforme MTM-Analysen („approved by MTM ASSOCIATION“) liefern und alle Technologien gleichermaßen Zugang zu den MTM-Prozessbausteinsystemen haben, wurde MTMmotion® entwickelt. Abbildung 15 verdeutlicht diesen Ansatz.

⁴⁹ vgl. Kuhlang, 2019, S. 9-10; Kuhlang et al., 2020, S. 12

⁵⁰ vgl. Kuhlang et al., 2023

⁵¹ z. B.: ema Work Designer: vgl. imk, 2023; Fritzsche et al., 2019

⁵² vgl. LIVINGSOLIDS, 2023; halocline, 2023

⁵³ z. B.: XSens: vgl. Movella, 2023

⁵⁴ vgl. imk, 2023; Benter & Kuhlang, 2021

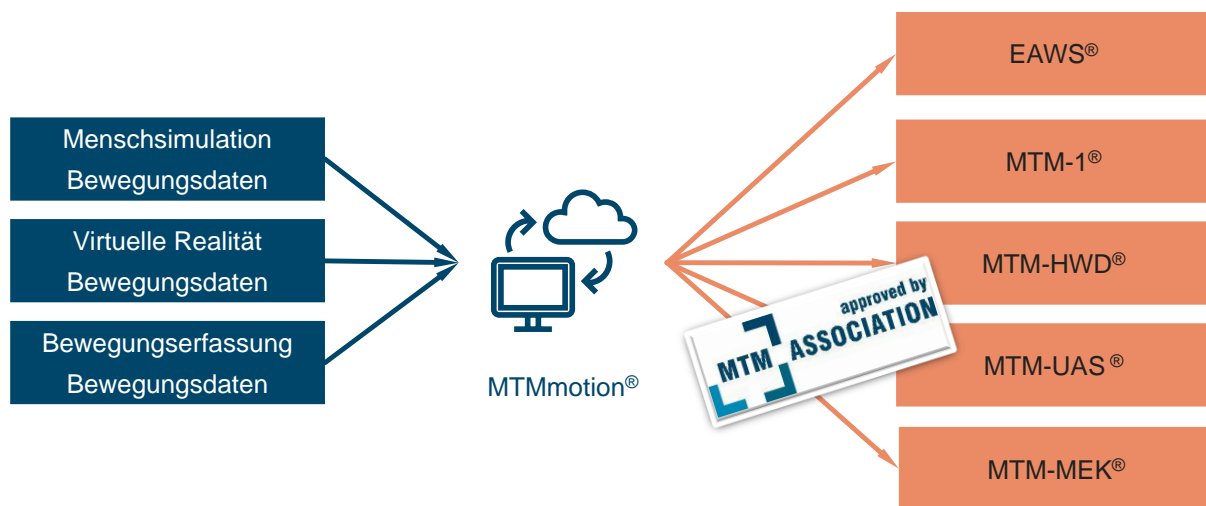


Abbildung 15: MTMmotion® – technologieunabhängige Übersetzung in MTM-Analysen

MTMmotion® wurde mit dem Ziel entwickelt, als Schnittstelle (für alle Technologien) zu fungieren, über die menschliche Bewegungsdaten in korrekte MTM-Analysen übersetzt werden. Durch diese Einbindung der MTM-Methode können die Technologieanwender zielgerichtet menschliche Arbeitsplätze analysieren und gestalten. Zudem dient es der Verbreitung der MTM-Methoden und stellt deren korrekte Anwendung sicher. Damit erfüllt es den satzungsgemäßen Auftrag der MTM ASSOCIATION e. V..

3.3 Anwendungsbeispiel

Um die Daten in der Schnittstelle und die Übersetzung in MTM-Analysen zu erklären, wird im Folgenden ein Beispielarbeitsplatz verwendet. In diesem Beispiel montiert eine Person ein Waschmaschinenmodul, das aus einem Komponententräger, zwei Pumpen, mehreren Schläuchen und Schrauben sowie anderen Kleinteilen besteht. Die Montagezeit für den gesamten Arbeitsablauf beträgt ca. zwei Minuten. Dieser Beitrag konzentriert sich auf den letzten Teil, die Befestigung der Pumpen mit Schrauben.⁵⁵

Die komplette Arbeitsstation inklusive aller notwendigen Prozessschritte wurde in der Virtual Reality (VR) Software von der Firma LIVING SOLIDS⁵⁶ modelliert. Diese VR-Lösung nutzt ein VR-Headset und handgesteuerte Controller. Um die Körperbewegungen aufzuzeichnen, verwendet sie zudem markerbasierte Kameras zur Bewegungserfassung.

Abbildung 16 zeigt mehrere Ansichten der Software, die während der Nutzung entstanden sind. Links unten ist die Testperson mit den VR-Komponenten zu sehen. Darüber ist die Draufsicht auf die Arbeitsstation dargestellt, während auf der rechten Seite die Sicht der Testperson gezeigt wird. Zu dem dargestellten Zeitpunkt wird eine Schraube mit einem elektrischen Stabschrauber (s. Abbildung 16, rechtes Bild) montiert.

⁵⁵ vgl. Benter & Neumann, 2023

⁵⁶ vgl. LIVING SOLIDS, 2023

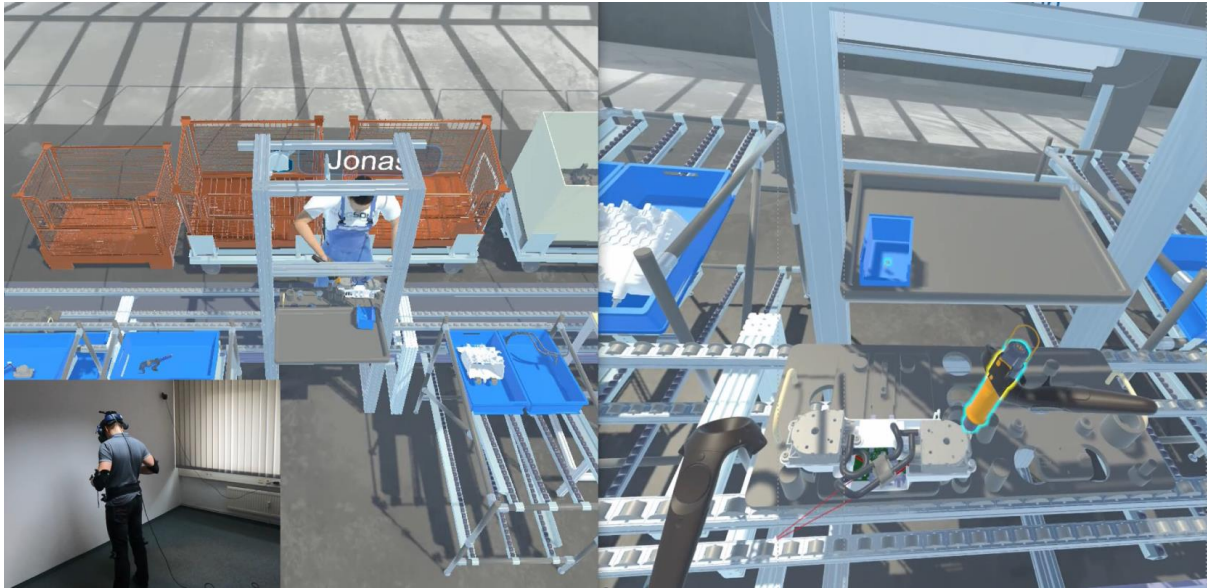


Abbildung 16: Ansichten im Virtual Reality Tool von LIVINGSOLIDS

3.4 Nutzung der MTMmotion®-Schnittstelle für die Übersetzung von VR-Bewegungsdaten

Um die von der VR-Software generierten Daten zu übersetzen, wird die MTMmotion®-Schnittstelle verwendet. Im Grunde kann sie als eine Art digitale Sprache zur Beschreibung menschlicher Arbeitsprozesse bezeichnet werden. Wenn valide Daten von der VR-Software an diese Schnittstelle geliefert werden, können sie anschließend von den MTMmotion®-Algorithmen in regelkonforme MTM-Analysen übersetzt werden (vgl. Abschnitt 3.6). Der Aufbau der Schnittstelle ist in Abbildung 17 dargestellt.

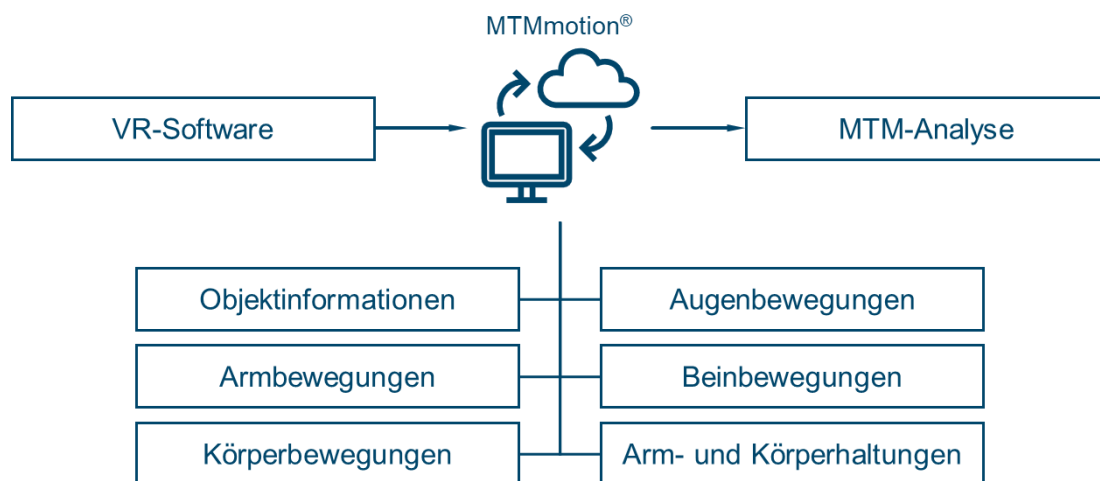


Abbildung 17: Ableitung von MTM-Analysen über MTMmotion®

Die Schnittstelle beschreibt digitale Bewegungsdaten so, dass es digitalen Tools wie der VR-Lösung von LIVINGSOLIDS möglich ist, diese Daten aus ihrer eigenen Datenstruktur abzuleiten. Sie enthält zudem alle notwendigen Informationen, um valide MTM-Analysen zu erstellen. Die Datenstruktur wird in Abschnitt 3.5 erläutert. Die Ableitung der Schnitt-

stellendaten unterscheidet sich dabei zwischen den Technologien, da sie unterschiedliche Datenarchitekturen verwenden. In dem Anwendungsbeispiel wurden die Algorithmen für die Befüllung der Schnittstelle von LIVINGSOLIDS entwickelt und in Zusammenarbeit mit der MTM ASSOCIATION e. V. validiert.

In den Abschnitten 3.6 und 3.7 wird anschließend darauf eingegangen, welche Schritte MTMmotion® bei der Ableitung einer MTM-UAS®- und MTM-HWD®-Analyse durchführt. Außerdem werden die durch die Übersetzungsalgorithmen erzeugten Analysen vorgestellt.

3.5 MTMmotion®-Schnittstellendaten

Die Schnittstelle besteht aus einer Objektliste und sechs Bewegungskanälen, die menschliche Arbeitsprozesse beschreiben. Sie werden mit allen notwendigen Informationen befüllt, um die Bewegungen und Haltungen der Person während der Ausführung der Tätigkeiten und die zu handhabenden Objekte abzubilden. Die Schnittstelle ist wie folgt aufgebaut:⁵⁷

1. Objektliste
2. Kanal Körperbewegungen
3. Kanal Armbewegungen
4. Kanal Beinbewegungen
5. Kanal Augenbewegungen
6. Kanal Körperhaltungen
7. Kanal Armhaltungen

Die Objektliste führt die Objekte auf, mit denen während der Arbeitsaufgabe interagiert wird, sowie relevante Eigenschaften wie Gewicht und Abmessungen, um die Objekte genauer zu beschreiben. Die Kanäle zwei bis fünf (Körper, Arm, Bein, Augen) beschreiben alle Bewegungen der Person. Die beiden anderen Kanäle erfassen die Haltung der Person während des Arbeitsprozesses. Die beiden Kanäle Objektliste und Armbewegungen sind dabei am relevantesten, da sie die wichtigsten Informationen über manuelle Arbeitsaufgabe beinhalten. Für den Beispielarbeitsplatz besteht die Objektliste aus den Objekten Schraube und Akkuschauber.

Tabelle 8: MTMmotion®-Daten: Objektliste

object ID	object type	weight [kg]	dimensions [mm]	flexible
1	screw	0.02	5 x 12 x 12	no
2	screwdriver	1.2	150 x 50 x 80	no
3	hose	0.2	10 x 10 x 100	yes

⁵⁷ vgl. Benter & Neumann, 2023

Für die Ableitung einer MTM-Analyse werden verschiedene Objektinformationen benötigt (s. Tabelle 8). Für sie können verschiedene Werte, wie beispielsweise die physikalischen Eigenschaften *Gewicht*, *Höhe*, *Länge* und *Breite* festgelegt werden. Im Allgemeinen gilt dabei: Je größer oder schwerer ein Objekt ist, desto schwieriger ist es zu handhaben und desto höher ist die MTM-Grundzeit. Die *Flexibilität* ist eine weitere physikalische Eigenschaft, die die Handhabung des Objekts erschweren kann. Die Tabelle zeigt die drei Objekte, die für die vorgestellten Schritte des Prozesses verwendet werden: Schrauben, Schläuche und ein Schraubendreher für die Montage der Schrauben und Schläuche sowie ein Auszug der wichtigsten Objektinformationen.

Tabelle 9: MTMmotion®-Daten: Armbewegungen

time start	time end	object ID	side	arm motion	supply	usage type
51.0	51.5	2	right	ObtainObject	separated	-
51.5	52.5	2	right	MoveObjectTo OtherPosition	-	-
52.5	56.8	2	right	HoldObject	-	-
52.6	53.6	1	left	ObtainObject	clustered	-
53.6	54.4	1	left	MoveObjectTo PointOfUse	-	-
54.4	56.8	1	left	UseObject	-	place
56.8	57.8	2	right	MoveObjectTo PointOfUse	-	-
57.8	61.7	2	right	UseObject	-	screw in

Tabelle 9 zeigt die notwendigen Informationen für den Kanal Armbewegungen. Bei den Armbewegungen ist die Art der Bewegung, also wie die Person mit Objekten interagiert, von zentraler Bedeutung. Sie kann danach unterschieden werden, ob ein Objekt aufgenommen, bewegt, verwendet, gehalten oder abgelegt wird. Zusätzlich dazu kann die Bewegungsart *Objekt verwenden* (UseObject) durch *Verwendungsarten* (UsageType) weiter spezifiziert werden, da es für die meisten Objekte mehrere Möglichkeiten der Verwendung gibt. Eine Schraube kann beispielsweise an ihrem Verwendungsort eingeschraubt oder eingesteckt werden.

Am Beispielarbeitsplatz nimmt die Testperson zunächst den separat hängenden Schraubendreher mit der rechten Hand auf und führt ihn in den Hauptarbeitsbereich. Der Schraubendreher wird festgehalten, während mit der linken Hand aus einem Behälter voller Schrauben eine Schraube herausgenommen wird. Die Schraube wird dann zum Schraubendreher (Verwendungsstelle) gebracht und auf den Schraubendreher aufgesetzt. Schließlich wird der Schraubendreher (mit Schraube) zu seinem Einsatzort (der Pumpe) gebracht und die Schraube eingedreht.

Die Armbewegungen werden durch Einflussgrößen näher definiert, um die einzelnen Bewegungen detaillierter zu beschreiben. So ist beispielsweise relevant, mit welchem Arm eine Bewegung ausgeführt wird. Zudem ist der Anfangs- und Endzeitpunkt einer Bewegung wichtig. Damit lässt sich die zeitliche Abfolge der Vorgänge bestimmen und so kann festgestellt werden, ob Armbewegungen gleichzeitig mit Bewegungen anderer Körperteile erfolgen. Die Schnittstelle umfasst weitere Einflussgrößen, die unter anderem bewegungsspezifische Informationen beinhalten (z. B.: Entfernung, Bereitstellung oder Symmetrie), in Tabelle 10 sind diese zusammengefasst dargestellt. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die wichtigsten Schnittstellendaten.

Tabelle 10: MTMmotion®-Daten: Einflussfaktoren der Armbewegungen

	Distance	GraspType	Supply	Tolerance	Symmetry	Force	Process Time
Type	numeric	selection	selection	selection	selection	numeric	numeric
Unit	cm	-	-	mm	-	Newton	seconds
decimal points	1	-	-	-	-	1	2
required/optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional

Die *Entfernung* (Distance) ist der tatsächlich zurückgelegte Bewegungsweg, dieser ist in der Regel gekrümmt und wird in Zentimetern gemessen. Bei Handbewegungen wird die Zeigefingerwurzel als Messpunkt zur Bestimmung der Entfernung verwendet. Bei Fingerbewegungen wird die Fingerspitze als Messpunkt verwendet. Die *Greifart* (GraspType) beschreibt die Haltung der Hand, wenn sie die Kontrolle über ein Objekt übernimmt oder abgibt. Die *Bereitstellung* (Supply) bezieht sich auf die Anordnung oder Position des Objekts, bevor es aufgenommen wird. Die Bereitstellung unterscheidet sich in der Art und Weise, wie ein Objekt bereitgestellt wird: an einem festen Ort (z. B. eine Taste), an einem bei jedem Arbeitsvorgang wechselnden Ort (z. B. Werkzeuge) oder zusammen mit anderen Objekten der gleichen Art (z. B. Schrauben).

Die *Toleranz* (Tolerance) beschreibt die maximale \pm Abweichung vom Anfangseingriffspunkt und wird verwendet, um die erforderliche Platzierungsgenauigkeit anzugeben. Es stehen fünf verschiedene Toleranzbereiche zur Auswahl, die in Millimetern angegeben sind. Die *Symmetrie* (Symmetry) bezieht sich auf die Symmetriebedingungen des Positionierungsprozesses. Es wird zwischen zwei Möglichkeiten der Symmetrie unterschieden: entweder benötigt das Objekt keine Orientierung für den Positionierungsprozess (z.B.: einen Nagel auf ein Holzbrett setzen) oder es benötigt eine Orientierung (z.B.: einen Schraubenzieher auf eine Schraube setzen).

Die *Kraft* (Force) beschreibt den erforderlichen Kraftaufwand, um ein Objekt zu bewegen oder zu positionieren. Sie steht für die physische Kraft, die vom Körper ausgeübt wird und auf das zu bewegende oder zu positionierende Objekt wirkt. Sie wird in Newton gemessen und kann vom Benutzer eingegeben werden. Die *Prozesszeit* (Process Time) ist

die Zeit eines bestimmten Prozesses, die durch Schätzung, Zeitstudie oder durch die Verwendung von selbst aktivierten Erfassungsinstrumenten (z. B. Zeiterfassungsgeräten) berechnet werden kann. Sie kann die Betriebszeit eines Werkzeugs oder einer Maschine darstellen, z. B. den Schraubvorgang eines Schraubautomaten oder die Presszeit einer Presse. Die Prozesszeit wird in Sekunden gemessen und ist ebenfalls ein optionaler Einflussfaktor.

3.6 Ableitung einer MTM-UAS[®]-Analyse

Die Übersetzung der Schnittstellendaten in eine valide MTM-Analyse ist neben den eigentlichen Daten der zweite Aspekt von MTMmotion[®]. Die Übersetzung folgt dem folgenden Vorgehen:⁵⁸

1. Validierung der Eingangsdaten
2. Vervollständigung der Eingangsdaten
3. Übersetzung in MTM-Prozessbausteine
4. Kombination unterschiedlicher Körperteile

3.6.1 Validierung der Eingabedaten

Im ersten Schritt werden die Eingangsdaten, die von der VR-Software bereitgestellt werden, validiert. Es wird überprüft, ob die Daten sinnvoll sind oder ob sie logische Fehler enthalten. Das heißt zum Beispiel, dass geprüft wird, ob die Handhabung der Objekte einer logisch möglichen Reihenfolge folgt. Abbildung 18 zeigt einen Teil des Validierungsalgorithmus. So erkennt der Algorithmus unter anderem einen Fehler, wenn Objekte bewegt werden, die vorher nicht aufgenommen wurden. In diesen Fällen wird der Objektabschnitt, der alle Bewegungen mit demselben Objekt in einer bestimmten Reihenfolge enthält, gelöscht.

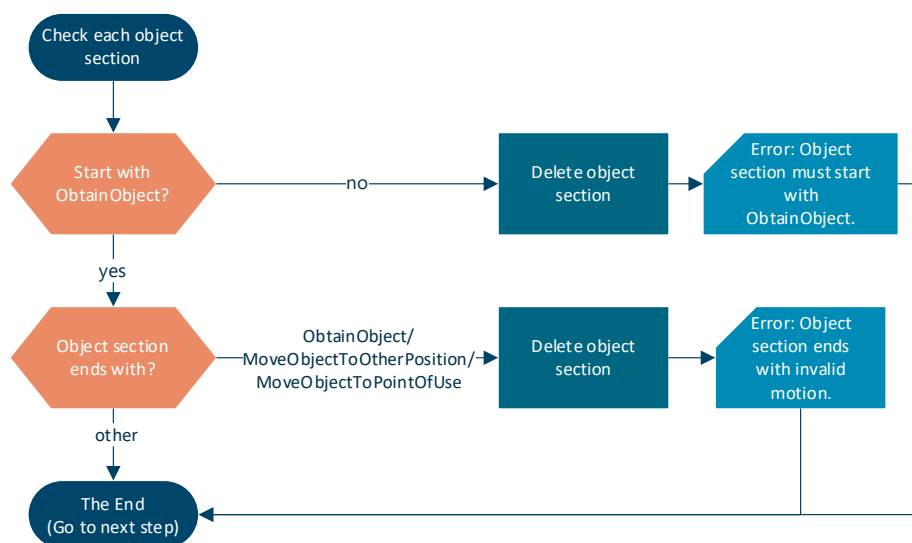


Abbildung 18: Validierung von Objektabschnitten

⁵⁸ vgl. Benter & Neumann, 2023

Außerdem wird sichergestellt, dass die Handhabung eines Objektes nicht mit einer unzulässigen Bewegung wie *Objekt aufnehmen* (ObtainObject) oder *Objekt zur Verwendungsstelle bringen* (MoveObjectToPointOfUse) endet. Diese Bewegungen sind nur dann Teil einer sinnvollen Objekthandhabung, wenn auf sie andere Bewegungen wie *Objekt verwenden* (UseObject) folgen. Fehlen diese, wird der Objektabschnitt gelöscht und ein Fehler ausgegeben. Dies kann anhand der Armbewegungen in Tabelle 9 erläutert werden. Würde dort die vierte Zeile fehlen (time start: 52.6) würde in dem resultierenden Ablauf (vgl. Tabelle 11) bei der Handhabung der Schraube (objectID 1) die Armbewegung *Objekt aufnehmen* (ObtainObject) fehlen. Damit ist unklar, wie die Schraube vor der Bewegung *MoveObjectToPointOfUse* (Zeile 5, time start: 53.6) gehandhabt wurde, da ein sinnvoller Ablauf nicht mit dieser Bewegung starten kann. Die verbleibenden Zeilen der Objekthandhabung (Zeilen 5-6) werden daher gelöscht und nicht weiter zur Übersetzung verwendet. Zudem wird dieser Löschvorgang protokolliert.

Tabelle 11: Fehlende Armbewegung für Schraube

time start	time end	object ID	side	arm motion
51.0	51.5	2	right	ObtainObject
51.5	52.5	2	right	MoveObjectToOtherPosition
52.5	56.8	2	right	HoldObject
53.6	54.4	1	left	MoveObjectToPointOfUse
54.4	56.8	1	left	UseObject

Es gibt weitere Abfragen, mit denen der Algorithmus prüft, ob die vom Nutzer angegebenen Daten schlüssig sind. Dieser Beitrag zielt jedoch nicht darauf ab, den gesamten Algorithmus zu erklären, sondern konzentriert sich auf einige Beispiele, um zu zeigen, wie die Übersetzung im Allgemeinen funktioniert.

3.6.2 Vervollständigung der Eingabedaten

Im zweiten Schritt, der Vervollständigung, werden die Eingangsdaten zunächst auf Vollständigkeit überprüft (s. Abbildung 19). Obwohl die Schnittstelle alle Informationen abbilden kann, die für valide MTM-Analysen relevant sind, ist es nicht zwingend notwendig, alle Informationen zu befüllen. Die Schnittstelle unterscheidet hier zwischen erforderlichen und optionalen Einflussgrößen. Ohne die erforderlichen Daten ist der Algorithmus nicht in der Lage, eine regelkonforme MTM-Analyse zu erstellen. Die optionalen Einflussgrößen dienen zusätzlich dazu, die Abläufe so genau wie möglich zu beschreiben. Zunächst überprüft der Algorithmus die Objektliste. Wenn dort ein Objekt aufgelistet ist, das im Objektkatalog von MTMmotion® nicht existiert, wird es durch ein Standardobjekt ersetzt, da das System keine Objektdaten verarbeiten kann, mit denen es nicht vertraut

ist. Danach werden fehlende Informationen in allen Teilen der Schnittstelle mit Standardwerten befüllt. Zum Beispiel würde der Algorithmus ein vordefiniertes Schraubengewicht ergänzen, wenn es nicht vom VR-Tool übergeben wurde. Dieser Schritt gilt nicht nur für Objektdaten, sondern auch für alle Bewegungen und Haltungen in der Schnittstelle. Für alle Arm- und Beinbewegungen außer *Objekt verwenden* (UseObject) beträgt der Standardwert für den Abstand beispielsweise 40 Zentimeter. Der Standardabstand für *Objekt verwenden* (UseObject) wird für jede *Verwendungsart* (UsageType) individuell gefüllt.

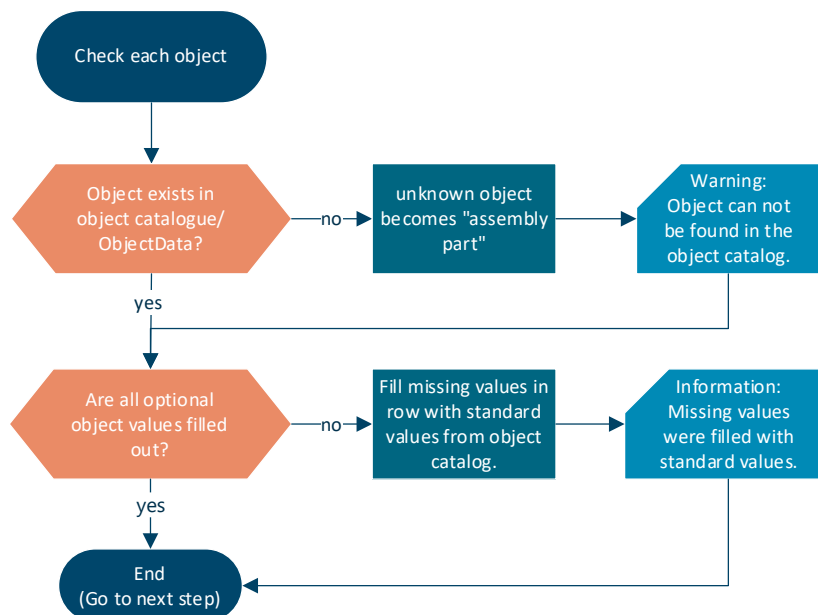


Abbildung 19: Validierung von Objektinformationen

3.6.3 Übersetzung in MTM-Prozessbausteine

Im dritten Schritt werden die unterschiedlichen Bewegungen in MTM-Prozessbausteine übersetzt. Im Falle von MTM-UAS® ist es notwendig, bestimmte Bewegungen zu Grundvorgängen zusammenzufassen. Jede dieser kombinierten Bewegungen liefert jedoch relevante Daten, die zur Bestimmung des richtigen MTM-UAS®-Codes verwendet werden.

Tabelle 12: Übersetzung der Armbewegungen in ein Zwischenergebnis mit Grundvorgängen

object ID	side	arm motion	Basic Operation	CaseOfGet	CaseOfPlace
2	right	ObtainObject	Handle Tool	> 1 kg to < 8 kg	-
2	right	MoveObjectTo OtherPosition		-	approximately
2	right	HoldObject		-	-
1	left	ObtainObject	Get and Place	≤ 1 kg, difficult	-
1	left	MoveObjectTo PointOfUse		-	loose
1	left	UseObject		-	-
2	right	MoveObjectTo PointOfUse	Place	-	tight
2	right	UseObject		-	-

Deshalb ist der erste Schritt bei der Übersetzung in MTM-UAS® die Bestimmung, welche Bewegungen zu einem Grundvorgang gehören. Tabelle 12 zeigt die Armbewegungen und die entsprechenden Grundvorgänge (Spalte 4).

Als nächstes werden die Einflussgrößen der Grundvorgänge aus den Eingangsdaten abgeleitet. Für MTM-UAS® sind der *Fall des Aufnehmens* (CaseOfGet) und der *Fall des Platzierens* (CaseOfPlace) zentrale Faktoren. Der Wert CaseOfGet beschreibt die Art und Weise, wie ein Objekt aufgenommen wird. Das kann von der einfachen Aufnahme eines leichten Gegenstands wie einer Schraube bis hin zur schwierigen Aufnahme, eine 10 kg schwere Kiste zu kontrollieren, reichen. Diese Faktoren werden anhand der Einträge der Objektliste und der Armbewegungsdaten berechnet. Für das Anwendungsbeispiel sind die Einflussgrößen CaseOfGet und CaseOfPlace in Tabelle 12 dargestellt.

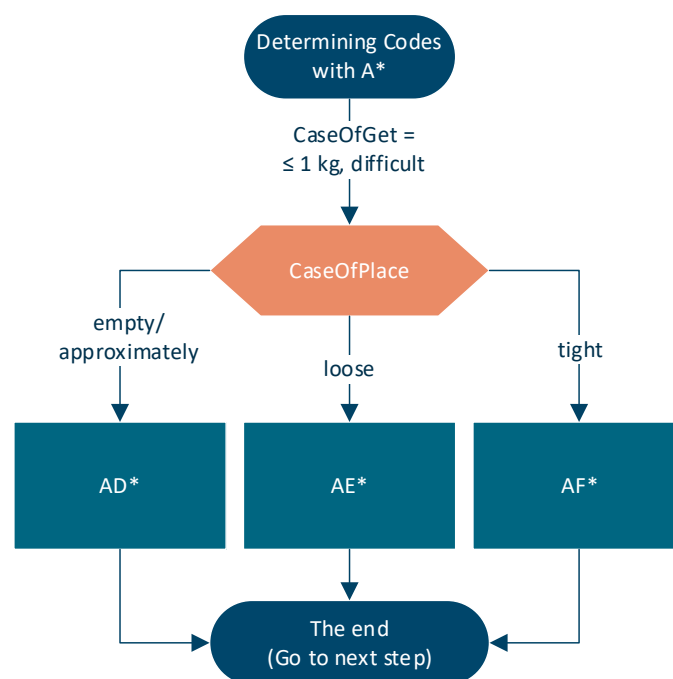


Abbildung 20: Auszug aus der Übersetzung des Aufnehmens und Platzierens

Schließlich werden die Einflussgrößen genutzt, um die korrekten MTM-UAS®-Kodierungen abzuleiten. Ein Teil des Algorithmus zur Realisierung dieses Schrittes ist in Abbildung 20 dargestellt. Mit den gegebenen Einflussgrößen für das Aufnehmen und Platzieren der Schraube (Tabelle 12, Zeilen 4-6; CaseOfGet ≤ 1 kg, schwierig (difficult) und CaseOfPlace ist lose (loose)) wird der MTM-UAS® Code AE* abgeleitet.

3.6.4 Kombination unterschiedlicher Körperteile

Im letzten Schritt des Algorithmus werden die einzelnen Kanäle miteinander verglichen, um herauszufinden, ob sie sich untereinander beeinflussen oder ob Bewegungen zur gleichen Zeit ausgeführt werden können. Dies lässt sich gut an folgendem Beispiel erklären: Folgt eine Armbewegung unmittelbar auf eine Körperbewegung, greift eine MTM-Regel, die besagt, dass ein Teil der Armbewegung während der Körperbewegung ausgeführt werden kann und somit die verbleibende Bewegungslänge des Armes 10 cm beträgt. Der

Algorithmus prüft außerdem die gleichzeitige Ausführbarkeit von Bewegungen. Im Anwendungsbeispiel wird überprüft, ob die Schraube gegriffen und gesetzt werden kann, während die andere Hand den Akkuschauber hält. Hier führt dies nicht zu einem Konflikt. Würde die Person dagegen mit beiden Händen gleichzeitig zwei Schrauben eindrehen, würde der Algorithmus feststellen, dass hierfür bestimmte MTM-Regeln zur Anwendung kommen, und die resultierende Analyse korrigieren.

3.6.5 Die erzeugte MTM-UAS®-Analyse

Das Ergebnis dieser Schritte ist eine regelkonforme MTM-UAS®-Analyse, die zu den übermittelten Daten des VR-Tools passt. In Tabelle 13 kann das Resultat für den Beispielarbeitsplatz eingesehen werden. Die Analyse beschreibt die Montage der ersten beiden Schrauben. Es entsteht eine Gesamtzeit von 275 TMU (ca. 10 Sekunden) für diesen Arbeitsabschnitt.⁵⁹

Um die Ergebnisse zu validieren, wurde eine manuelle Analyse auf Grundlage des Videos, der verwendeten Objekte und Entfernungen von einer Person mit umfangreichem MTM-Wissen angefertigt. Der Vergleich hat gezeigt, dass die automatisch generierte Analyse aus den VR-Eingangsdaten mit der manuell erzeugten Analyse übereinstimmt.

Tabelle 13: Automatisch generierte MTM-UAS®-Analyse

Beschreibung	Kode	A x H	TMU
Schraubendreher in Arbeitsbereich	HA2	1 x 1	45
Schraube platzieren	AE2	1 x 1	55
Schraubendreher platzieren	PC1	1 x 1	30
Prozesszeit Schraubendreher	PTTMU	1 x 30	30
Schraube platzieren	AE2	1 x 1	55
Schraubendreher platzieren	PC1	1 x 1	30
Prozesszeit Schraubendreher	PTTMU	1 x 30	30
Summe	-	-	275

3.7 Ableitung einer MTM-HWD®-Analyse

Die MTMmotion®-Schnittstelle und ihre Algorithmen können genutzt werden, um die Bewegungsdaten in verschiedene MTM-Analysen unterschiedlicher Anwendungsbereiche zu übersetzen. Während MTM-UAS® klassischerweise in der Serienfertigung eingesetzt wird, sollten MTM-Systeme wie MTM-HWD® für Arbeitssysteme mit kürzeren Zykluszeiten (z. B. Mengenfertigung) eingesetzt werden.⁶⁰ Die Verwendung von MTMmotion® zur Erstellung gültiger MTM-HWD®-Analysen erfolgt in den gleichen Prozessschritten wie

⁵⁹ vgl. Benter & Neumann, 2023

⁶⁰ vgl. MTMA, 2019a; MTMA, 2019b

bei MTM-UAS®. Das bedeutet, dass Technologieanbieter wie LIVINGSOLIDS die Schnittstelle auf dieselbe Weise nutzen können. Darüber hinaus folgt auch der Übersetzungsalgorithmus demselben Verfahren (siehe Kapitel 3.6). Dabei sind die ersten beiden Schritte mit denen von MTM-UAS® identisch, die Daten werden auf die gleiche Weise validiert und überprüft. Die Schritte drei (siehe Kapitel 3.6.3) und vier (siehe Kapitel 3.6.4) werden an MTM-HWD® angepasst, um die Systemprozessbausteine und systemspezifischen Regeln zu realisieren.

3.7.1 Übersetzung in grundlegende Aktionen

Im Gegensatz zu MTM-UAS® fasst der MTM-HWD®-Algorithmus die Eingangsbewegungen nicht zu Grundvorgängen zusammen. Sie werden vielmehr in HWD-Aktionen übersetzt (s. Tabelle 14). Die Entnahme der Schraube und das Aufsetzen auf den Schraubendreher (Tabelle 14, Zeile 4-6) werden in die Grundvorgänge „Aufnehmen“ und „Platzieren“ übersetzt.

Tabelle 14: Übersetzung der Armbewegungen in ein Zwischenergebnis mit Grundvorgängen

object ID	side	arm motion	Basic Action	GraspMotion	CaseOfDeposit
2	right	ObtainObject	Obtain	Grasp	-
2	right	MoveObjectTo OtherPosition	Deposit	-	approximately B
2	right	HoldObject	no translation	-	-
1	left	ObtainObject	Obtain	Separate	-
1	left	MoveObjectTo PointOfUse	Deposit	-	close
1	left	UseObject			
2	right	MoveObjectTo PointOfUse	Deposit	-	loose
2	right	UseObject	Hold	-	-

Da MTM-HWD® ein detaillierteres MTM-Prozessbausteinsystem als MTM-UAS® ist, verarbeitet der Algorithmus mehr Einflussfaktoren. Die meisten von ihnen (z. B.: TypeOfGrasp) werden aus den Schnittstellendaten gelesen und direkt übersetzt. Nur wenige werden anschließend zur Bestimmung spezifischer MTM-HWD®-Einflussgrößen verwendet, wie z.B. *Greifbewegung* (GraspMotion) oder *Fall des Platzierens* (CaseOfDeposit). GraspMotion ist beispielsweise das Äquivalent zu CaseOfGet im MTM-UAS®-Algorithmus. Er beschreibt die Art und Weise, wie die Hand oder die Finger ein Objekt unter Kontrolle bringen, bevor sie es weiter bewegen. GraspMotion wird anhand der Objektdaten sowie dem *Greifart* (TypeOfGrasp) und der *Bereitstellung* (Supply) berechnet, die für die Armbewegung angegeben wurden.

3.7.2 Kombination unterschiedlicher Körperteile

Die Regeln zum Kombinieren verschiedener Körperteile in MTM-HWD® entsprechen denen, die für MTM-UAS® verwendet werden. Wie in Punkt 3.6.4 erläutert, vergleicht der

Algorithmus die Kanäle mit Bewegungen untereinander und überprüft, ob sie sich gegenseitig beeinflussen. Die MTM-Regel für die zu berücksichtigende Bewegungslänge einer Armbewegung nach einer Körperbewegung ist zum Beispiel in Abbildung 21 dargestellt.

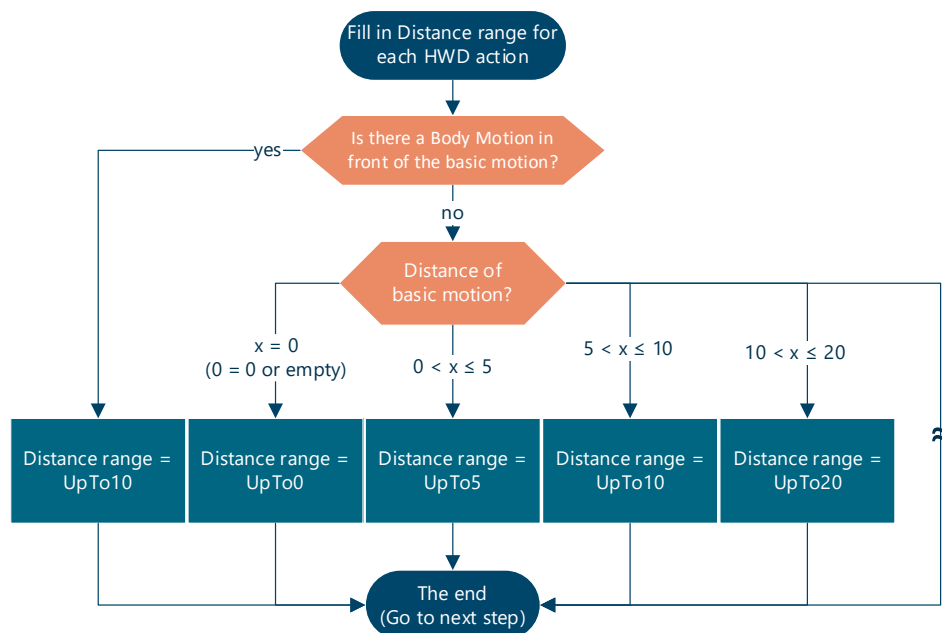


Abbildung 21: Bestimmung des Entfernungsbereichs durch Berücksichtigung von Körperbewegungen

Um die tatsächliche Entfernung für ein MTM-HWD®-Prozessbaustein zu ermitteln, prüft der Algorithmus jede Grundbewegung (Ursprung in Kanal 2 oder 3) auf das Vorhandensein einer Körperbewegung (Kanal 1) direkt davor. Tritt dieser Fall ein, ist der Entfernungsbereich für den MTM-HWD®-Prozessbaustein auf UpTo10 (entspricht bis zu 10 cm) eingestellt. Andernfalls wird der Abstand der Grundbewegung zur Bestimmung des Abstandsbereichs für jede MTM-HWD®-Aktion verwendet, wie in Abbildung 21 dargestellt.

3.7.3 Die erzeugte MTM-HWD® Analyse

Auch die automatisch generierte MTM-HWD®-Analyse passt zu den Eingangsdaten. Der Akkuschauber wird zunächst in den Arbeitsbereich gebracht, dann wird die erste Schraube auf den Akkuschauber gesteckt und anschließend eingeschraubt. Dies wird für die zweite Schraube wiederholt. Der gesamte Prozess kann in Abbildung 22 mit Hilfe der Spalte „Beschreibung“ nachvollzogen werden. Die Piktogramme unterstützen das Einfache Verstehen der Analyse. Beispielsweise beschreibt die Spalte "allgemeine Einstellungen" das Objekt, welche Art von HWD-Aktion durchgeführt wird und welche Hand das Objekt handhabt. In der zweiten Zeile wird so dargestellt, dass der Akkuschauber (ein Werkzeug) mit der rechten Hand aufgenommen wird. Zudem können das Gewicht des Gegenstandes sowie zusätzliche Kräfte in der MTM-HWD®-Analyse erfasst werden.

Nr.	G	K.	Bezeichnung	allgemeine Einstellungen	Gewicht / Kraft	Hand	Prozesszeit	tg	Menge	Häufigkeit	tg gesamt
2			Schraubendreher aufnehmen					12,00	1,00	1,00	12,00
3			Schraubendreher in Arbeitsbereich		Gewicht: 1,0 kg Armkraft: 5,0 N			14,00	1,00	1,00	14,00
4			Schraube aufnehmen					24,00	2,00	1,00	48,00
5			Schraube auf Schraubendreher		Gewicht: 0,2 kg Finger-Hand-Kraft: 5,0 N			42,00	2,00	1,00	84,00
6			Schraube und Schraubendreher zur Verwendungsstelle		Gewicht: 1,0 kg Armkraft: 5,0 N		Beginn von: PTTMU 30,00	22,00	1,00	2,00	44,00
7			Prozesszeit für "Schraube eindrehen"				Endend: PTTMU 30,00	30,00	1,00	2,00	60,00

Abbildung 22: Automatisch generierte MTM-HWD®-Analyse

Die Einflussgrößen der Hand werden beispielsweise in der Spalte "Hand" aufgelistet. Zeile 5 beschreibt die Platzierbewegung der Schraube auf den Akkuschauber. Dieser Ablauf erfolgt über eine Entfernung von 40 cm, wobei die Schraube vor dem Aufstecken auf den Akkuschauber ausgerichtet werden muss und anschließend eng auf dem Akkuschauber platziert wird. Die Prozesszeit des Akkuschaubers steht in Zeile 6 in der Spalte „Prozesszeit“. Andere wichtige Faktoren sind „Menge“ und „Häufigkeit“, mit denen das Einschrauben der zweiten Schraube abgebildet werden kann, ohne zusätzliche Analysezeilen zu erstellen. Aufgrund der Wiederholung des Aufsetzens und Eindrehens einer zweiten Schraube auf den Schraubendreher wird die Menge in Zeile 4 und 5 auf 2 und die Häufigkeit in Zeile 6 und 7 ebenfalls auf 2 gesetzt. Die MTM-HWD®-Analyse enthält weitere Einflussgrößen (z. B.: untere Extremitäten, Rumpf oder Kopf), die in Abbildung 22 nicht dargestellt sind. Die Gesamtzeit der übersetzten MTM-HWD®-Analyse beträgt 262 TMU (ca. 9,5 Sekunden).

Die digitale Arbeitsgestaltung mittels MTMmotion® erleichtert in der Arbeitswirtschaft die Analyse und Planung von Arbeitsprozessen. Die Schnittstelle MTMmotion® fungiert als Verbindung, um menschliche Bewegungsdaten in valide MTM-Analysen zu übersetzen. Technologien wie Human Simulation, Virtual Reality und Motion Capture ermöglichen dabei die zielgerichtete Gestaltung menschlicher Arbeit. Der MTMmotion®-Übersetzungsalgorithmus validiert, vervollständigt und übersetzt die Daten in MTM-Prozessbausteine. Sie ermöglichen die Generierung regelkonformer MTM-1®, MTM-HWD®, MTM-UAS®- und MTM-MEK®-Analysen für verschiedene Anwendungsbereiche. Die automatisch generierten Analysen entsprechen händisch erstellten Analysen und können als Simulationsanalysen in der Arbeitswirtschaft, insbesondere in der Industrie, eingesetzt werden.

Gerade mit Hinblick auf die zunehmende Internationalisierung der industriellen Produktion ist eine leicht zugängliche, gemeinsame Sprache für Analyse und Gestaltung von Arbeitsgestaltung entscheidend.

4 Aktuelle Forschungsprojekte

Neben der Planung von Arbeitsabläufen finden moderne digitale Technologien ebenso Einzug in die Analyse und Optimierung von bestehenden Arbeitsabläufen. So können beispielsweise mit Motion Capture-Technologien reale Arbeitsabläufe untersucht werden, um Schwachstellen zu identifizieren. Dazu gehören u. a. nicht ausreichend ausgelegte Kapazitäten oder ergonomische Risiken. Beide Faktoren führen zu einer erhöhten Belastung der Mitarbeiter. Aktuell beschäftigt sich die MTM ASSOCIATION e. V. in zwei Projekten mit der Nutzung von Motion Capture-Technologien und deren Kombination mit der MTM-Methodik.

4.1 Letzte Meile – Verbindung von Motion Capture mit MTM

Aktuell erfährt die Arbeit im Dienstleistungsbereich der Paketzustell- und Lieferdienste einen massiven Umbruch. Während der Corona-Pandemie hat sich die Liefermenge bei annähernd gleichbleibender Anzahl der Beschäftigten sehr stark erhöht. Somit erfahren Mitarbeitende in der Zustellung hohe Belastungen; möglicherweise Überlastungen. Daher ist für diesen Bereich eine arbeitswissenschaftliche Grundlage für den betrieblichen Arbeitsschutz besonders wichtig. Die MotionMiners GmbH und die MTM ASSOCIATION e. V. arbeiten im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) an einer Vorstudie für die betriebsinterne Festlegung von Vorgabeleistungen und Belastungsobergrenzen.

Die BMAS-Vorstudie setzt dafür am finalen Abschnitt der Lieferkette an. Das ist die sogenannte letzte Meile, auf der die Ware – auch über 30 kg schwere Pakete – in das Zustellfahrzeug geladen und beim Endkunden abgeliefert wird. In der Vorstudie werden die Anforderungen typischer Tätigkeiten bzw. Prozesselemente der Paket- und Verbundzustellung identifiziert und bewertet. Ziel ist es, Erkenntnisse und Daten über die Leistungserbringung im Dienstleistungssektor zu veröffentlichen, aus Sicht des Arbeitsschutzes objektiv vertretbare Leistungskorridore festzulegen und so Prozesse im Bereich der Zustell- und Lieferdienste nachhaltig zu verbessern.

Dazu werden über Bewegungssensoren IST-Daten aufgenommen und anschließend mit Machine Learning ausgewertet. Diese Ergebnisse werden dann mit der MTM-Normleistung in Verbindung gebracht bzw. kombiniert. Die Modellierung der SOLL-Prozesse erfolgt auf Basis der MTM-Analyse mit den MTM-Prozessbausteinsystemen MTM-UAS® und MTM-LOG®. Die Bewertung des ergonomischen Risikos der Arbeitsabläufe im Zustell- und Lieferdienst erfolgt mit etablierten Methoden wie EAWS® und LMM (Leitmerkmal-methode).

Mit der entwickelten Verbindung von Motion Capture mit der MTM-Normleistung soll es ermöglicht werden, IST-Prozesse bei Logistikvorgängen, aber auch bei anderen Tätig-

keitsfeldern der Basisarbeit, aufwandsarm zu untersuchen, systematisch mit SOLL-Prozessen zu vergleichen und Schwachstellen zu identifizieren, um so eine menschengerechte Arbeitsgestaltung sicherzustellen.

4.2 KI und MTM: Forschungsprojekt HAawAI

Über den Zusammenhang zwischen KI (präziser: Maschinellem Lernen) und MTM denken wir u.a. in dem Forschungsvorhaben *Humanzentrierte Ausführungsanalyse von manuellen Bewegungsabläufen mittels Motion Capturing und Artificial Intelligence* (HAawAI) nach.

Das Projekt zielt darauf ab, automatisiert MTM-HWD®-Analysen aus Motion Capture-Daten zu erstellen (s. Abbildung 23). Dies soll durch Verarbeitung dieser Daten über die MTMmotion®-Schnittstelle und die anschließende Ausgabe der abgeleiteten MTM-HWD®-Analyse geschehen. Wesentlicher Teil der Lösung ist dabei die Ermittlung der notwendigen Informationen aus den Motion Capture-Rohdaten über Methoden des maschinellen Lernens (ML).

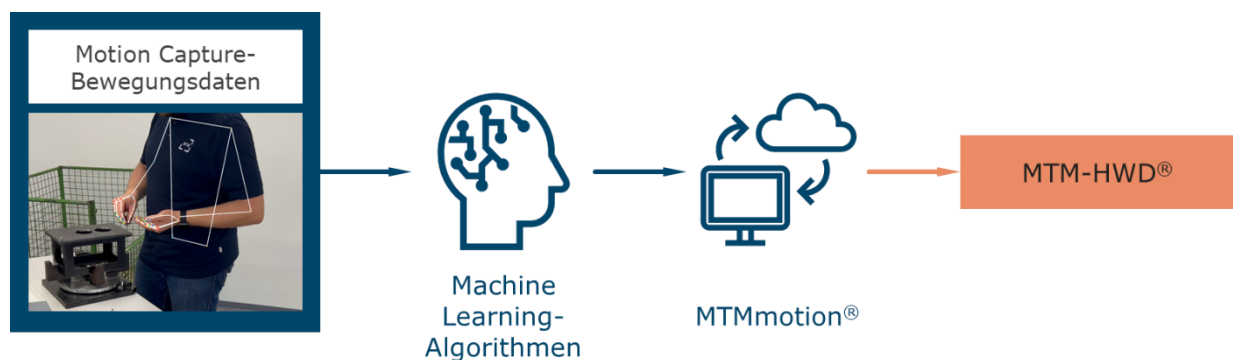


Abbildung 23: Zielvorgehen im Forschungsvorhaben HAawAI

Durch die Kombination von ML-Algorithmen und MTMmotion® soll die Ergebnisgüte von Motion Capture-Analysen deutlich verbessert werden und es so erstmals ermöglichen, valide MTM-Analysen daraus automatisiert abzuleiten.

5 Einordnung und Ausblick

Diese Veröffentlichung schließt nachfolgend mit einer Einordnung unserer Überlegungen und Anstrengungen rund um die automatisierte Anwendung von MTM in einen breiteren, zukunftsorientierten Kontext.

5.1 Arbeitsgestaltung und Digitalisierung

Die „Zeit“ ist und bleibt eine zentrale Steuergröße für Unternehmen, da die zielgerichtete Arbeitsgestaltung eine zeitliche Bewertung der Vorgänge erfordert. Diese Tatsache lässt sich bis in die Anfänge des Industrial Engineerings zurückverfolgen. Damals wie heute ermitteln Industrial Engineers Zeiten und nutzen sie als Bezugs-, Bewertungs- und Planungsgröße.

Eine wesentliche, aktuelle und zukünftig anhaltende Entwicklung bzw. Trend ist die Digitalisierung der Arbeitswelt. Die Bedeutung der Zeit wird auch in diesem Kontext nicht ab- sondern weiter zunehmen. Somit steigt auch die Nachfrage nach einer korrekt und nachvollziehbar ermittelten (Grund-) Zeit. Diese Nachfrage bei digital geplanten Arbeitsabläufen kann aus unterschiedlichen Gründen entstehen. Zum einen finden digital abgebildete menschliche Bewegungsabläufe nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form statt. Dies kann daran liegen, dass bei der Erfassung ein MoCap-Anzug oder eine VR-Brille getragen wird oder dass die Bewegungen durch Computeralgorithmen erstellt wurden (s. Abbildung 24). Dadurch werden beispielsweise typische, notwendige Handhabungen wie Schraubvorgänge in digitalen Planungen nicht oder nur rudimentär durchgeführt. Sie werden – wenn überhaupt – ausschließlich angedeutet und sind deshalb nur bedingt mit realen Arbeitsabläufen vergleichbar. Zum anderen sind digitale Arbeitsprozesse nicht mehr real erlebbar. So geht das Gefühl für Belastungen verloren, da beispielsweise Kräfte nicht vorhanden sind und auch Teilegewichte werden beim Hantieren nicht mehr wahrgenommen.

Diese Faktoren und die Tatsache, dass bei den digitalen Prozessen kein Routinegrad bei der Arbeitsausführung gebildet wird, führen dazu, dass beim Einsatz digitaler Planungstechnologien eine Leistungsgradbeurteilung nicht oder kaum möglich ist. Damit werden Zeitstandards wie MTM, die auf einer einheitlichen Bezugsleistung basieren, für digitale Tools wichtig und an Bedeutung gewinnen.

5.2 Entwicklung von MTMmotion®

Die MTM ASSOCIATION e. V. stellt mit MTMmotion® Tool-Entwicklern und interessierten MTM-Nutzern ein Werkzeug zur Verfügung, das es ermöglicht die MTM-Zeitstandards in ihre Softwaretools bzw. Anwendung einzubinden.

Ein wichtiger Auslöser für die Entwicklung von MTMmotion® war, dass die Umsetzung und die Qualität von MTM-Analysen – egal ob händisch eingegeben oder automatisiert erstellt werden – in verschiedenen Softwaretools in zahlreichen Fällen nicht unseren Qualitätsvorstellungen entsprechen. Dies schadet der sachgerechten Verbreitung und dem Image der MTM-Methodik.

Damit bestand für uns die Notwendigkeit, korrekte MTM-Analysen (regelkonforme Analysen in den verschiedenen MTM-Prozessbausteinsystemen) zur Verfügung zu stellen und möglichst „vielen“ Anwendern die weiterführende Nutzung der MTM-Analyse bzw. ihrer (Grund-) Zeit zu ermöglichen. Dazu gehört insbesondere auch das Umfeld der KI-getriebenen Anwendungen. Zudem fördert die regelkonforme und damit qualitativ hochwertige Einbindung von MTM in unterschiedliche Tools die Verbreitung von MTM.

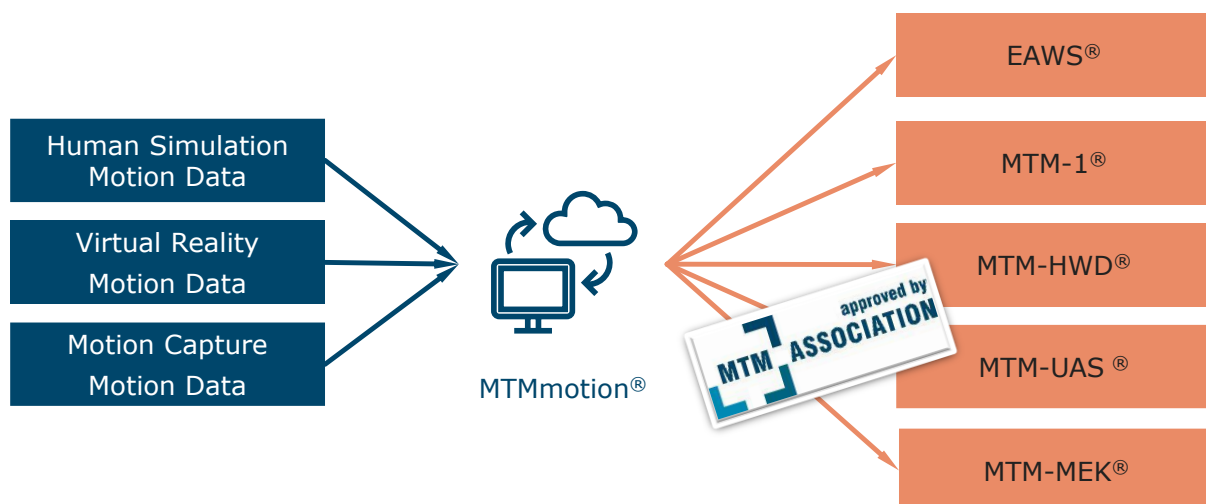


Abbildung 24: MTMmotion® Bewegungsdatenquellen

5.3 Weiterentwicklung und Zukunft von MTMmotion®

Neben der Einbindung der MTM-Methodik in Tools, die menschliche Bewegungsdaten erfassen oder verarbeiten, bietet das Konzept und die Struktur von MTMmotion® noch weitere Möglichkeiten, die nachfolgend aufgezeigt werden und an denen wir teilweise bereits arbeiten.

So ist ein vielversprechender Ansatz, die Sprache MTM bereits viel früher – also vor der eigentlichen Bewegungsaus- bzw. -durchführung, zu nutzen. Beispiel dafür ist die Nut-

zung von Daten aus ERP-Systemen oder Konstruktionsdaten, um vergleichbare Bewertungen zu eHpU⁶¹ oder PROKON⁶² zu erhalten. Durch Verarbeitung von Informationen über Bauteile, Baugruppen oder Werkzeuge kann die Prozesssprache MTM frühzeitig eingebunden werden.

Weitergehend ist es möglich, durch Maschinelles Lernen aus Fertigungsdokumenten wie Arbeitsplänen oder Arbeitsanweisungen Informationen abzuleiten, die mit MTMmotion[®] weiterverarbeitet und so MTM-Analysen zugeordnet werden können (s. Abbildung 25).

Konsequent zu Ende gedacht muss das Ziel der digitalen Anwendung von MTM sein, einem Konstrukteur bei jedem Konstruktionsschritt und einem Arbeitsplaner bei jedem Prozessschritt sofort – also in Echtzeit – anzuzeigen, welche Auswirkungen Änderungen auf den Arbeitsablauf und damit auf Zeit und Ergonomie hat.

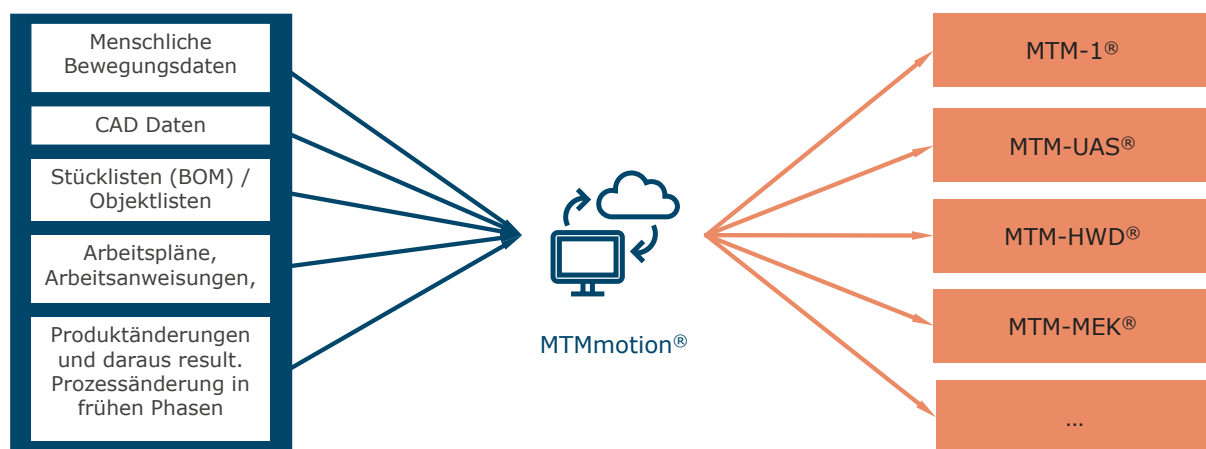


Abbildung 25: MTMmotion[®] - mögliche weitere Datenquellen

5.4 Sichtweise zum zukünftigen Bedarf an MTM-Ausbildungen und MTM-Beratung

In der MTM-Community existiert verständlicherweise die Meinung, dass „wir“ durch die beschriebenen Überlegungen zu MTMmotion[®] Konkurrenz für unser eigenes Geschäft – vor allem jenes der MTM-Beratung – aufbauen. Wir, die MTM ASSOCIATION e. V. und die Deutsche MTM-Gesellschaft mbH, haben hierzu jedoch eine andere, moderne und in die Zukunft gerichtete Position.

Denn, wir gehen davon aus, dass es durch die Verbreitung über die digitalen Tools mehr MTM-Nutzer und -Anwender geben wird und damit die Nachfrage nach den Kompetenzen der MTM-Organisation - von Forschung, über Lehre, Software bis hin zu Beratung – zunimmt; insbesondere auch im internationalen Markt. Natürlich kann und wahrscheinlich wird sich die Art des Bedarfs ändern. Die Art und der Umfang von MTM-Ausbildun-

⁶¹ Engineered Hours per Unit

⁶² Produktionsgerechte Konstruktion

gen könnte ebenso betroffen sein wie der Bedarf an „typischen“ Analysierdienstleistungen. Andererseits könnte dadurch der Bedarf an Gestaltungs- und Verbesserungsworkshops zunehmen.

Insgesamt gehen wir davon aus, dass sich unsere Arbeit, wie die aller Industrial Engineers durch die Digitalisierung grundlegend ändern wird. Wir sehen diese Entwicklung für MTM vorrangig als Chance und nicht als Risiko.

5.5 Beitrag zur Zukunftsvision des IE

Somit schließt sich der Kreis und der Beitrag von MTM zum zukünftigen Arbeitsverständnis unserer Fachdisziplin. Die Digitalisierung soll und wird die Arbeit der Industrial Engineers nachhaltig beeinflussen und einen Paradigmenwechsel herbeiführen.

Die intelligente und kreative Gestaltung von Arbeit wird in den Vordergrund rücken. Es wird mehr an möglichen Lösungen gearbeitet werden, verschiedene Alternativen werden schon sehr früh digital bewertet und mehr neue Ideen entwickelt werden. Der eher verwaltende Anteil der Arbeit des Industrial Engineers, wie z. B. die Datenpflege, sowie das „Schreiben von MTM-Analysen“ wird durch Technologien automatisiert unterstützt und dadurch in den Hintergrund rücken.

Dieses Verständnis der aktuellen und zukünftigen Entwicklungen unterstützen wir weiterhin mit unserem Know-How, eigenen Entwicklungen und Produkten sowie dazu passenden Dienstleistungen – immer im Sinne der weltweiten, einheitlichen und korrekten Verbreitung von MTM.

6 Literatur

Antis, W.; Honeycutt, JM.; Koch EN.:

Die MTM-Grundbewegungen. Maynard, Düsseldorf, 1969.

Benter, M.; Kuhlant P.:

Derivation of MTM-HWD® analyses from digital human motion data Scientific Track: Ergonomics in Manufacturing. In: Nancy L. Black, W. Patrick Neumann, Ian Noy [Eds.], Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021), Volume III: Sector Based Ergonomics, IEA 2021, LNNS 221, pp. 363–370, 2021.

Benter, M.; Neumann, M.:

Digitale Arbeitsgestaltung mit MTMmotion®. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Tagungsband zum Frühjahrskongress 2023 „Nachhaltig Arbeiten und Lernen - Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse“, 1.3.-3.3.2023, Hannover, 2023.

Benter, M., Neumann, M., Kuhlant, P.:

Ableitung von MTM-UAS®-Analysen unter Verwendung von Virtual Reality und MTMmotion®. In: Tagungsband Fachtagung „Smarte IKT und AR im Arbeitskontext“, 19. September 2023, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2023.

Bokranz, R.; Landau, K.:

Handbuch Industrial Engineering. 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2012.

Bovenschulte, M.; Peters, R; Burmeister, K.:

Basisarbeit - Stützen der (Arbeits-) Gesellschaft. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2021.

DMTMV:

Deutsche MTM-Vereinigung e. V. - Lehrgangsunterlage – EAWS-Praktiker. Hamburg: Eigenverlag, 2014.

Finsterbusch, T.:

Modellierung menschlicher Arbeit – Das Bausteinsystem MTM-HWD®. In: Kuhlant, P. (Hrsg.) Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering – Grundlagen, Praxiserfahrungen und Perspektiven. Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2015.

Finsterbusch, T.:

Entwicklung einer Methodik zur Bildung von Bausteinsystemen für die Gestaltung menschlicher Arbeit. Dresden, Techn. Univ., Dissertation, 2016.

Finsterbusch, T.; Kuhlang, P.:

Verfeinerung und Erweiterung des Arbeitssystemmodells zur Gestaltung humanorientierter Arbeit für Mensch-Mensch-Interaktion. In: GfA (Hrsg.) Tagungsband zur GfA-Frühjahrskonferenz 2017 „Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels“. Brugg/Zürich, Schweiz, 2017.

Fischer, H.; Kuhlang, P.:

Lingua Latina Industriæ. In: Kuhlang P (Hrsg.) Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering – Grundlagen, Praxiserfahrungen und Perspektiven. Ergonomia Verlag, Stuttgart, 2015.

Fritzsche, L.; Ullmann, S.; Bauer, S.; Sylaja, VJ.:

Task-based digital human simulation with Editor for Manual work Activities – industrial applications in product design and production planning. In: DHM and Posturography, Academic Press 2019.

Graute, R.:

MTM-HWD® besteht Praxistest bei Miele – Rollout ist geplant. MTM-Newsletter 2016. <https://www.dmtm.com/newsmedien/presse/presseartikelde-tails/details/mtm-hwdsupsup-besteht-praxistest-bei-miele/?inlink=1&inlink=1>. Zugegriffen: 7. April 2017.

halocline:

<https://halocline.io>. Letzter Zugriff am 10.06.2023.

imk:

<https://imk-ema.com/ema-workdesigner.html>. Letzter Zugriff am 10.06.2023.

Kuhlang, P.; Finsterbusch, T.; Rast, S.; Härtel, J.; Neumann, M.; Ostermeier, M.; Schumann, H.; Mühlbradt, T.; Jasker, K.; Laier, M.: Internationale Standards zur Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit. In: Dombrowski U, Kuhlang P (Hrsg.): Mensch-Organisation-Technik im Lean Enterprise 4.0. Shaker Verlag, Aachen, 91-154, 2017.

Kuhlang, P.:

Produktive und ergonomiegerechte Arbeit – Von der Prozesssprache MTM über die Ergonomiebewertung zu Human Work Design (MTM-HWD®). In: ifaa (Hrsg.), Leistung und Entgelt. Joh. Heider Verlag, Düsseldorf, Ausgabe 2/2018, 6-46.

Kuhlang, P.:

Digitalisierung in Planung und Produktion – Woher wissen wir, dass wir den Ergebnissen trauen können? In: UdZPraxis –Magazin für Betriebsorganisation in der digital vernetzten Wirtschaft, ISSN 2509-7350, FIR e. V. an der RWTH Aachen, 02-2019a, 61-63.

Kuhlang, P.:

Positionen der Deutschen MTM-Vereinigung e. V. zu Assistenzsystemen und zur Verarbeitung von digitalen Bewegungsdaten. In: Kuhlang P. (Hrsg.), MTM-Schriftenreihe Industrial Engineering, Ausgabe 12. Hamburg: Eigenverlag Deutsche MTM-Vereinigung e.V., 2019b.

Kuhlang, P.; Benter, M.; Ostermeier, M.; Finsterbusch, Th.; Härtel, J.; Jasker, K.:

Position der MTM ASSOCIATION e. V. zum Wandel des Einsatzes und der Anwendung von MTM-Prozessbausteinsystemen. MTM-Schriftenreihe Industrial Engineering, Ausgabe 14. Hamburg: Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., 2020.

Kuhlang, P.; Benter, M.; Neumann, M.; Mühlbradt, Th.:

Digitalisierung und Internationalisierung der Arbeitswirtschaft für produktive und ergonomiegerechte Basisarbeit in Produktion und Logistik. In: Menschengerechte Arbeitsgestaltung – Basisarbeit und neue Arbeitsformen, Tagungsband der Herbstkonferenz 2023, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Sankt Augustin, Düsseldorf, 2023.

Kuhlang, P.; Benter, M.; Neumann, M.:

MTM in Motion – Perspectives to digital work design. Deriving MTM Analyses From Virtual Reality Tools. In: Deuse, J. [Ed.]: How can industrial management contribute to a brighter future? Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V., GITO mbH Verlag Berlin, 2023.

Kuhlang, P.; Neumann, M.:

Zeitdaten – Wie aus Bausteinen Daten werden. In: Irgendwas mit Logistik (Hrsg.): Manuelle Prozesse - Handtastische Ergänzung zur Automatisierung, Report 08, Oktober 2023, Hamburg, 2023.

Lavatelli, I.; Schaub, K.; Caragnano, G.:

Correlations in between EAWS and OCRA Index concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries, IOS Press, 2012.

LIVINGSOLIDS:

<https://www.livingsolids.de>. Letzter Zugriff am 10.06.2023.

Maynard, H.B.; Stegemerten, G.J.; Schwab, J.L.:

Methods-Time Measurement. McGraw Hill, New York, 1948.

Movella:

<https://www.movella.com/products/motion-capture>. Letzter Zugriff am 10.06.2023.

MTMA:

MTM ASSOCIATION e. V. - Lehrgangsunterlage MTM-1. Hamburg: Eigenverlag, 2019a.

MTMA:

MTM ASSOCIATION e. V. - Lehrgangsunterlage MTM-UAS. Hamburg: Eigenverlag, 2019b.

MTMA:

MTM ASSOCIATION e. V. - Lehrgangsunterlage MTM-Standardvorgänge Logistik. Hamburg: Eigenverlag, 2019c.

MTMA:

MTM ASSOCIATION e. V. - Lean Base Award 2022 – Das Ganze und das Detail im Blick: So einfach war MTM noch nie!, Hamburg: Eigenverlag, 2022.

Mühlbradt, T.; Hartmann, E.; Hacker, W.:

Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0 – neue Herausforderungen für die Arbeitswissenschaft. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Tagungsband zum Frühjahrskongress 2018 „Arbeit(s).Wissen.schaf(f)t – Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung“, 21.-23.02.2018, Frankfurt am Main, 2018.

Quick, JH.:

Das Work-Factor-System. Beuth, Berlin, 1960.

REFA:

Datenermittlung. Carl Hanser, München, 1997.

Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B.; Bruder, R.:

The European Assembly Worksheet. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science. Volume 14 (Issue 6), S. 616-639. London: Taylor & Francis, 2012.

Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.; Mayer, M.; Abendroth, B.:

Arbeitswissenschaft (3., vollständig überarb. und erw. Aufl.). Berlin: Springer, 2010.

Schmauder, M.; Spanner-Ullmer, B.:

Ergonomie – Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. In: REFA-Fachbuch-Reihe Arbeitsgestaltung. Carl Hanser Verlag, Darmstadt, 2014.

Schüppstuhl, T.; Tracht, K.; Raatz, A.:

Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021. Unter Mitarbeit von Thorsten Schüppstuhl, Kirsten Tracht und Annika Raatz. Cham: Springer International Publishing. Online verfügbar unter <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/52428>, 2022.

Spitzhirn, M.; Benter, M.; Heindl, C.; Scheder, N.; Reisinger, G.; Strohmeier, F.; Behrendt, W.: Hybrid work systems platform-based work planning designing productive and human-centered work processes. Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft, 76(4), 489–509, 2022.

Sunk, A.; Nemeth, T.; Edtmayr, T.; Kuhlant, P.; Sihm, W.:

Modellierung logistischer Prozesse als Grundlage systematischer Verbesserungsarbeit mit Zielzuständen. In: Logistische Modellierung. 2. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog Leoben. München: Rainer Hampp Verlag, 15 – 30, 2014

ISBN: 978-3-12732-320-7



9

783127

323207