



**MTM-Schriften Industrial Engineering**  
Ausgabe 19



**Virtuelle Realität trifft MTMmotion® –  
Zusammenwirken und Validierung**

Herausgeber der MTM-Schriften Industrial Engineering:  
PD Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Kuhlang  
Geschäftsführer MTM ASSOCIATION e. V.  
Geschäftsführer MTM SOLUTIONS GmbH  
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:  
Dr. Martin Benter, Maria Neumann

© 2026, MTM ASSOCIATION e. V., MTM-Institut

Martin Benter, Maria Neumann:  
Virtuelle Realität trifft MTMmotion® – Zusammenwirken und Validierung. MTM-Schriftenreihe Industrial Engineering, Ausgabe 19. Hamburg: Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., 2026.

#### **Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

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

ISBN 978-3-945635-28-5

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](http://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
Vorwort.....	2
1 Herausforderungen bei der Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen .....	3
2 Gegenüberstellung der eingesetzten Methoden.....	5
2.1 Die MTM-Methode.....	5
2.2 Die VR-Anwendung halocline .....	7
2.3 MTMmotion®.....	8
2.4 Anbindung der MTMmotion®-Schnittstelle an halocline.....	9
3 Vergleich der Methoden.....	11
3.1 Beschreibung des Beispielarbeitsplatzes.....	11
3.2 Vorgehen bei der Erstellung einer Analyse .....	12
3.3 Aufwand für die Vorbereitung und Durchführung einer MTM-Analyse.....	12
3.4 Vorgehen zur Validierung der Eingabedaten und MTM-1®-Analysen.....	14
3.5 Vergleich der Eingabedaten .....	15
3.5.1 $\Delta$ Input1: ermittelte VR-Daten vs. angepasste VR-Daten.....	15
3.5.2 $\Delta$ Input2: angepasste VR-Daten vs. ergänzte VR-Daten .....	16
3.6 Genauigkeit der Ergebnisse.....	17
3.6.1 $\Delta$ Output1: halocline IST vs. halocline angepasst.....	17
3.6.2 $\Delta$ Output2: halocline angepasst vs. halocline ergänzt.....	17
3.6.3 $\Delta$ Output3: halocline ergänzt vs. MTM-Experten-Analyse .....	18
4 Interpretation für die Anwendung in verschiedenen Planungsphasen .....	19
5 Fazit .....	21
Literatur.....	22

*Peter Kuhlang*

Liebe Leserinnen und Leser!

Mit der vorliegenden 19. Ausgabe der Schriftenreihe „MTM-Schriften Industrial Engineering“ greifen wir ein Thema auf, das für die Weiterentwicklung moderner Arbeitsgestaltung von besonderer Bedeutung ist: die Verbindung bewährter MTM-Methodik mit digitalen Technologien zur gezielten Planung und Gestaltung menschlicher Arbeit.

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 die 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 Engineering 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.

Die vorliegende Veröffentlichung zeigt, wie Virtual Reality und MTM zusammenwirken, um Arbeitsprozesse frühzeitig fundiert zu bewerten und zu gestalten. Für die Arbeitsgestaltung eröffnet dies neue Möglichkeiten, Produktivität, Ergonomie und Planungsqualität wirksam zu verbessern. Zugleich unterstreicht die Arbeit unseren Anspruch, bewährte Methoden konsequent in digitale Anwendungsfelder zu überführen und weiterzuentwickeln.

Mein Dank gilt allen Beteiligten, die zu dieser Veröffentlichung beigetragen haben.

Peter Kuhlang, im Juni 2026

Geschäftsführer MTM ASSOCIATION e. V. und MTM SOLUTIONS GmbH  
Leiter MTM-Institut

# 1 Herausforderungen bei der Arbeitsgestaltung in Produktionssystemen

---

Im nationalen und internationalen Wettbewerb stellen Kosten einen entscheidenden Faktor für Unternehmen dar. Insbesondere die Lohnkosten spielen eine zentrale Rolle, vor allem dann, wenn ein großer Anteil der Tätigkeiten manuell ausgeführt wird [1]. Durch eine gezielte Gestaltung und zeitwirtschaftliche Bewertung dieser manuellen Prozesse können Kapazitätsbedarfe ermittelt und Verbesserungspotenziale identifiziert werden. Zur Beschreibung, Bewertung und Analyse von Arbeitsprozessen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, darunter die MTM-Methode (MTM – Methods-Time Measurement). Sie dient der objektiven Bewertung von Arbeitsabläufen, unabhängig von der ausführenden Person und ohne Berücksichtigung der Ausführungsgeschwindigkeit [2]. Die manuelle Erstellung einer MTM-Analyse erfordert jedoch fundiertes Fachwissen und Erfahrung und ist häufig zeitaufwendig. In der Folge wird diese Methode in Unternehmen nur begrenzt für die systematische Analyse und Planung von Arbeitssystemen und -methoden genutzt, wodurch erhebliche Produktivitätspotenziale ungenutzt bleiben.

Die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt sowie technologische und konzeptionelle Innovationen ermöglichen eine digitale Unterstützung und teilweise Automatisierung von Analysen und Planungsprozessen [2]. Die MTM ASSOCIATION e. V. hat diese Entwicklungen aufgegriffen und den MTMmotion®-Service entwickelt. Dieser ermöglicht es, aus digital vorliegenden Informationen valide MTM-Analysen zu erzeugen. Hierzu können unter anderem Bewegungsdaten aus Menschsimulation, Motion Capture und Virtual Reality (VR) genutzt werden. Zu den Anwendern dieses Services zählt das Unternehmen halocline mit seiner gleichnamigen VR-Software zur Modellierung von Produktionslayouts und Arbeitsprozessen. Dadurch entsteht eine praxisnahe Verbindung zwischen digitaler Planung und menschlicher Arbeitsausführung, aus der sich unmittelbare Vorteile für die industrielle Planung ergeben. Insbesondere wird eine datenbasierte und qualitätsgesicherte Arbeitsbewertung auch für kleine und mittlere Unternehmen sowie international verteilte Produktionsstandorte zugänglicher. Perspektivisch werden digitale Technologien und Werkzeuge es ermöglichen, menschliche Arbeitsprozesse mit geringem Aufwand und in höherem Detaillierungsgrad zu planen.

Die vorliegende Veröffentlichung zeigt zunächst, wie mithilfe der VR-Software von halocline über den MTMmotion®-Service eine teilautomatisierte MTM-Analyse auf Basis der im System verfügbaren Informationen generiert werden kann. Anschließend wird dargestellt, wie diese Analyse mit einer konventionellen, von einem MTM-Experten manuell erstellten Analyse verglichen und wie die Ergebnisse zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Für den Vergleich werden die folgenden Aspekte herangezogen:

- der Aufwand zur Vorbereitung und Durchführung der Analyse
- die Unterschiede in den Eingabedaten

- die Genauigkeit der Ergebnisse

Abschließend erfolgt eine Einordnung der VR-Methode hinsichtlich ihrer Anwendung in verschiedenen Planungsphasen.

## 2 Gegenüberstellung der eingesetzten Methoden

---

Für die Planung, Analyse und Bewertung von Arbeitsplätzen existieren zahlreiche Werkzeuge und Softwarelösungen. Halocline gehört zu den Tools, die den MTMmotion®-Service bereits integriert haben. Dadurch steht neben den eigentlichen Funktionen dieses VR-Tools auch eine zeitliche und ergonomische Analyse des Arbeitsplatzes zur Verfügung. In diesem Kapitel werden die eingesetzten Technologien und Werkzeuge zur Gegenüberstellung der digitalen und der manuellen Methode beschrieben.

### 2.1 Die MTM-Methode

Die MTM-Methodik wurde in den 1940er Jahren in den USA als ein System vorbestimmter Zeiten entwickelt und wird seither zur analytischen Untersuchung manueller Arbeitsprozesse genutzt. Sie dient zur Beschreibung und Strukturierung menschlicher Arbeit, mit dem Ziel, diese Arbeit effizient zu planen und zu gestalten. Grundlegende Elemente der MTM-Methodik sind die Prozessbausteine, mit denen Arbeitsprozesse abgebildet werden [3; 4; 5].

Diese Bausteine beschreiben einen definierten Arbeitsschritt und sind durch eine eindeutige Kodierung gekennzeichnet. Den Bausteinen ist zudem ein Zeitwert zugeordnet. Damit eignen sich diese Bausteine auch für die Bewertung digitaler Prozesse, da sie unabhängig von der Technologie und der Ausführungsgeschwindigkeit die menschliche Arbeit objektiv beschreiben [4; 6].

Ein vollständig mit MTM geplanter Soll-Prozess liefert dann zum einen den mit den MTM-Prozessbausteinen beschriebenen Arbeitsablauf und zum anderen einen aus der Analyse resultierenden Normzeitwert als Grundzeit für den Prozess.

Bei der Beschreibung eines Prozesses ist zunächst die Auswahl des richtigen MTM-Prozessbausteinsystems entscheidend. Zu den wichtigsten, und in MTMmotion® umgesetzten, gehören die folgenden:

- MTM-1® (MTM-Grundsystem)
- MTM-UAS® (MTM-Universelles Analysiersystem)
- MTM-MEK® (MTM für die Einzel- und Kleinserienfertigung)
- MTM-SD® (MTM-Standard Daten)
- MTM-HWD® (MTM-Human Work Design)
- EAWS® (Ergonomic Assessment Worksheet)

MTM-1® bildete die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung nachfolgender Prozessbausteinsysteme. Es wurde gezielt für Fertigungsumgebungen mit hoher Wiederholrate und kurzen Zykluszeiten konzipiert, wie sie typischerweise in der

Massenproduktion vorkommen [7]. Die wichtigsten Prozessbausteine von MTM-1® sind Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen, die zusammen den Grundzyklus bilden [4].

Das Prozessbausteinsystem MTM-HWD® deckt Zykluszeiten von 30 bis 120 Sekunden ab und wird, ähnlich wie MTM-1®, vorwiegend in der Massenproduktion eingesetzt. Ein wesentlicher Unterschied zu MTM-1® besteht darin, dass Gestaltungsmaßnahmen nicht nur unter Produktivitätsgesichtspunkten analysiert werden, sondern auch unter ergonomischen Gesichtspunkten. Durch die objektive Beschreibung menschlicher Bewegungen bietet das System zugleich eine geeignete Grundlage für die Digitalisierung der Arbeitsplanung und -gestaltung. Digital modellierte Arbeitsabläufe können mit HWD leichter mit vom Menschen ausführbaren Sollzeiten verknüpft werden. Damit stellt HWD einen wichtigen Meilenstein in der Digitalisierung der Arbeitsplanung dar und fungiert als zentraler Vorläufer von MTMmotion® [8].

MTM-SD® wurde für den Einsatz in großvolumigen und serienorientierten Produktionsumgebungen entwickelt. Die Basiswerte stellen ein vereinfachtes Bausteinsystem auf der Grundlage von MTM-1® dar. Typische Anwendungsbereiche finden sich beispielsweise bei Zulieferunternehmen der Automobilindustrie sowie in der Elektrotechnik- und Elektronikfertigung [9].

Das Prozessbausteinsystem MTM-UAS® basiert auf den charakteristischen Merkmalen der Serienfertigung und wird vorwiegend für Analysen in Unternehmen der Automobilindustrie, bei deren Zulieferern, im Maschinen- und Anlagenbau, in der Elektro- und Elektronikproduktion sowie in der Logistik eingesetzt [10].

Der Anwendungsbereich von MTM-MEK® ist typischerweise in Unternehmen des Maschinen- und Stahlbaus, des Anlagenbaus, der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie Instandhaltung und Instandsetzung, Logistik sowie Rüst- und Umstellprozesse. Innerhalb der Systeme MTM-UAS® und MTM-MEK® wurden durch Aggregation standardisierte Vorgänge für typische Tätigkeiten wie Schrauben, Oberflächenbehandlung, Spannen und Lösen, Prüfen oder Messen sowie die Montage von Normteilen entwickelt [11].

Mit EAWS® können ergonomische Defizite identifiziert werden, nicht nur in bestehenden Arbeitssystemen, sondern auch in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses, wodurch gesundheitliche Risiken minimiert werden können. Es handelt sich um die einzige Methode, mit der unterschiedliche Formen biomechanischer Belastung erfasst und zu einer Gesamtbelastung aggregiert werden können. Die Risiken in Bezug auf Körperhaltung, Aktionskräfte und Lastenhandhabung beziehen sich auf die biomechanische Gesamtbeanspruchung des Körpers. Darüber hinaus ermöglicht EAWS® die Bewertung der Belastung der oberen Extremitäten bei hochrepetitiven Tätigkeiten. Das Verfahren dient dazu, die am Arbeitsplatz vorhandenen Belastungsarten zu erfassen, ihre Zusammenhänge zu dokumentieren und sie zu einer Gesamtbelastung, der die Beschäftigten ausgesetzt sind, zu aggregieren. Hierzu werden Körperhaltungen, Aktionskräfte,

Lastenhandhabung sowie Beanspruchungen durch hochrepetitive Tätigkeiten erfasst und bewertet [12].

Nach dem Auswählen des richtigen MTM-Prozessbausteinsystems wird der Arbeitsauf-  
lauf mit den entsprechenden Prozessbausteinen analysiert. Für jeden Baustein müssen  
anschließend die zugehörigen Einflussgrößen ermittelt werden. Diese lassen sich einteilen  
in Einflussgrößen, die die Länge der Bewegungen des Bausteins abbilden, und in Ein-  
flussgrößen, die den benötigten Kontrollaufwand bei der Ausführung beschreiben [4; 7].

## 2.2 Die VR-Anwendung halocline

Der Begriff Virtual Reality steht für eine computergenerierte, interaktive virtuelle Wirk-  
lichkeit, die den Nutzer vollständig immersiv einbindet und die physische Realität aus-  
blendet. Hierfür trägt der Nutzer eine VR-Brille, mit der er in die digitale und dreidimen-  
sionale Welt eintaucht, sich dort bewegt und mit dem Geschehen interagiert [13].

Der industrielle Einsatz von VR hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen  
[14]. Das Arbeiten in virtuellen Umgebungen bietet Vorteile für die Produktionsplanung,  
da Prozesse kosten- und ressourceneffizient gestaltet und optimiert werden können.  
Ideen und Abläufe lassen sich anschaulich visualisieren, da die Verarbeitung räumlicher  
Daten die menschliche Vorstellungskraft unterstützt. Dadurch kann auch empirisches  
Wissen in die digitale Welt übertragen werden. Zudem ist VR ortsunabhängig einsetzbar,  
wodurch Fachleute aus unterschiedlichen Bereichen gemeinsam an der Visualisierung  
und Planung von Fabriken, Maschinen und Arbeitsplätzen arbeiten können [15]. Halo-  
cline stellt diese Funktionen in einer VR-Software mit den folgenden zentralen Paketen  
bereit:

- Fabriklayout
- Arbeitsplatzgestaltung
- Produktionsplanung

Mit der Funktion des Fabriklayouts können Fabriken entweder neu geplant oder auf be-  
stehenden Strukturen aufbauend modelliert werden. Dies unterstützt das Verständnis  
räumlicher Dimensionen und erleichtert die Identifikation von Anpassungsbedarfen im  
Gebäude. Layouts lassen sich durch das Verschieben und Austauschen von Elementen an  
die Produktionsanforderungen anpassen. Die visuelle Aufbereitung der Planung ermög-  
licht es verschiedenen Beteiligten, diese nachzuvollziehen und in Entscheidungsprozesse  
einzubeziehen [16].

Das Modul zur Arbeitsplatzgestaltung ermöglicht die Visualisierung und Anpassung von  
Arbeitsplätzen in der VR-Umgebung. Dabei können sowohl vorgefertigte Komponenten  
als auch importierte CAD-Daten (Computer-Aided Design) verwendet werden, um virtu-  
elle Arbeitsplätze zu erstellen. Während CAD-Modelle nicht skaliert werden können, las-  
sen sich Umgebungen mithilfe skalierbarer geometrischer Elemente aufbauen und Bibli-  
otheksobjekte anpassen. Dies unterstützt die Umsetzung eines digitalen Cardboard

Engineerings und erlaubt die Erstellung sowie den Vergleich unterschiedlicher Arbeitsplatzvarianten [17].

Das Modul zur Produktionsplanung dient der virtuellen Planung von Montage- und Prozessabläufen. Dadurch können erste Prototypen abgebildet und potenzielle Herausforderungen vor der physischen Umsetzung identifiziert werden. Die Funktionen ermöglichen es, Planungsinhalte im Kontext der gesamten Fabrik zu betrachten und Prozesse im Verhältnis zur Gesamtstruktur einzuordnen [18].

Zur Erfassung detaillierter Bewegungsdaten verwendet die Software VR-Brillen und Controller zur Bestimmung von Kopf- und Handpositionen. Ein biomechanisches Modell schätzt die Körperhaltung des Oberkörpers, während Bewegungsdaten der Beine derzeit nicht durch halocline erfasst werden.

### 2.3 MTMmotion®

Ziel der Entwicklung von MTMmotion® war es, Technologien, die menschliche Bewegungsdaten erzeugen oder verarbeiten, in die Lage zu versetzen, valide MTM-Analysen abzuleiten. Durch die Integration der MTM-Methodik können Anwender Arbeitsplätze gezielt analysieren und gestalten. Zudem dient MTMmotion® der Verbreitung der MTM-Methoden und unterstützt deren korrekte Anwendung [14; 15].

Zur Umsetzung dieses Ziels besteht der MTMmotion®-Service aus zwei zentralen Bestandteilen. Der erste Bestandteil ist die MTMmotion®-Schnittstelle, die als eine Art digitale Sprache zur Beschreibung menschlicher Arbeitsprozesse verstanden werden kann. Sie enthält die wesentlichen Informationen, die zur Erstellung von MTM-Analysen erforderlich sind (vgl. Abbildung 1). Die Schnittstelle umfasst Objektdaten, Ablauf- und Ergonomiedaten, Arm- und Körperbewegungen, Körperhaltungen sowie Beschreibungen der Interaktion mit den am Arbeitsplatz vorhandenen Objekten. Die Objektliste beinhaltet die während der Arbeitshandlung verwendeten Objekte sowie relevante Eigenschaften wie Gewicht und Abmessungen zur näheren Beschreibung. Arm- und Körperbewegungen bilden sämtliche vom Werkenden durchgeführte Bewegungen ab. Die Körperhaltungen erfassen die Haltung der Person während des Arbeitsprozesses. Besonders relevant sind die Informationen zu den Objekten und Armbewegungen, da sie die wesentlichen Inhalte der Arbeitsaufgabe abbilden.

Die Schnittstelle beschreibt die Informationen zum Arbeitsprozess möglichst objektiv. Das bedeutet, dass bei der Bereitstellung der Informationen die MTM-Regeln nicht berücksichtigt werden müssen. Dadurch wird die Ableitung der Daten aus digitalen Technologien erleichtert [19].

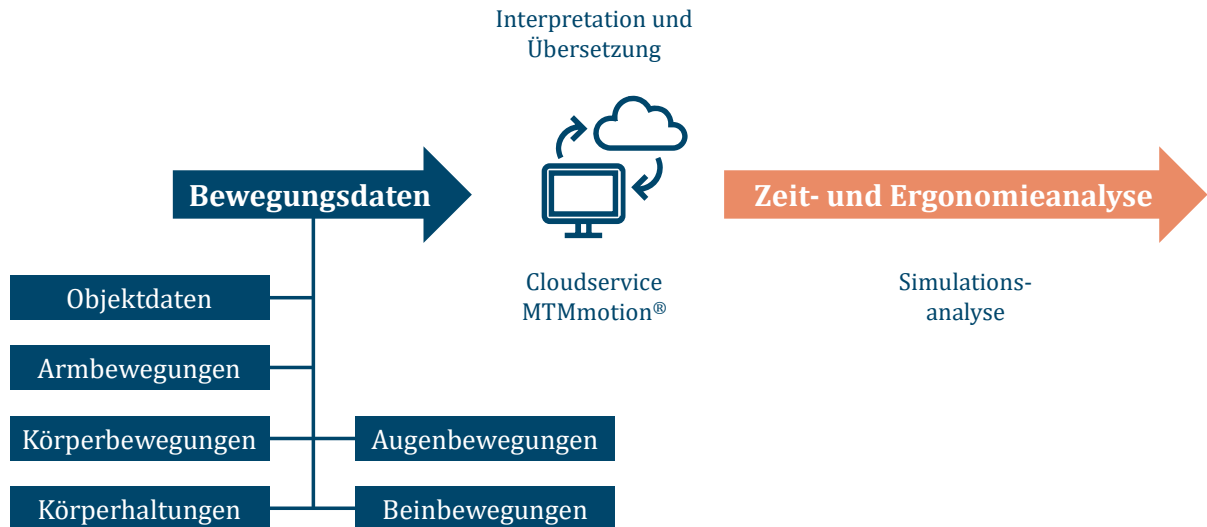


Abbildung 1: Aufbau der MTMmotion®-Schnittstelle

Der zweite Bestandteil ist ein Übersetzungsalgorithmus, der aus diesen Informationen regelkonforme Analysen ableitet. Dieser Prozess umfasst die folgenden Schritte:

- Validierung und Anpassung der Bewegungsdaten
- Validierung und Anpassung der Eingangsdaten
- Überführung der Daten in MTM-Bausteine
- Bestimmung der korrekten Reihenfolge der MTM-Bausteine
- Erzeugung der MTM-Analyse

Dazu prüft der Algorithmus zunächst die bereitgestellten Informationen auf inhaltliche Korrektheit, beispielsweise, ob bewegte Objekte zuvor tatsächlich gegriffen wurden. Anschließend werden fehlende Informationen ergänzt, sofern diese durch die zugrunde liegende Technologie nicht erfasst wurden. In solchen Fällen werden fehlende Daten durch Standardwerte ergänzt. Im nächsten Schritt werden die Informationen in MTM-Bausteine überführt. Abschließend erfolgt die Festlegung der Reihenfolge dieser Bausteine. Dabei wird beispielsweise überprüft, ob beide Hände gleichzeitig Tätigkeiten ausführen. Ist dies der Fall, können die entsprechenden Bausteine in bestimmten Fällen parallel ausgeführt werden [14; 15]. Zum Schluss wird aus diesen aufbereiteten Daten eine valide und regelkonforme Simulationsanalyse erstellt.

Diese modulare Struktur, bestehend aus Schnittstelle und Algorithmus, stellt sicher, dass der MTMmotion®-Service in unterschiedliche digitale Werkzeuge integriert werden kann und gleichzeitig die Einhaltung der MTM-Standards gewährleistet bleibt.

## 2.4 Anbindung der MTMmotion®-Schnittstelle an halocline

Die VR-Software von halocline enthält bereits einen Großteil der Informationen, die von der MTMmotion®-Schnittstelle zur Erstellung valider MTM-Analysen benötigt werden. Die Objektdaten liegen in Form von CAD-Daten vor. Darüber hinaus muss im System spezifiziert werden, welcher Objekttyp für jedes Objekt vorliegt und wie es verwendet wird.

Dadurch erhält der Algorithmus Informationen über die Interaktionen zwischen den Objekten und ihrer Montage.

Die VR-Software erkennt Armbewegungen automatisch, während Körperbewegungen nur teilweise erfasst werden. Aktuell wird lediglich das Gehen über die „Teleportieren“-Funktion abgebildet; andere Bewegungen wie Drehen oder Bücken werden derzeit nicht berücksichtigt. Bein- und Augenbewegungen werden im aktuellen Stand der Technik nicht erfasst. Für die Abbildung manueller Tätigkeiten sind sie weniger relevant als Arm- und Körperbewegungen sowie Objektinformationen. Zwar treten Bein- und Augenbewegungen in Fertigungsprozessen auf, ihr Einfluss auf die MTM-Zeit ist jedoch gering. Augenbewegungen sind dadurch gekennzeichnet, dass Informationen gelesen oder überprüft werden müssen. Da eine eindeutige Erkennung und Abgrenzung dieser schwierig ist und sie lediglich einen kleinen Anteil des Arbeitsprozesses ausmachen, ist das Fehlen dieser Informationen von geringer Bedeutung. Da die teilautomatisierte MTM-Analyse einem Simulationsansatz entspricht und informationsbedingte Lücken je nach eingesetzter Software bestehen können, empfiehlt es sich, die Analyse vor weiteren Schritten durch einen MTM-Experten zu überprüfen.

# 3 Vergleich der Methoden

Dieses Kapitel stellt das Vorgehen der Validierung sowie deren Ergebnisse dar. Dabei wird eine automatisch generierte Analyse mit einer manuellen Analyse als Referenz verglichen. Zunächst wird der Beispielarbeitsplatz beschrieben und erläutert, wie die jeweilige MTM-Analyse erstellt wurde. Anschließend werden der Aufwand für die Vorbereitung und Durchführung der Analysen, die zugrunde liegenden Eingangsdaten sowie die erzielte Genauigkeit gegenübergestellt. Abschließend erfolgt eine Diskussion der Anwendbarkeit über verschiedene Planungsphasen hinweg.

## 3.1 Beschreibung des Beispielarbeitsplatzes

Im vorliegenden Beispiel wird ein Lenker mit einer Federgabel an einem Fahrrad montiert (vgl. Abbildung 2). Der Prozess beginnt mit dem Aufsetzen der unteren Lagereinheit auf die Federgabel. Die Federgabel wird mit der linken Hand aufgenommen, die obere Lagereinheit mit der rechten Hand, und beide werden zur Produktionslinie transportiert. Das Fahrrad ist so positioniert, dass die Gabel mit der linken Hand in die Rahmenöffnung eingeführt werden kann, während die rechte Hand die obere Lagereinheit aufsetzt, ohne dass Bauteile verrutschen. Anschließend wird die vormontierte Lenkereinheit mit beiden Händen aufgenommen und auf die Federgabel geschoben. Mit der rechten Hand wird die Vorbaukappe aufgenommen, mit der linken Hand die Vorbauschraube; beide werden gemeinsam eingesetzt und auf der Lenkereinheit positioniert. Abschließend werden drei Schrauben, zu denen unter anderem die Vorbauschraube gehört, mit einem Akkuschauber festgeschraubt.

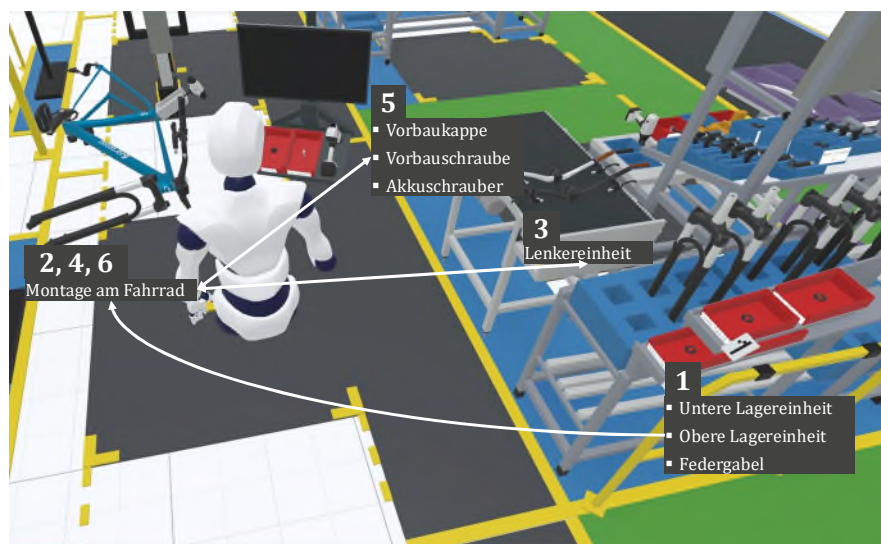


Abbildung 2: Layout des Arbeitsplatzes in der VR-Software

Der gesamte Arbeitsplatz mit allen erforderlichen Bauteilen und Prozessschritten wurde in der VR-Software von halocline modelliert. Zur Interaktion in der virtuellen Umgebung werden eine VR-Brille sowie handgeführte Controller verwendet. Die Ausführung der Arbeitsschritte dauert in der VR-Umgebung etwa 20 Sekunden.

Nach der Aufzeichnung der Simulation wird ein Datensatz erzeugt, der alle erforderlichen Objekt- und Bewegungsinformationen enthält, um über MTMmotion® eine regelkonforme MTM-Analyse zu generieren.

### **3.2 Vorgehen bei der Erstellung einer Analyse**

Um eine MTM-Analyse aus der VR-Software zu erhalten, muss zunächst einmal der Arbeitsplatz in der VR-Umgebung erstellt werden. Dafür werden CAD-Daten in die Software geladen und Baugruppen daraus abgeleitet. Anschließend werden Betriebsmittel und Arbeitsplatz in halocline modelliert und mit den entsprechenden MTMmotion®-Informationen verknüpft. Nachdem der Arbeitsablauf durchgeführt und die dazugehörigen Daten aufgenommen wurden, werden diese Daten in die MTMmotion®-Schnittstelle übergeben. Diese liefert als Ergebnis dann eine den Eingangsdaten entsprechende MTM-Analyse.

Das manuelle Erstellen einer MTM-Analyse durch einen Experten unterscheidet sich im Ablauf wesentlich von der VR-Methode. Hier wird, was in dem verwendeten Anwendungsbeispiel der Fall ist, kein Arbeitsplatz aus der Realität, sondern der VR-Ablauf beobachtet. Es ist in halocline möglich, ein Video des Arbeitsablaufs zu erhalten. Diese Beobachtung der Prozesse in Kombination mit der Ermittlung von zusätzlichen Daten wie bspw. Bewegungslängen, Objektinformationen und -bereitstellungen liefert die Grundlage für das Erstellen einer manuellen MTM-Analyse. Diese Analyse wird per Hand auf Papier oder in einer Software erstellt und liefert so den zeitlichen Verlauf der Prozesse.

Das vorgestellte Vorgehen kann für den Vergleich von MTM-Analysen für alle MTM-Prozessbausteinsysteme, die in MTMmotion® verfügbar sind, angewendet werden. Für die in dieser Veröffentlichung durchgeführte Validierung der MTM-Analysen wurde das MTM-Prozessbausteinsystem MTM-1® verwendet.

### **3.3 Aufwand für die Vorbereitung und Durchführung einer MTM-Analyse**

Die VR-Methode wird in Tabelle 1 mit der manuellen Methode hinsichtlich der notwendigen Schritte für die Erstellung einer MTM-Analyse, in diesem Fall einer MTM-1®-Analyse, verglichen. Dabei überschneiden sich Punkte teilweise bei den Methoden, viele werden aber nur speziell bei einer der Methoden durchgeführt. Außerdem ist zu beachten, dass dieser Vergleich unter Laborbedingungen stattgefunden hat, sodass Zeitanteile in der Realität aufgrund von unvorhergesehenen Problemen mit der Technik oder dem Arbeitsplatz vor Ort in der Fabrik deutlich höher ausfallen können.

Tabelle 1: Vergleich der Aufwände bei der Vorbereitung und Durchführung der MTM-1®-Analyse

Schritte	Beschreibung	Aufwände [min.]	
		VR-Methode	Manuelle Methode
1	VR-Equipment anziehen und VR-Umgebung begrenzen	7	
2	CAD-Daten in VR laden und Baugruppen ableiten	15	
3	Arbeitsplatz und Betriebsmittel in VR erstellen	50	
4	Bauteile und Betriebsmittel vermessen		10
5	Arbeitsplatz ausmessen		25
6	Ablaufdetails besprechen	5	5
7	Ablauf durchführen und Video aufnehmen	5	5
8	Speichern der Daten	2	
9	MTM-1®-Analyse erstellen	1	120
<b>Summe</b>		<b>85</b>	<b>165</b>

Die VR-Methode mit halocline umfasst insgesamt sieben Schritte, bei denen das Erstellen des Arbeitsplatzes und der Betriebsmittel in der VR-Umgebung den größten Zeitanteil hat. Hinzu kommt, dass vorhandene CAD-Daten der Objekte und Betriebsmittel in die Software geladen und daraus Baugruppen abgeleitet werden müssen. Insgesamt benötigt die VR-Methode für das beschriebene Beispiel ca. 85 Minuten, um den Arbeitsplatz in halocline aufzubauen, den Arbeitsablauf durchzugehen und diesen dann mit Hilfe von MTM-motion® als MTM-1®-Analyse bewerten zu lassen.

Die manuelle Methode weist bei der eigentlichen Erstellung der MTM-1®-Analyse den höchsten Zeitwert auf. Außerdem müssen die verwendeten Objekte sowie der Arbeitsplatz ausgemessen werden, um entsprechende Entfernungen genau definieren zu können. Die manuelle Methode kommt insgesamt auf einen Zeitwert von 165 Minuten, was im Vergleich zur VR-Methode ungefähr das Doppelte der Zeit ist.

Dieser Vergleich kann auch für die Erstellung von MTM-Analysen aus anderen MTM-Prozessbausteinsystemen herangezogen werden, wobei sich der Zeitwert für die manuelle Erstellung der MTM-Analyse zwischen den unterschiedlichen MTM-Prozessbausteinsystemen unterscheiden wird. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrades von MTM-1® ist die Erstellung der MTM-Analyse zeitaufwändiger als beispielsweise bei den höher aggregierten MTM-Prozessbausteinsystemen MTM-UAS® und MTM-MEK®.

Es muss außerdem hervorgehoben werden, dass nach Erstellung des Arbeitsplatzes in der VR-Umgebung das weitere Arbeiten an diesem zeitlich geringer ausfallen wird als die eigentliche Erstellung. Für die Erzeugung von Varianten des Arbeitsplatzes und dessen Vergleich ist ein wesentlich geringerer Zeitanteil notwendig, da die Strukturen bereits

vorhanden sind. Auf der anderen Seite müssen die Schritte bei der Erstellung einer manuellen MTM-Analyse bei jeder Arbeitsplatzvariante neu durchgeführt werden, wobei sich die Zeitanteile nur geringfügig verändern werden.

### 3.4 Vorgehen zur Validierung der Eingabedaten und MTM-1<sup>®</sup>-Analysen

Für den Vergleich der Eingabedaten und MTM-1<sup>®</sup>-Analysen wurde das nachfolgende Vorgehen verwendet.

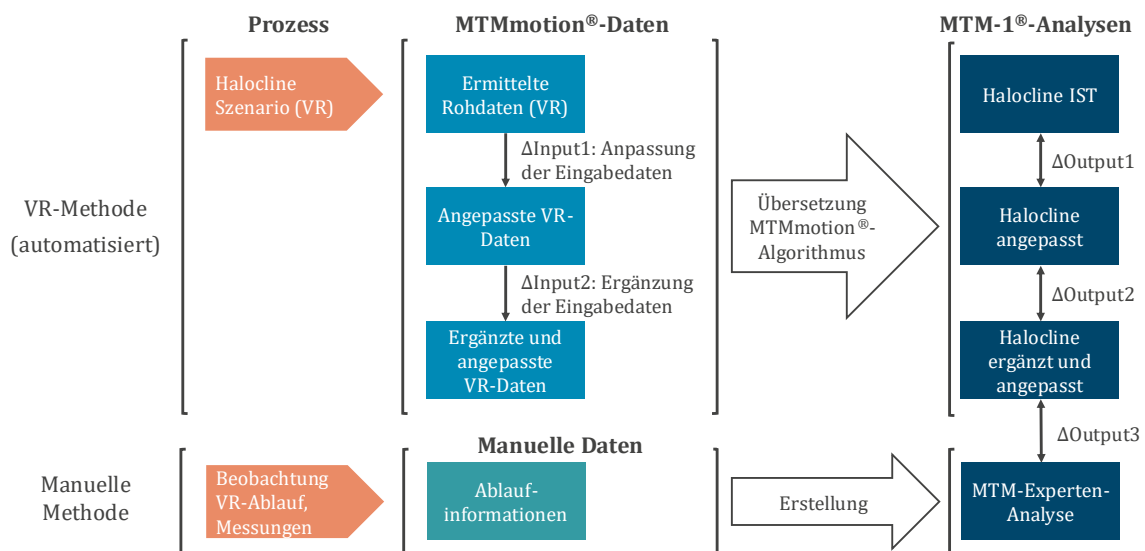


Abbildung 3: Vorgehen bei der Validierung der Eingangsdaten und MTM-1<sup>®</sup>-Analysen

Die ermittelten VR-Daten aus halocline bilden die erste Datengrundlage für MTMmotion<sup>®</sup>. Sie wurden, wenn fehlende Daten vorhanden waren, durch den Algorithmus von MTMmotion<sup>®</sup> mit Standarddaten ergänzt. Im ersten Schritt wurde von einem Mitarbeiter des MTMmotion<sup>®</sup>-Teams überprüft, wo, basierend auf dem Video, andere Daten erwartet wurden. Diese Datenstellen wurden angepasst ( $\Delta\text{Input1}$ ). Diese Anpassungen wurden nur an den bereits vorhandenen Informationen aus der VR vorgenommen. Im zweiten Schritt wurden diese angepassten VR-Daten um nicht betrachtete Daten, wie beispielsweise Augenfunktionen oder Körperhaltungen, die mit halocline im jetzigen Stand der Technik nicht erfasst werden können, ergänzt ( $\Delta\text{Input2}$ ). Der Vergleich der Eingabedaten wird also folgendermaßen durchgeführt:

- $\Delta\text{Input1}$ : ermittelte VR-Daten vs. angepasste VR-Daten und
- $\Delta\text{Input2}$ : angepasste VR-Daten vs. ergänzte VR-Daten.

Die MTM-1<sup>®</sup>-Analysen werden einerseits automatisiert aus den drei beschriebenen Datensätzen erzeugt und andererseits manuell von einem MTM-Experten erstellt. Dabei spiegelt die erste MTM-1<sup>®</sup>-Analyse den Ist-Zustand der VR-Daten wider. Die zweite MTM-1<sup>®</sup>-Analyse basiert auf dem angepassten VR-Daten und stellt den erwarteten Arbeitsprozess aus dem VR-Video da. Diese Analyse wird im ersten Vergleich der des Ist-

Zustandes gegenübergestellt ( $\Delta\text{Output1}$ ), um zu untersuchen, wie sich die Änderung der Daten auf die MTM-1<sup>®</sup>-Analyse ausgewirkt hat. Anschließend wurde aus dem angepassten und durch nicht betrachtete Daten ergänzten Datensatz eine dritte MTM-1<sup>®</sup>-Analyse erstellt. Diese enthält alle Informationen, um eine sehr genaue MTM-1<sup>®</sup>-Analyse zu erstellen, und wurde mit der zweiten MTM-1<sup>®</sup>-Analyse verglichen ( $\Delta\text{Output2}$ ). Die manuell erstellte MTM-1<sup>®</sup>-Analyse stammt aus keinem VR-Datensatz, sondern aus der Beobachtung des Arbeitsprozesses und durch Messungen am Arbeitsplatz. Sie wird im letzten Schritt mit der dritten MTM-1<sup>®</sup>-Analyse verglichen. Die MTM-1<sup>®</sup>-Analysen werden zusammengefasst wie folgt einander gegenübergestellt:

- $\Delta\text{Output1}$ : halocline IST vs. halocline angepasst
- $\Delta\text{Output2}$ : halocline angepasst vs. halocline ergänzt
- $\Delta\text{Output3}$ : halocline ergänzt vs. MTM-Experten-Analyse

Die vorgestellten Schritte sind notwendig, um zu untersuchen, wie genau die halocline Software bereits Bewegungsdaten und deren Eigenschaften erfasst, welche Änderungen für eine genauere MTM-1<sup>®</sup>-Analyse durchgeführt werden könnten und ob sich durch das genaue Erfassen einzelner Einflussfaktoren signifikante Änderungen in den MTM-1<sup>®</sup>-Analysen ergeben. Auch hier wird darauf hingewiesen, dass das Vorgehen für den Vergleich der Eingangsdaten und MTM-Analysen auf die anderen MTM-Prozessbausteinsysteme, die in MTMmotion<sup>®</sup> umgesetzt wurden, übertragen werden kann. Auf die unterschiedlichen Vergleiche wird auf den folgenden Seiten eingegangen.

## 3.5 Vergleich der Eingabedaten

### 3.5.1 $\Delta\text{Input1}$ : ermittelte VR-Daten vs. angepasste VR-Daten

Zunächst werden die aus der VR-Software ermittelten Daten mit dem angepassten VR-Datensatz verglichen ( $\Delta\text{Input1}$ ). Im Originaldatensatz wurden für den verwendeten Beispielarbeitsplatz 26 Armbewegungen und drei Körperbewegungen (dreimal Gehen) erfasst. In den ermittelten VR-Daten ist eine sich wiederkehrende Abweichung aufgefallen: Armbewegungen beginnen immer mit dem Ende der vorherigen Armbewegung, was im Zusammenspiel mit Körperbewegungen zu einem unerwarteten Bewegungsablauf führt. Dies wird anhand eines Auszugs aus dem Arbeitsplatz deutlich. In halocline nimmt der Werkende die Federgabel auf, bewegt diese zur Verwendungsstelle und geht währenddessen zum Fahrradrahmen, an den die Federgabel montiert werden soll. Dieser Ablauf führt dazu, dass das Bringen der Federgabel zur Verwendungsstelle zeitgleich mit dem Gehen stattfindet und auch über die Bewegungslänge des Gehens ausgeführt wird. Erwartet wurde dieser Prozess aber wie folgt: der Werkende nimmt die Federgabel nach dem Aufnehmen vor den Körper, geht damit zum Fahrradrahmen, bringt dann die Federgabel zur Verwendungsstelle und montiert diese. Das Bewegen der Federgabel zur Verwendungsstelle beginnt erst nach dem Gehen, zeitlich und auch auf die Entfernung bezogen, denn auch die Entfernung für das Gehen wurde in halocline zur Bewegungslänge für das Bewegen des Objektes zur Verwendungsstelle hinzugerechnet. Aus diesem Grund

wurden im angepassten Datensatz vier Armbewegungen (vor Körper) ergänzt. Die entsprechenden Daten zu dem Datensatzauszug können dem nachfolgenden Vergleich entnommen werden.

Ermittelte VR-Daten				Angepasste VR-Daten			
Objekt	Bewegung	Startzeit [s]	Endzeit [s]	Objekt	Bewegung	Startzeit [s]	Endzeit [s]
Federgabel	Aufnehmen	7,08	7,59	Federgabel	Aufnehmen	7,08	7,59
Federgabel	Zur Verwendungsstelle	7,61	17,85	Federgabel	Vor Körper	7,60	8,20
Gehen	-	14,49	15,45	Gehen	-	8,85	15,45
Federgabel	montieren	17,86	20,51	Federgabel	Zur Verwendungsstelle	15,5	17,85
				Federgabel	montieren	17,86	20,51

Abbildung 4: Auszug der Daten aus  $\Delta$ Input1

Bei vier Armbewegungen (15,4% Abweichung) und bei einer Körperbewegung (33,3% Abweichung) wurde die Startzeit angepasst. Mit einer Abweichung von 3,9% wurden die Endzeiten bei den Armbewegungen geändert. Dies resultiert aus dem bereits beschriebenen Sachverhalt, bei dem ein Gehen auf ein Aufnehmen folgt und das anschließende Bewegen des Objekts zu einer Verwendungsstelle gleichzeitig mit dem Gehen ermittelt wird. Idealerweise sollte der Ablauf wie folgt sein: Objekt aufnehmen, vor Körper nehmen, Gehen, Objekt zur Verwendungsstelle bringen und verwenden. Um dies sicherzustellen, wurde der Bewegungsablauf durch Änderung der Start- bzw. Endzeit angepasst.

Die Bewegungslänge wurde bei 11 der 26 Armbewegungen angepasst, was einer Abweichung von 42,3% entspricht. Hierfür gab es zwei Gründe: Das Aufnehmen eines Objektes, was im Beispiel sechsmal vorkommt, wurde jedes Mal mit einer Bewegungslänge unter 10 cm, teilweise sogar unter 5 cm, angegeben. Dies ist in der Realität nicht umsetzbar für diese Art der Bewegung. Da das Bewegen eines Objektes zur Verwendungsstelle dreimal gleichzeitig mit einem Gehen passiert und auch die Gehentfernung der Bewegungslänge dieser Armbewegungen zugeteilt wurde, gab es bei diesen Fällen Bewegungslängen von 188 cm bis 245 cm, was ebenfalls in der Realität als Armbewegung nicht umsetzbar und auch nicht zumutbar ist. Da die reelle Bewegungslänge aber erst nach dem Gehen einbezogen werden sollte, wurden diese Werte angepasst.

Zwei Verwendungsarten (22,2% Abweichung) wurden geändert, da sie eher der eigentlichen Verwendung des Objektes entsprochen haben. Dies ist eine Einstellung, die in der halocline Software geändert werden kann. Also ein vermeidbarer Fehler, wenn sich vorher auf bestimmte Standards geeinigt wird.

Keine Änderungen wurden bei den ausführenden Extremitäten, den Prozesszeiten und Entfernungen beim Gehen vorgenommen.

### 3.5.2 $\Delta$ Input2: angepasste VR-Daten vs. ergänzte VR-Daten

Nach diesem Vergleich wurde der angepasste Datensatz um nicht betrachtete Daten ergänzt ( $\Delta$ Input2). Halocline ist im jetzigen Stand der Technik in der Lage, Armbewegungen

und das Gehen als Körperbewegung zu erkennen und auszugeben. Die MTMmotion®-Schnittstelle bietet noch weitere Werte an, mit denen MTM-Analysen noch genauer erstellt werden können. Zu ihnen gehören:

- Drehen als Körperbewegung
- Beinbewegungen (z. Bsp.: das Bedienen eines Fußstasters)
- Augenbewegungen (z. Bsp.: Prüftätigkeiten)
- Körperhaltungen (z. Bsp.: Vorbeugen)
- Armhaltungen (z. Bsp.: Arbeiten über Kopf)

In dem vorliegenden Beispiel spielt nur das Drehen als Körperbewegung eine Rolle, alle anderen Bewegungen und Haltungen sind nicht aufgetreten. Außerdem wurde überprüft, ob die Standardwerte, die fehlende Daten im angepassten VR-Datensatz ergänzt haben, der Ausführung der Arbeitsaufgabe entsprochen haben oder geändert werden mussten. An den Standarddaten wurden keine Änderungen vorgenommen, da sie eine sinnvolle Arbeitsausführung repräsentieren. Die einzige Ergänzung, die gemacht wurde, war das Hinzufügen einer zusätzlichen Körperdrehung vor dem ersten erfassten Gehen. Dadurch ändert sich die Startzeit für das Gehen. Weitere Änderungen wurden an diesem Datensatz nicht vorgenommen.

### **3.6 Genauigkeit der Ergebnisse**

Die MTM-1®-Analysen, die aus den bereits beschriebenen Datensätzen entstanden sind, werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Ausführungszeit und möglichen Gründen für Unterschiede in den Analysen verglichen.

#### **3.6.1 $\Delta$ Output1: halocline IST vs. halocline angepasst**

Zunächst wird  $\Delta$ Output1 (halocline IST vs. halocline angepasst) betrachtet. Die MTM-1®-Analyse aus dem VR-Datensatz hat eine Gesamtzeit von 20,0 Sekunden. Im Vergleich dazu hat die Analyse, die auf dem angepassten Datensatz beruht, eine Gesamtzeit von 24,41 Sekunden. Die Hauptursache für diesen zeitlichen Unterschied (4,41 Sekunden) ist die erwähnte Abweichung im Ablauf, die aus der Kombination eines Gehens mit dem Bringen des Objektes zur Verwendungsstelle resultiert. Dies führt in der ersten MTM-1®-Analyse dazu, dass die Zeitanteile für das Gehen in den Zeitanteilen für das Bringen zur Verwendungsstelle untergehen und somit bei der Gesamtzeit fehlen. Außerdem wurden in der Analyse zum Ist-Zustand (VR-Daten) Bewegungen zum Aufnehmen von Gegenständen mit einer sehr kurzen Bewegungslänge ausgegeben, was wiederum zu sehr kurzen Ausführungszeiten für diese Bewegungen führt.

#### **3.6.2 $\Delta$ Output2: halocline angepasst vs. halocline ergänzt**

Dieser Vergleich bezieht nun Daten mit ein, die durch die VR-Software im Moment noch nicht erfasst werden können. Da in diesem Anwendungsbeispiel lediglich eine Körperdrehung fehlt, ist die Zeitdifferenz zwischen der MTM-1®-Analyse des angepassten

Datensatzes (24,41 Sekunden) zu der des ergänzten Datensatzes (25,08 Sekunden) marginal. Sie beträgt genau 0,67 Sekunden, da dies der Zeitwert ist, der für die im Beispiel definierte Körperdrehung benötigt wird.

### 3.6.3 $\Delta$ Output3: halocline ergänzt vs. MTM-Experten-Analyse

Der Vergleich der MTM-1<sup>®</sup>-Analyse auf Grundlage des ergänzten Datensatzes wird im letzten Schritt mit der manuell erzeugten MTM-1<sup>®</sup>-Analyse eines MTM-Experten verglichen. Die Gesamtzeit der manuellen MTM-Experten-Analyse beträgt 24,08 Sekunden und ist somit eine Sekunde geringer als die Zeit, die bei der MTM-1<sup>®</sup>-Analyse des ergänzten VR-Datensatzes ermittelt wurde. Dies lässt sich zum einen durch einen Unterschied in der Bewertung von Beidhandarbeit durch den MTM-Experten und den MTMmotion<sup>®</sup>-Algorithmus erklären. Der MTM-Experte geht bei diesem Beispielarbeitsplatz von einer Person aus, die mit der Arbeitsaufgabe vertraut und darin geübt ist. Dies führt dazu, dass gewisse Bewegungen mit der linken und rechten Hand gleichzeitig ausgeführt werden können. Da der Algorithmus von MTMmotion<sup>®</sup> keine individuelle Bewertung des Werkers und dessen Fähigkeiten vornehmen kann, wurde bei der Entwicklung ein konservativerer Ansatz gewählt: wenn die gleichzeitige Ausführung von Bewegungen eine geübte Person voraussetzt, wurden diese Bewegungen als nicht gleichzeitig ausführbar definiert. Somit fallen Zeitwerte bei der MTM-Experten-Analyse weg. Zum anderen gibt es leichte Abweichungen bei den Bewegungslängen, die sich in einem Bereich von einem bis zehn Zentimetern befinden.

In Abbildung 5 sind die Gesamtzeiten der verschiedenen MTM-1<sup>®</sup>-Analysen noch einmal im grafischen Vergleich dargestellt:

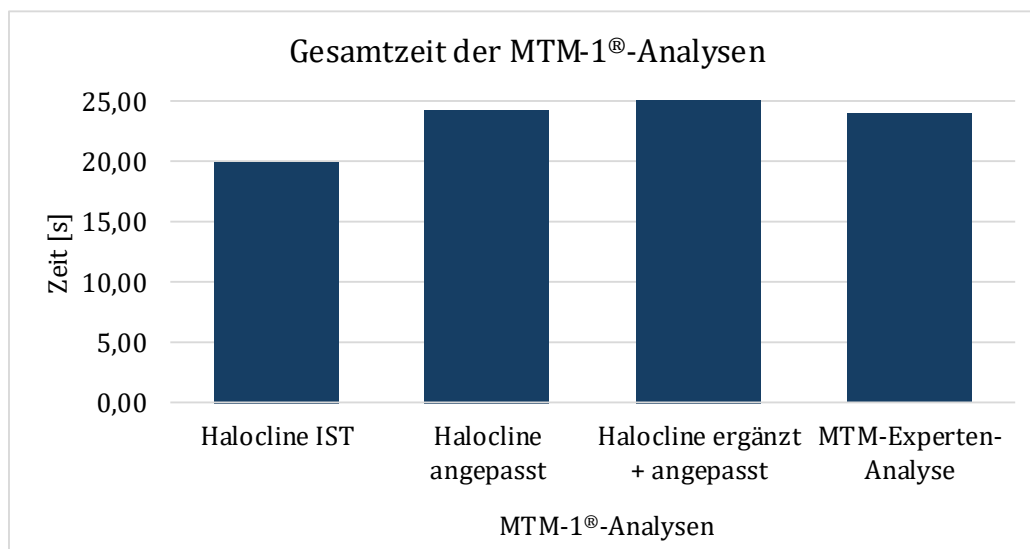


Abbildung 5: zeitlicher Vergleich der MTM-1<sup>®</sup>-Analysen

## 4 Interpretation für die Anwendung in verschiedenen Planungsphasen

---

Cardboard Engineering wurde lange Zeit eingesetzt, um Produktionsprozesse und Betriebsmittel zu gestalten. Hierbei wird ein physisches Modell im Maßstab 1:1 aufgebaut, das anschließend als Grundlage für manuelle MTM-Analysen dient. Dieser Ansatz ist zwar effektiv, erfordert jedoch einen erheblichen Aufwand an Platz, Zeit und Expertenressourcen [20]. Eine effiziente Alternative besteht darin, mithilfe einer VR-Anwendung einen virtuellen Arbeitsplatz zu erstellen und die MTM-Analyse digital über den MTMmotion®-Service durchzuführen. Mit der vorgestellten digitalen Lösung können geplante Prozesse und Designs deutlich schneller und kosteneffizienter erstellt und verglichen werden. Daher eignet sich diese Methode insbesondere zur Verbesserung von Arbeitsplätzen und Prozessen in der Arbeitsgestaltung sowie zur Analyse laufender Produktionsprozesse [21]. Die Digitalisierung des Cardboard Engineering verbindet somit eine bewährte Methode mit neuen digitalen Werkzeugen.

Die VR-Methode bietet zudem Vorteile in weiteren Anwendungsbereichen, beispielsweise in der Produktplanung. Durch das Einbinden von CAD-Daten kann analysiert werden, wie neue Produkte gehandhabt werden können und an welchen Stellen bereits in einer frühen Designphase Optimierungspotenziale bestehen. Die immersive 3D-Visualisierung ermöglicht dabei eine ganzheitliche Betrachtung des Produkts und macht Aspekte sichtbar, die in zweidimensionalen Darstellungen nur schwer zu bewerten sind.

Darüber hinaus können Mitarbeitende, Fachleute und Werkende unabhängig von ihrem Standort in alle genannten Anwendungsbereiche eingebunden werden. Dadurch können Ideen und Konzepte zur Verbesserung von Produkten, Arbeitsprozessen oder gesamten Produktionssystemen schnell und unkompliziert eingebracht werden. Die dreidimensionale Darstellung unterstützt alle Beteiligten dabei, Vorschläge besser zu verstehen und gemeinsam optimale Lösungen zu entwickeln.

Das vorgestellte Vorgehen lässt sich mit anderen MTM-Prozessbausteinsystemen wiederholen bzw. auf diese übertragen. Hier ist zu erwarten, dass speziell für die MTM-Prozessbausteinsysteme MTM-UAS®, MTM-MEK® und MTM-SD® ein reduzierter Aufwand für die Erstellung der manuellen Methode vorliegt. Die eigentliche Gestaltung der VR-Umgebung ist bausteinunabhängig. Die benötigte Zeit für das Erstellen der Arbeitsumgebung in der VR ist hauptsächlich von der Komplexität der Arbeitsaufgabe und des Arbeitsplatzes abhängig, nicht aber von dem gewählten MTM-Prozessbausteinsystem.

Durch die Verknüpfung der VR-Methode mit MTMmotion® erhält der Anwender – zusätzlich zu den bereits genannten Vorteilen – eine regelkonforme Zeitbewertung der Simulation gemäß MTM. Diese Simulationsanalyse kann bei Bedarf durch Experten weiter verfeinert werden. Neben der Zeitbewertung der Arbeitsaufgabe lässt sich zudem eine

ergonomische Bewertung durchführen, wodurch ein Vergleich von Produktivität und Ergonomie auf unterschiedlichen Ebenen ermöglicht wird [22].

## 5 Fazit

---

Diese Studie vergleicht eine manuell erstellte MTM-1®-Analyse mit drei VR-basierten Analysen, die mithilfe des MTMmotion®-Services generiert wurden. Ausgangspunkt war der Rohdatensatz aus halocline, der im Anschluss hinsichtlich seiner logischen Konsistenz überarbeitet und um Bewegungen ergänzt wurde, die vom VR-System nicht erfasst wurden. Dieser Prozess ermöglichte es, die Auswirkungen von Datenkorrekturen und -ergänzungen zu bewerten und einen Vergleich mit einer expertenbasierten Referenz durchzuführen.

Die Validierung erwies sich als effektiv und zeigte, in welchen Bereichen VR-Daten bereits zuverlässig sind und wo weiterhin Einschränkungen bestehen. Abweichungen resultierten hauptsächlich aus unrealistischen Bewegungslängen sowie aus fehlenden Modalitäten (z. B. Körperdrehungen). Obwohl die VR-Methode derzeit noch nicht alle Eingabedaten für eine vollständig detaillierte MTM-Analyse erfassen kann, liefert sie ausreichend genaue Vorlaufzeiten. In Kombination mit ergonomischen Bewertungen reduziert sie den Analyseaufwand erheblich und unterstützt frühe Iterationen im Gestaltungsprozess.

Halocline konzentriert sich auf die Gestaltung von Arbeitsplätzen, also auf das Layout der Fabrik und einzelner Arbeitsplätze, jedoch nicht auf die detaillierte Abbildung der tatsächlichen Arbeitsabläufe. Daher eignet sich die VR-Methode insbesondere für Prozessübersichten und Variantenvergleiche. Für abschließende, entgeltrelevante Analysen sind weiterhin eine Expertenprüfung sowie zusätzliche Daten erforderlich. Zukünftige Arbeiten sollten sich auf die Verbesserung der Bewegungserkennung, die Integration fehlender Bewegungen sowie die Validierung des Ansatzes unter Einbezug verschiedener Ausführer und Szenarien konzentrieren.

Über diese Vorteile hinaus stellt die MTMmotion®-Schnittstelle eine standardisierte digitale Beschreibungssprache für menschliche Arbeitsprozesse bereit. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration mit weiteren Technologien wie VR-Systemen, Motion-Capture-Systemen und Simulationstools, wodurch Datenqualität und Automatisierungsgrad verbessert werden. Eine breitere Anwendung wird MTM als Industriestandard für Zeit- und Ergonomiebewertungen stärken und ihre Relevanz in der digitalen Arbeitsgestaltung weiter erhöhen.

- [1] Institut der deutschen Wirtschaft: Arbeitskosten. URL:  
<https://www.iwkoeln.de/themen/arbeit-und-verdienst/arbeitskosten.html>,  
Abrufdatum: 22.05.2025
- [2] MTM ASSOCIATION e. V.: Digitalisierung der MTM-Methoden – Perspektiven zur Gestaltung produktiver und ergonomiegerechter Arbeit in Produktion und Logistik. MTM-Schriften Industrial Engineering. Ausgabe 18. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2023
- [3] Antis, W.; Honeycutt, J. M.; Koch, E. N.: Die MTM-Grundbewegungen. Maynard, Düsseldorf, 1969
- [4] Bokranz R., Landau K.: Handbuch Industrial Engineering. Produktivitätsmanagement mit MTM. 2., überarb. und erw. Aufl., Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2012
- [5] Maynard, H. B.; Stegemerten, G. J.; Schwab, J. L.: Methods-Time Measurement. McGraw Hill, New York, 1948
- [6] Kuhlang, P.: Produktive und ergonomiegerechte Arbeit – Von Grundsätzlichem zur Prozesssprache MTM über die Ergonomiebewertung zu Human Work Design. In: ifaa: Leistung und Entgelt. Joh. Heider, Düsseldorf, 2018
- [7] MTM ASSOCIATION e. V.: MTM-1® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2019
- [8] MTM ASSOCIATION e. V.: MTM-HWD® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2023
- [9] MTM ASSOCIATION e. V.: MTM-SD® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2019
- [10] MTM ASSOCIATION e. V.: MTM-UAS® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2019
- [11] MTM ASSOCIATION e. V.: MTM-MEK® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2019
- [12] MTM ASSOCIATION e. V.: EAWS® Lehrgangsunterlage. Eigenverlag MTM ASSOCIATION e. V., Hamburg, 2020
- [13] WeAreVR: Was ist Virtual Reality? – Virtual Reality erklärt. URL:  
<https://wearevr.ch/was-ist-virtual-reality/>, Abrufdatum: 22.05.2025

- [14] Immersive Learning News: Virtual Reality in der Industrie – Produktionsplanung mit halocline. URL: <https://www.immersivelearning.news/2022/11/29/virtual-reality-in-der-industrie-produktionsplanung-mit-halocline/>, Abrufdatum: 22.05.2025
- [15] Wir – Wirtschaft regional: Osnabrücker Start-up halocline greift nach virtuellen Sternen. URL: <https://www.wirtschaft-regional.net/branche/internet-technologie/osnabruecker-start-up-halocline-greift-nach-virtuellen-sternen/>, Abrufdatum: 22.05.2025
- [16] Halocline: Mach dein Fabriklayout erlebbar!. URL: <https://www.halocline.io/loesungen/fabrikplanung>, Abrufdatum: 22.05.2025
- [17] Halocline: Vom Prototyp zur Produktion. URL: <https://www.halocline.io/loesungen/produktionsplanung>. Abrufdatum: 22.05.2025
- [18] Halocline: Deine Lösung für bessere Arbeitsplätze. URL: <https://www.halocline.io/loesungen/arbeitsplatzgestaltung>, Abrufdatum: 22.05.2025
- [19] 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
- [20] Produktion – Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie: VR in der Industrie – Effizienzvorteile durch virtuelles Cardboard Engineering. URL: <https://www.produktion.de/technik/effizienzvorteile-durch-virtuelles-cardboard-engineering-108.html>, Abrufdatum: 22.05.2025
- [21] Pöttker, S.; Lödding, H.: Digital assembly design with a motion capture system. In: Procedia CIRP, S. 374–380. Elsevier, 2024
- [22] Pöttker, S.; Jansen, T.; Lödding, H.: Analyse von Arbeitsabläufen mit Motion-Capture-Systemen. In: Industry 4.0 Science, S. 43–49, 2024

