

Zitationshinweis

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

Ableitung von MTM-HWD®-Analysen aus digitalen menschlichen Bewegungsdaten - Automatische Erfassung von Einflussgrößen bei der Anwendung von Humansimulationen. In.: Freitag, M. (Hrsg.), Mensch-Technik-Interaktion in der digitalisierten Arbeitswelt, Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB), GITO mbH Verlag, Berlin, Deutschland, 2020. https://doi.org/10.30844/wgab_2020_10

Ableitung von MTM-HWD®-Analysen aus digitalen menschlichen Bewegungsdaten

Automatische Erfassung von Einflussgrößen bei der Anwendung von Humansimulationen

Kuhlang, Peter; Benter, Martin; Ostermeier, Manuela

1. Motivation

Eine produktive und ergonomische Gestaltung menschlicher Arbeit spielt eine zentrale Rolle für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit industrieller Unternehmen. Um diese Aufgabe erfolgreich zu meistern, kommen unterschiedliche Methoden zur Bewertung und Gestaltung von Arbeitsabläufen zum Einsatz. Die gängigsten Methoden untersuchen dabei entweder produktive oder ergonomische Aspekte. Zudem ist für die Analyse der Arbeitsprozesse ein hoher manueller Erhebungs- und Analyseaufwand durch den Methodenanwender notwendig. Diese Faktoren führen dazu, dass nicht alle industriellen Arbeitsplätze sowohl produktiv als auch ergonomisch gestaltet sind.

Mit MTM-HWD® (Methods-Time Measurement-Human Work Design, kurz: HWD) wurde eine Methode entwickelt, die eine integrierte Analyse der produktiven und ergonomischen Gesichtspunkte ermöglicht. Obwohl beide Aspekte in einem Schritt analysiert werden, erfordert die Anwendung dieser Methode dennoch einen nicht unerheblichen Aufwand (vgl. Finsterbusch 2016).

Eine Möglichkeit, diesen Aufwand zu reduzieren, ist die automatische Auswertung von digitalisierten menschlichen Bewegungsdaten. Diese Daten beschreiben die Bewegungen des Menschen und umfassen beispielsweise zurückgelegte Wege, Gelenkstellungen oder Objektinteraktionen. Insbesondere die Technologien Humansimulation und Motion Capture eignen sich, um diese Bewegungsdaten zu erfassen bzw. zu generieren. Durch die Fortschritte der Technologien in den letzten Jahren ist zudem ein Einsatz bei einer Vielzahl von Arbeitsplätzen denkbar.

Dieser Beitrag stellt vor, wie man die Bewegungsdaten einer Humansimulation nutzen kann, um teilautomatisiert eine HWD-Analyse abzuleiten. Damit reduziert dieser Ansatz den Analyseaufwand und bietet so die Möglichkeit, die Einsatzbereiche der Humansimulation als auch von HWD und damit die produktive und ergonomische Gestaltung menschlicher Arbeit auszuweiten.

Zunächst stellt der Beitrag dazu vor, welche Informationen für eine vollständige HWD-Analyse notwendig sind (Abschnitt 2). Anschließend beschreibt er, welche dieser Informationen durch Humansimulationen automatisch generiert werden und welche Informationen manuell ergänzt werden müssen (Abschnitt 3). Durch Berücksichtigung dieser nicht automatisch ermittelbaren Informationen bei der Simulationserstellung ist es dann möglich, eine vollständige HWD-Analyse aus den Simulationsdaten abzuleiten. Um diesen Vorgang zu verdeutlichen, wird die Umsetzung dieser teilautomatisierten Ableitung einer Analyse am Beispiel der Simulationssoftware imk ema (vgl. Leidholdt et al. 2016) dargestellt (Abschnitt 4).

Den Abschluss des Beitrags bildet ein Ausblick, wie dieser Ansatz auf andere Humansimulationen und auf die Technologie Motion Capture übertragen werden kann (Abschnitt 5). Mit einer solchen Übertragung auf andere Technologien ist es denkbar, eine höhere Anzahl von Arbeitsplätzen produktiv und ergonomisch zu gestalten und somit die Wettbewerbsfähigkeit industrieller Unternehmen zu erhalten.

2. Das Prozessbausteinsystem MTM-HWD®

2.1. Ziel von MTM-HWD®

Hauptziel des Prozessbausteinsystems HWD ist die integrierte zeitliche und ergonomische Bewertung von manuellen Arbeitsprozessen. Es ist damit mehr als nur ein neues MTM-System zur Produktivitätsbewertung. Es unterstützt eine ganzheitliche Gestaltung der Arbeitsprozesse (vgl. Finsterbusch 2016).

Um dieses Ziel zu erreichen, erfasst der HWD-Anwender die ausgeführten Aktionen bei einem manuellen Arbeitsprozess und ihre zeitlichen und ergonomischen Einflussgrößen. Zur Vereinfachung und Systematisierung der Erfassung orientieren sich die Einflussgrößen an den menschlichen Körperteilen und sind zudem als leicht interpretierbare Piktogramme dargestellt (vgl. Finsterbusch 2016).

HWD wurde dabei für kurzzyklische Tätigkeiten entworfen und ist somit vor allem für manuelle Arbeit in Serienproduktionen von hoher Bedeutung. Insbesondere im Zykluszeitbereich von 30 bis 120 Sekunden weist es eine hohe Genauigkeit im Vergleich zu dem Grundsystem MTM-1 auf (vgl. Faber et al. 2019).

2.2. HWD als Kernelement der Digitalisierung

HWD ermöglicht nicht nur eine umfassende manuelle Bewertung und Gestaltung von manuellen Arbeitsprozessen. Durch die objektive Beschreibung der menschlichen Bewegungen bildet es zudem die Grundlage für die Digitalisierung der Arbeitsplanung und -gestaltung (vgl. Finsterbusch/ Kuhlang 2015, Kuhlang 2019).

Der Industrial Engineer der Zukunft wird in der Lage sein, digitale Tools zu nutzen, um Arbeitsprozesse aufwandsarm und detailliert zu planen. Insbesondere Technologien, die Bewegungsdaten verarbeiten, haben dabei einen hohen Anwendungsbezug. Dazu gehören beispielsweise die Humansimulation und Motion Capture. Die Verbindung zwischen der digitalen Welt und der realen menschlichen Arbeit entsteht durch Übersetzung der digital verfügbaren Informationen in geeignete Verfahren des Industrial Engineering (vgl. Kuhlang 2019).

Die Ableitung korrekter HWD-Analysen aus digitalen Bewegungsdaten bildet somit einen Schlüssel für die sinnvolle Anwendung digitaler Planungswerkzeuge durch den Industrial Engineer. Für die Erstellung einer HWD-Analyse ist dabei eine Vielzahl Informationen notwendig, die menschliche Arbeit umfangreich beschreiben. Die erfolgreiche Ableitung dieser Informationen ist die Grundlage für die Erzeugung sogenannter Simulationsanalysen (vgl. Abbildung 1, Kuhlang 2019).

Simulationsanalysen beschreiben und bewerten hierbei den digital beschriebenen Bewegungsablauf (die Arbeitsweise). Mit anderen Worten: "What you see (simulate, capture) is what you get (describe)!" (vgl. Kuhlang 2019). Eine Simulationsanalyse beschreibt somit auch Abläufe, die in der Realität nicht stattfinden können, wenn die digitalen Tools die Abläufe so erfassen.

Durch die in HWD hinterlegte MTM-Normleistung können den digital abgebildeten Arbeitsabläufen menschlich durchführbare Plan-Zeiten zugeordnet werden. Durch die integrierte ergonomische Bewertung kann zudem sichergestellt werden, dass die Abläufe menschengerecht sind (vgl. Finsterbusch 2016). Dadurch können die Simulationsanalysen dann auch mit dem Gütesiegel „Approved by MTM“ (vgl. Abbildung 1) versehen werden (vgl. Kuhlang 2019).

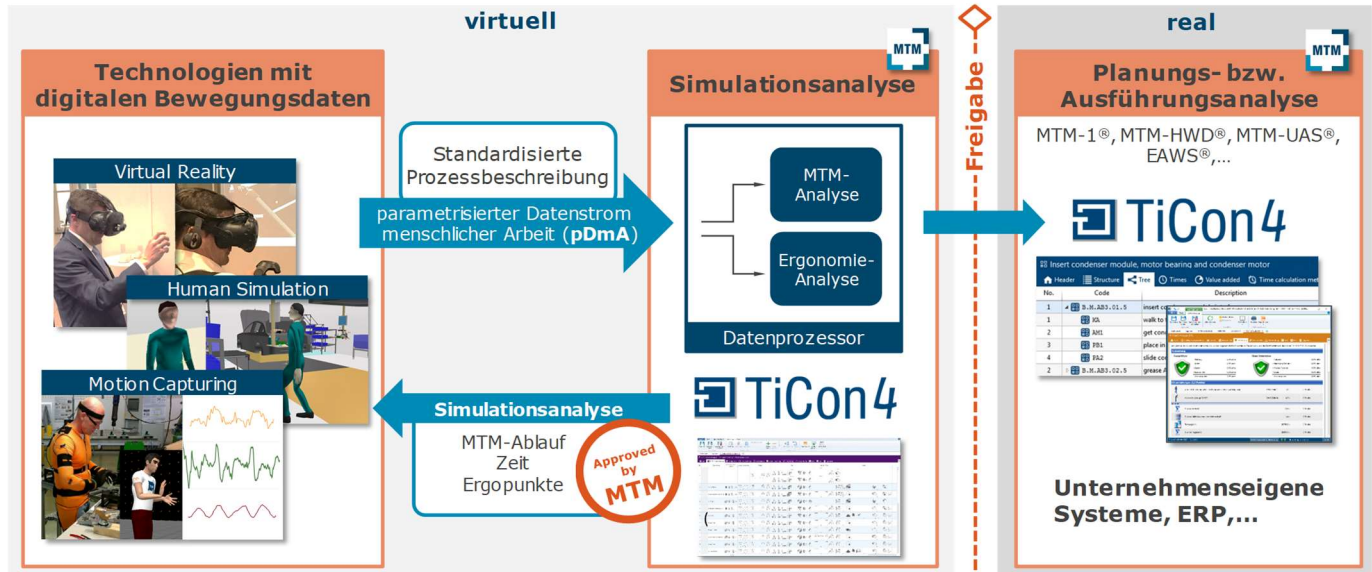


Abbildung 1 Übertragung digitaler Bewegungsdaten in MTM-Analysen und Simulationsanalyse

Trotz der umfangreichen Möglichkeiten der digitalen Planungswerkzeuge wird es dennoch weiterhin notwendig sein, die erstellten Simulationsanalysen durch einen MTM- bzw. IE-Experten freigeben zu lassen (vgl. Abbildung 1). Erst dann werden sie in Planungs- oder Ausführungsanalysen überführt. So wird der digital abgebildete Arbeitsablauf bewusst in eine festgelegte Arbeitsmethode überführt (vgl. Kuhlant 2019).

2.3. Anwendung von MTM-HWD - Beispieltätigkeit

Eine erfolgreiche Anwendung von HWD erfordert die korrekte Erfassung der HWD-Bausteine und deren Einflussgrößen. Zur Erläuterung dieser Informationen wird hier eine exemplarische Arbeitsaufgabe vorgestellt (vgl. Kuhlant 2018, Benter/ Kuhlant 2019). Die Aufgabe gehört zu einem Montagearbeitsplatz, an dem Pumpen zusammengebaut werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich dabei auf den ersten Teil der Montage, bei dem das Pumpengehäuse auf dem Arbeitstisch platziert wird.

Abbildung 2 zeigt das Layout des Beispielarbeitsplatzes. Die Aufgabe beginnt, indem der Monteur - ausgehend von der dargestellten Ausgangsposition - zum Materialwagen geht, um ein Gehäuse aufzunehmen. Anschließend geht er zum Arbeitstisch und platziert das Gehäuse in der Montagevorrichtung.

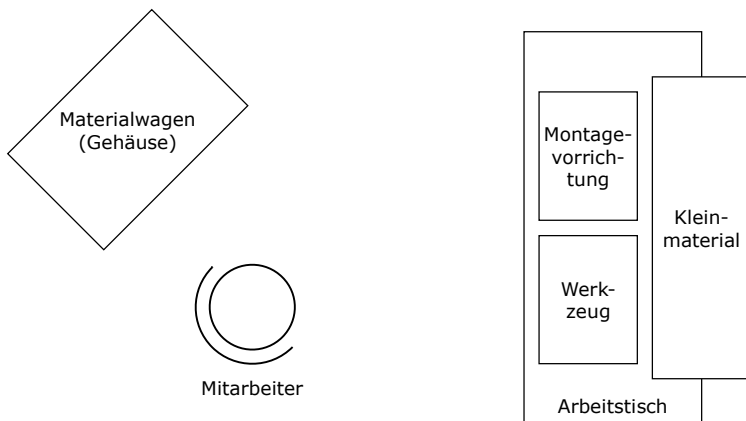


Abbildung 2 Layout des Beispielarbeitsplatzes

2.4. Anwendung von MTM-HWD - Bausteinbeschreibung

Anhand der Beispielaufgabe wird nun dargestellt, wie der Anwender die manuellen Prozesse mit HWD beschreibt. Die Ausführungen beschreiben dabei nicht alle möglichen, sondern lediglich die für die Arbeitsaufgabe notwendigen Bausteine und Einflussgrößen.

Ein HWD-Baustein besteht aus Bausteinelementen, die die wichtigsten Informationen des Arbeitsschrittes zusammenfassen. Wichtigstes Bausteinelement ist dabei die durchzuführende Aktion. Im ersten Schritt erfasst der Anwender deshalb die Aktionen des Monteurs (vgl. Tabelle 1). Zu einem Baustein gehört zudem das Objekt, mit dem der Monteur bei der Aktion interagiert. Weitere Bausteinelemente sind die Informationen, welche Extremität bei der Aktion aktiv ist und was die passive Extremität währenddessen macht (vgl. Finsterbusch 2016). In dem dargestellten Beispiel nimmt der Monteur zunächst ein Pumpengehäuse vom Materialwagen (Obtain). Anschließend transportiert er es mit mehreren Aktionen (Deposit) zur Montagevorrichtung. Dabei verwendet er bei allen Schritten beide Hände und hat somit keine passive Extremität (vgl. Tabelle 1). Auftretende Körperbewegungen wie Gehen oder Beugen stellen bei HWD - im Gegensatz zu anderen MTM-Verfahren - keine separaten Bausteine dar, sondern sind als Einflussgrößen bei den jeweiligen Aktionen abgebildet.

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	-	-	-	-

Tabelle 1 Bausteinbeschreibung

Weitere beispielhafte Aktionen sind die Prüfung (Check) oder das Trennen von Bauteilen (Retract). Weitere Objekte sind beispielsweise Werkzeuge oder Transportmittel. Statt wie im Beispiel beide Hände gleichzeitig zu nutzen kann der Monteur auch einhändig arbeiten (vgl. Finsterbusch 2016).

2.5. Anwendung von MTM-HWD - Einflussgrößen

Nachdem der Anwender die vom Monteur durchgeführten Aktionen und die dazugehörigen Bausteinelemente erfasst hat, ermittelt er nun die relevanten Einflussgrößen (vgl. Finsterbusch 2016, Kuhläng 2018, Benter/ Kuhläng 2019). Je nach Aktion muss er dabei unterschiedliche Einflussgrößen erfassen. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich dabei nicht auf das vollständige Beispiel, sondern lediglich auf die Zeilen Nr. 1, 3 und 9 (vgl. Tabelle 1).

untere Extremitäten

Zunächst beschreibt der Anwender die unteren Extremitäten des Monteurs (vgl. Tabelle 2). Dafür verwendet er die Einflussgrößen Weg, Ausführungsbedingungen, Beinhaltung und Stabilität (nicht dargestellt).













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

Tabelle 2 Einflussgrößen – untere Extremitäten

Der Weg ist die Strecke, die vom Monteur vor der Benutzung seiner Arme zurückgelegt wird. Bei HWD unterscheidet der Anwender dabei zwischen Gehen, Stufen steigen, Klettern und Kriechen. In Abhängigkeit davon gibt er dann die zurückgelegten Meter, Schritte oder Sprossen an. Im Beispiel führt der Monteur einen Seitenschritt zum Materialwagen aus und geht anschließend zwei Meter zum Arbeitstisch.

Die Ausführungsbedingungen beschreiben den nötigen Kontrollaufwand, der durch die Bodenbeschaffenheit gegeben ist. Im Beispiel ist der Boden eben und ohne Hindernisse und behindert den Monteur somit nicht.

Die Grundstellung spiegelt die Stellung des Körpers wider. Im dargestellten Beispiel steht der Monteur am Ende jeder seiner Bewegungen.

Die Einflussgröße Beinhaltung gibt an, ob der Monteur die Beine ausgestreckt oder angewinkelt hat. Bei der Beispielaufgabe steht er am Anfang der Tätigkeit und am Ende der Bewegungen mit ausgestreckten Beinen.

Rumpf und Kopf/Nacken

Nach den unteren Extremitäten erfasst der HWD-Anwender die Haltung des Rumpfes (vgl. Tabelle 3). Dazu gehören die Rumpfbeugung, -drehung und -neigung sowie die Haltung des Kopfes (nicht abgebildet).










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

Tabelle 3 Einflussgrößen – Rumpf

Rumpfbeugung, -drehung und -neigung spiegeln die Haltung des Oberkörpers wider. Sie sind dabei vollständig unabhängig von den unteren Extremitäten. Der Monteur kann beispielsweise seinen Rumpf verdrehen, wenn seine Beine ausgestreckt oder wenn sie gebeugt sind. Die Beugung stellt die Auslenkung des Rumpfes nach vorne oder hinten dar, die Neigung die Auslenkung zur Seite und die Drehung gibt an, wie sehr die Schulter im Bezug zur Hüfte gedreht sind. Im Beispiel ist der Monteur zu Beginn in Neutralstellung, das heißt er beugt, neigt oder verdreht seinen Rumpf nicht. Bei Aufnahme des Pumpengehäuses neigt und verdreht er den Rumpf und bringt ihn anschließend wieder in Neutralstellung.

obere Extremitäten

Im Anschluss an den Rumpf beschreibt der HWD-Anwender die oberen Extremitäten. Die relevanten Einflussgrößen beschreiben hier zunächst die Haltung des Armes sowie die aufzubringenden Kräfte (vgl. Tabelle 4). Die Erfassung dieser Größen erfolgt getrennt für beide Arme (hier beispielhaft am rechten Arm erläutert).













Nr.	Oberarmhaltung	Handposition	Armstreckung	Handhaltung	Gewicht / Kraft
1	 Winkel $0^\circ < x < 20^\circ$	 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 Gehäuse: 3 kg

Tabelle 4 Einflussgrößen – obere Extremitäten (1/2)

Die Oberarmhaltung beschreibt, ob der Monteur seinen Arm nach vorne, hinten oder zur Seite auslenkt. In der Beispielaufgabe lenkt er seinen rechten Oberarm bei Aufnahme des Gehäuses stark nach vorne aus. Beim Platzieren auf dem Arbeitstisch lenkt er ihn erneut aus, jedoch nicht so stark wie beim Aufnehmen.

Die Einflussgröße Handposition gibt die Höhe der Hand in Relation zur Schulter an. Im dargestellten Beispiel ist die rechte Hand dabei stets unter Schulterhöhe.

Die Armstreckung umschreibt die Entfernung zwischen Hand und Schultergelenk des Armes. Im Beispiel ist der rechte Arm in der Ausgangsposition ausgestreckt. Bei Aufnahme und Absetzen des Gehäuses ist er nur halbgestreckt.

Die Handhaltung stellt analog zur Rumpfhaltung die Beugung, Neigung oder Drehung des Handgelenks dar. Bei der Beispielaufgabe ist das rechte Handgelenk zunächst in Neutralstellung und erst beim Platzieren des Gebäudes ist es geneigt.

Mit der Einflussgröße Gewicht/ Kraft erfasst der Mitarbeiter zum einen die Last des zu bewegenden Gegenstandes als auch die auftretenden Finger-Handkräfte oder Arm-Körperkräfte. Im Beispiel tritt lediglich das Gewicht des Pumpengehäuses beim Transport als Kraft auf.

Als letztes erfasst der HWD-Anwender die Einflussgrößen zur detaillierten Beschreibung der Handbewegungen (vgl. Tabelle 5). Das sind der Entfernungsbereich, die Bereitstellung oder Platziergenauigkeit inklusive Einbaulage, die Fügebedingungen, die Greifbewegung inklusive Greifart und die Vibration (nicht abgebildet).

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

Tabelle 5 Einflussgrößen – obere Extremitäten (2/2)

Der Entfernungsbereich beschreibt die zurückgelegte Strecke durch die Hand bei einer Aktion. Im Beispiel bewegt der Monteur seine rechte Hand zehn Zentimeter zum Aufnehmen des Pumpengehäuses und ebenso weit beim Abstellen des Gehäuses

Die Einflussgröße Bereitstellung gibt die Lage der zu greifenden Gegenstände wieder. In dem dargestellten Beispiel sind die Gehäuse einzeln auf dem Materialwagen bereitgestellt. Sie befinden sich dabei nicht stets am gleichen Ort.

Die Einflussgrößen Platziergenauigkeit, Einbaulage und Fügebedingungen beschreiben die Genauigkeit, mit der der Monteur Objekte platzieren muss. Im Beispiel fügt er das Gehäuse mit leichtem Druck in die Montagevorrichtung. Zudem ist eine definierte Ausrichtung erforderlich und die Sicht auf die Vorrichtung ist durch das Gehäuse blockiert.

Greifbewegung und Greifart umschreiben die Position der Finger, damit der Monteur einen Gegenstand unter Kontrolle bringen oder halten kann. In der Beispielaufgabe ist seine rechte Hand zunächst geöffnet. Zur Aufnahme des Pumpengehäuses umfasst er dieses dann und hält es mit vier Fingern bis zum Absetzen am Arbeitstisch unter Kontrolle.

2.6. Übersicht der benötigten Informationen

Abbildung 3 zeigt einen Überblick über die Informationen, die der Anwender zur Erstellung einer vollständigen HWD-Analyse benötigt (vgl. Benter/ Kuhlang 2019). Zentraler Bestandteil sind dabei die Bausteinelemente, die den Arbeitsablauf unterteilen (links). Die Einflussgrößen (rechts) sind dann für jeden Baustein zu ermitteln, um den Ablauf zeitlich und ergonomisch zu bewerten.

Wenn der Anwender alle Bausteinelemente und die dazugehörigen Einflussgrößen korrekt erfasst hat, kann er nun den notwendigen Zeitbedarf und die ergonomische Belastung der Arbeitsaufgabe ermitteln. Damit ist die Grundlage für eine gezielte Gestaltung des Arbeitsplatzes geschaffen.

Bausteinbeschreibung		Einflussgrößen	
Bausteinelement	Beschreibungssegment	Bezeichnung	Beschreibungssegment
Objekt	untere Extremitäten	Weg	obere Extremitäten
Aktion		Ausführungsbedingungen	
aktive Extremität		Stabilität	
passive Extremität		Grundstellung	
		Beinhaltung	
Rumpf	Rumpfbeugung	Gewicht [kg]	
	Rumpfdrehung	Kraft [N]	
	Rumpfneigung	Kraftrichtung	
Kopf/Nacken	Kopfhaltung	Entfernungsbereich	
	Blickverschieben	Bereitstellung	
		Platzergenauigkeit	
		Einbaulage	
		Fügebedingungen	
		Greifbewegung	
		Greifart	
		Vibration	

Abbildung 3 Übersicht Bausteinbeschreibung und Einflussgrößen

3. Erfassung der Informationen durch Humansimulationen

Abschnitt 2 beschreibt, welche Informationen der HWD-Anwender ermitteln muss, um einen Arbeitsablauf vollständig zu beschreiben und zu bewerten. Eine automatisierte Bewertung durch Verwendung von Humansimulationen erfordert somit eine Erfassung dieser Informationen. Dieser Abschnitt beschreibt, welche Informationen automatisch ermittelbar sind und welche manuell ergänzt werden müssen.

3.1. Kategorisierung der Einflussgrößen

Abschnitt 2.5 hat verdeutlicht, welche Einflussgrößen erfasst werden müssen. Dieser Abschnitt teilt diese Größen in Kategorien ein, die die folgenden Untersuchungen und Beschreibungen systematisieren (vgl. Benter/ Kuhlmann 2019). Tabelle 6 zeigt die Einflussgrößen und ihre Zuordnung zu den Kategorien.

Beschreibungssegment	Einflussgröße	Kategorie			
		bausteinspezifisch		bausteinübergreifend	
		Genauigkeit	Entfernung	Haltung	Kraft
untere Extremitäten	Weg		x		
	Ausführungsbedingungen	x			
	Stabilität			x	
	Grundstellung			x	
	Beinhaltung			x	
Rumpf	Rumpfbeugung			x	
	Rumpfdrehung			x	
	Rumpfeigung			x	
Kopf/Nacken	Kopfhaltung			x	
	Blickverschieben		x		
obere Extremitäten	Oberarmhaltung			x	
	Handposition			x	
	Armstreckung			x	
	Handgelenkshaltung			x	
	Gewicht [kg]				x
	Finger-Handkraft [N]				x
	Arm-Körperkraft [N]				x
	Kraftrichtung				x
	Entfernungsbereich		x		
	Bereitstellung	x			
	Platziergenauigkeit	x			
	Einbaulage	x			
	Fügebedingungen	x			
	Greifbewegung	x			
	Greifart	x			
Vibration				x	

Tabelle 6 Kategorisierung der Einflussgrößen

Eine grundsätzliche Möglichkeit zur Unterscheidung der Einflussgrößen von MTM-Verfahren ist der Bausteinbezug. Eine Einflussgröße ist bei HWD bausteinspezifisch, wenn sie konkret einer HWD-Aktion (und den dazugehörigen Bausteinelementen) zugeordnet werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Bereitstellung. Sie beschreibt, wie ein Gegenstand aufgenommen werden muss und ist somit insbesondere für die Aktion Obtain von Bedeutung.

Bausteinübergreifende Einflussgrößen sind nicht auf einzelne Aktionen begrenzt. Sie können für mehrere aufeinanderfolgende Aktionen gelten oder sich während eines Bausteins verändern. Sie sind zudem nicht auf

HWD beschränkt, sondern könnten auch in anderen Analyseverfahren Einsatz finden. Ein Beispiel dafür ist die Einflussgröße Grundstellung, die angibt, ob der Mitarbeiter sitzt, steht oder kniet. Die Grundstellung kann für mehrere Aktionen gleichbleiben und sie ist zudem auch für ergonomische Bewertungsverfahren wie EAWS (vgl. Schaub et al. 2012) relevant.

Die bausteinspezifischen Einflussgrößen lassen sich unterscheiden in Genauigkeiten und Entfernungen. Genauigkeiten umschreiben den notwendigen Kontrollaufwand bei der jeweiligen Aktion. Zu den Genauigkeiten gehören beispielsweise die Platziergenauigkeit und die Fügebedingungen. Die Genauigkeiten hängen vorrangig von der Art der verwendeten Objekte wie Bauteilen und Werkzeugen ab. So ist beispielsweise beim Ansetzen eines Schraubendrehers eine höhere Genauigkeit notwendig als beim Anlegen einer Feile.

Entfernungen hingegen geben die notwendigen Bewegungslängen bei den Aktionen an. Das sind bei HWD die Bewegungen des Körpers (Weg), der Hände (Entfernungsbereich) und der Augen (Blickverschieben). Die Entfernungen sind hauptsächlich bestimmt durch das Arbeitsplatzlayout. Ein optimiertes Layout mit besserer Materialanordnung sorgt so für geringere Entfernungen bei der Handhabung.

Die bausteinübergreifenden Einflussgrößen bestehen aus den Haltungen und den Kräften. Die Haltungen beschreiben die Stellung des menschlichen Körpers und seiner Körperteile. Die detaillierte und korrekte Beschreibung der Haltungen ist die Grundlage für die ergonomische Bewertung des Arbeitsplatzes. Ähnlich wie die Entfernungen sind die Haltungen dabei vorrangig bedingt durch das Arbeitsplatzlayout. Ein Arbeitsplatz, der derart gestaltet ist, dass Mitarbeiter vorrangig über-Kopf-Tätigkeiten durchführen müssen, führt beispielsweise zu stark erhöhten ergonomischen Anforderungen.

Die letzte Gruppe von Einflussgrößen sind die Kräfte, die durch den Mitarbeiter aufzubringen sind. Dazu gehören beispielsweise zu hebende Gewichte oder Finger-Kräfte, die bei der Werkzeugnutzung auftreten. Die Kräfte spielen wie die Haltungen eine entscheidende Rolle für die ergonomische Bewertung. Anders als diese hängen die Kräfte jedoch hauptsächlich von den verwendeten Objekten ab. Je schwerer beispielsweise zu montierende Bauteile und die dazugehörigen Werkzeuge sind, desto höher sind die aufzubringenden Kräfte.

Die Kategorisierung der Einflussgrößen in diese vier Gruppen kann auf andere Verfahren zur Bewertung menschlicher Arbeit übertragen werden. Das MTM-UAS-Verfahren (vgl. Bokranz/ Landau 2006) benötigt insbesondere Informationen aus den Kategorien Genauigkeiten und Entfernungen, um eine zeitliche Bewertung zu ermöglichen. Das EAWS-Verfahren (vgl. Schaub et al. 2012) hingegen erfordert hauptsächlich Haltungen und Kräfte zur ergonomischen Bewertung von Arbeitsabläufen. Diese Kategorisierung kann man nun nutzen, um Aussagen darüber zu treffen, inwiefern digitale Tools zur Generierung von Bewegungsdaten geeignet sind, die notwendigen Daten für solche Verfahren zu liefern. Im folgenden Kapitel wird dies am Beispiel von HWD und der Technologie Humansimulation durchgeführt. Die Ausführungen zur Humansimulation basieren dabei vor allem auf den Möglichkeiten des Tools imk ema (vgl. Leidholdt et al. 2016).

3.2. Erfassung der Bausteinelemente

Kernelement einer HWD-Analyse ist die korrekte Erfassung der durchzuführenden Aktion mit dem dazugehörigen Objekt sowie der Extremität, die diese Aktion durchführt. Erst wenn diese ermittelt sind, können die Einflussgrößen ergänzt werden.

Tools zur digitalen Simulation menschlicher Arbeit wie imk ema verwenden digitale Menschmodelle, um Arbeitsprozesse abzubilden. Bei der Modellierung der Prozesse werden dabei ähnliche Informationen und Parameter wie bei der Erstellung einer HWD-Analyse benötigt. Dazu gehören beispielsweise die verwendeten Objekte und mit welcher Extremität sie gehandhabt werden. Damit ist ein wichtiger Teil der Bausteinelemente bereits durch die Modellierung der Simulation vorhanden (vgl. Abbildung 3).

Die Aktionen sind ein wichtiges Element, das sich nicht trivial aus den Simulationseingaben ableiten lässt. Die Auswahl der richtigen Aktionen ist jedoch ein wichtiger Bestandteil einer korrekten HWD-Anwendung. Um dieser Herausforderung zu begegnen, werden oft verwendete Objekte (Werkzeuge und Normteile) identifiziert und die dazugehörigen möglichen Abfolgen an Aktionen definiert. So ist beispielsweise definiert, welche Aktionen (und zugehörige Bausteinelemente) bei der Anwendung eines Akkuschraubers auftreten.

Damit lässt sich eine korrekte Ableitung der Bausteinelemente aus einer Humansimulation bei einer Vielzahl von Anwendungsfällen sicherstellen. Eine korrekte Ableitung einer HWD-Analyse in allen Fällen kann jedoch noch nicht gewährleistet werden. Die Korrektheit der Analyse hängt zudem stark von der modellierten Simulation ab.

Entsprechen die simulierten Abläufe nicht der Realität in der Produktion, ist das auch nicht für die HWD-Analyse der Fall. Deshalb ist es notwendig, dass ein HWD-Anwender die Simulation erstellt und die automatisiert erzeugte Analyse prüft und gegebenenfalls korrigiert.

3.3. Erfassung der Einflussgrößen

Nach Ermittlung der Bausteinelemente müssen nun die Einflussgrößen bestimmt werden. Die unterschiedlichen Kategorien der Einflussgrößen lassen sich dabei unterschiedlich gut aus den Simulationsdaten ableiten.

Genauigkeiten

Die Bestimmung der Genauigkeiten ist ähnlich schwierig wie die Bestimmung der Aktionen. Auch sie sind nicht direkt aus den notwendigen Simulationseingaben ableitbar. Um dies zu erreichen, werden sie als zusätzliche Eingaben bei der Simulationserstellung abgefragt. So kann beispielsweise die Information über die Einflussgröße Bereitstellung an die verwendeten Simulationsobjekte gekoppelt werden.

Ähnlich wie bei den Aktionen gilt hierbei dann, dass ein geübter HWD-Anwender die Eingaben beziehungsweise die Simulationsergebnisse prüfen sollte.

Entfernungen

Bei der Humansimulation werden Bewegungen unter Verwendung des digitalen Menschmodells kalkuliert und visualisiert. Die dabei erstellten Bewegungsdaten enthalten unter anderem die Koordinaten der Körperteile während des Arbeitsablaufs.

Die Entfernungen, die dabei zurückgelegt werden, können somit sehr gut aus den Daten abgeleitet werden. Die Ermittlung aus den Bewegungsdaten ist an dieser Stelle unter Umständen sogar genauer als die manuelle Erfassung durch einen HWD-Anwender, da Messfehler und Schätzungen vermieden werden können. Allerdings kann es durch eine fehlerhafte Abbildung des Arbeitsplatzes oder durch unrealistisch abgebildete Bewegungen dazu kommen, dass die gemessenen Entfernungen in der Realität so nicht anzutreffen sind.

Haltungen

Die Haltungen sind analog zu den Entfernungen sehr gut aus den Bewegungsdaten der Humansimulation abzuleiten. Die Körperteile und ihre Stellungen sind Teil der durch die Simulation generierten Daten. Die Ableitung der Haltungen ist somit möglich.

An dieser Stelle ist es notwendig gewesen, die bisher verwendeten Haltungsdefinitionen von HWD zu konkretisieren. Das liegt zum einen daran, dass die ursprünglichen Definitionen von einer Beurteilung durch einen Menschen ausgehen. So ist beispielsweise nicht eindeutig definiert gewesen, bei welchen Körperwinkeln ein Mitarbeiter liegt oder sitzt. Zudem gibt es technisch mögliche Haltungen in der Simulation, die nicht mit HWD bewertet werden können, da sie in der Planung nicht berücksichtigt werden sollen. So ist es beispielsweise nicht sinnvoll, Arbeiten hinter dem Rücken auszuführen. In Humansimulationen ist dies jedoch zumindest theoretisch denkbar.

Kräfte

Die Kräfte sind nicht direkt aus den Daten des digitalen Menschmodells ableitbar, sind aber teilweise Bestandteil der Eingaben in die Humansimulation. So werden beispielsweise die Gewichte der verwendeten Objekte in der Simulation eingepflegt. Andere auftretende Kräfte müssen manuell ergänzt werden, damit die Daten vollständig bei der HWD-Analyse vorliegen. Demnach ist auch hier eine Eingabe beziehungsweise Überprüfung durch einen erfahrenen Anwender notwendig.

3.4. Zusammenfassung

Tabelle 7 fasst die Ausführungen von Abschnitt 3 zusammen. Man kann erkennen, welche für HWD notwendigen Informationen bei der Erstellung und Auswertung von Simulationen zu ergänzen beziehungsweise zu berücksichtigen sind, um eine regelkonforme und zur Simulation passende HWD-Analyse ableiten zu können.

So sind die Objekte beispielsweise notwendige Eingaben zur Erstellung der Simulation und bedürfen daher keiner besonderen Überprüfung durch einen MTM-Anwender. Anders ist es bei den Genauigkeiten, die der Anwender ergänzend angeben muss.

HWD-Bestandteile	HWD-Informationen	Erfassung bei Verwendung von Humansimulation	zusätzliche Tätigkeit durch HWD-Anwendung
Bausteinelemente	Objekt	notwendige Eingabe	nein
	Aktion	Zuordnung von Aktionsfolgen	ja (Überprüfung)
	Extremitäten	notwendige Eingabe	nein
Einflussgrößen	Genauigkeiten	ergänzende Eingabe	ja (Eingabe)
	Entfernungen	automatische Ermittlung	Nein
	Haltungen	automatische Ermittlung	Nein
	Kräfte	notwendige/ ergänzende Eingabe	teilweise (Eingabe)

Tabelle 7 Ermittlung der HWD-Informationen bei Verwendung von Humansimulationen

4. Automatisierte Erstellung einer MTM-HWD-Analyse am Beispiel von imk ema

Abschnitt 3 hat aufgezeigt, welche Informationen prinzipiell durch Simulationstools erzeugt werden können, um so die Erstellung einer HWD-Analyse zu unterstützen. Nun soll an einem Beispiel demonstriert werden, wie das Vorgehen praktisch umgesetzt wurde.

In einem gemeinsamen Entwicklungsprojekt entwickelten die MTM ASSOCIATION e. V. und imk eine Lösung zur automatisierten Erstellung einer HWD-Analyse. In der Lösung werden zunächst die Bausteinelemente und ihre Einflussgrößen im Simulationstool imk ema eingegeben beziehungsweise generiert (vgl. Abbildung 4 links). Um vollständige Analysen zu generieren, wurden die in Abschnitt 3 erläuterten notwendigen Ergänzungen und Anpassungen vorgenommen.

Die generierten Daten werden anschließend über eine gemeinsam entwickelte Schnittstelle an die MTM-Software TiCon übertragen. Die über die Schnittstelle übertragenen Daten bestehen aus den generierten HWD-Informationen sowie weiteren Daten, die TiCon oder andere Programme zur weiteren Verarbeitung benötigen. Die übertragenen Daten werden unter dem Namen 'parametrisierter Datenstrom menschlicher Arbeit' (pDmA) zusammengefasst.

In TiCon erfolgt dann eine Überprüfung der überlieferten Daten sowie der Regeln, die bei der Erstellung von HWD-Analysen zu beachten sind. Nach der Prüfung ordnet TiCon die passenden MTM-Zeiten zu. Zudem erfolgt die ergonomische Bewertung der Arbeitsaufgabe.

Das Ergebnis ist eine regelkonforme Analyse, die genau die Arbeitsabläufe beschreibt, die im Simulationstool stattgefunden haben. Das heißt, die Analyse würde auch fehlerhafte oder menschlich unmögliche Abläufe widerspiegeln, wenn die Simulation nicht korrekt erstellt wurde.

Insgesamt entsteht eine Simulationsanalyse, die über den Normleistungsbezug von MTM eine verlässliche Plan-Zeit liefert und über das Verfahren EAWS eine aussagekräftige Bewertung der Ergonomie ermöglicht.

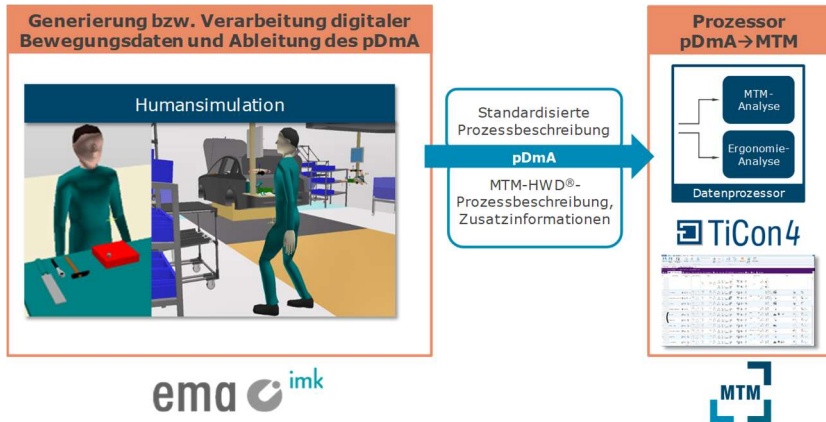


Abbildung 4 Übertragung der HWAD-Daten zwischen imk/ema und TiCon

Diese gemeinsame Lösung zur automatisierten Erstellung einer HWD-Analyse wird zurzeit in einem Validierungsprojekt ausführlich erprobt.

Ein Beispiel, das bei der Validierung verwendet wird, ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Oberfläche der Software ema. Im unteren Bereich ist das Layout des Arbeitsplatzes zu sehen sowie der simulierte Mensch bei Durchführung der Arbeitsaufgabe. In diesem Fall ist die Aufgabe das Öffnen von Clic-Schellen an einem Abgas-schlauch, bevor dieser an einem Auto angebaut wird.

Im oberen Bereich ist ein Ausschnitt der dazugehörigen HWD-Analyse zu sehen. Mit den Funktionalitäten des ema kann man nun zu bestimmten Aktionen im Ablauf springen und den korrespondierenden Teil der Simulation sehen.

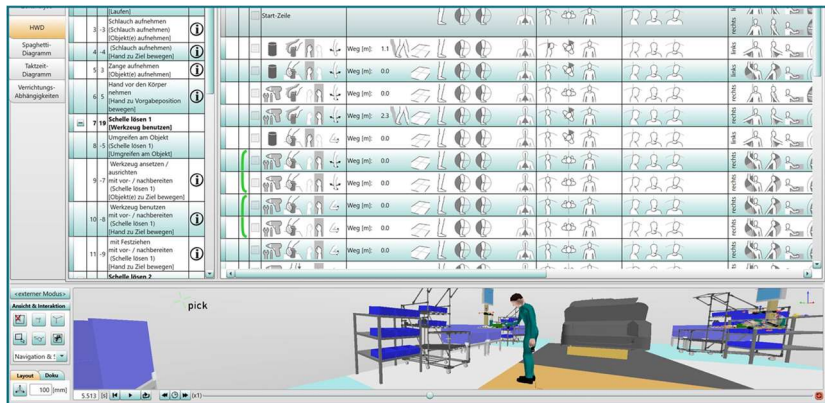


Abbildung 5 Darstellung einer HWD-Analyse im ema

5. Ausblick: Übertragung auf Motion Capture-Systeme

In den vorhergehenden Abschnitten wurde gezeigt, wie man eine MTM-HWD-Analyse unter Verwendung von Humansimulationen erstellen kann. Dieser Abschnitt diskutiert nun die Möglichkeiten, die sich durch die Verwendung von Motion Capture-Technologien ergeben.

Motion Capture-Technologien erfassen menschliche Bewegungen und wandeln sie in Bewegungsdaten um (vgl. Jackèl et al. 2006, Kitagawa/Windsor 2008). Das Ergebnis ist damit ähnlich wie bei den Humansimulationen: Daten, die menschliche Bewegungen abbilden. Die Erzeugung der Daten ist jedoch sehr verschieden. Während Humansimulationen Bewegungen nach vorgegebenen Algorithmen generieren (vgl. Leiboldt et al. 2016), zeichnet Motion Capture real auftretende Bewegungen auf. Eine Humansimulation würde somit für eine gleichbleibende Arbeitsaufgabe auch immer die gleichen Bewegungsdaten erzeugen, während eine Motion Capture-Technologie bei mehreren Aufnahmen eines Menschen jedes Mal unterschiedliche Daten aufzeichnen könnte. Simulationen können zudem unsinnige Bewegungen generieren, also Bewegungen, die ein Mensch so nicht durchführen würde oder könnte.

Ein weiterer Unterschied, der große Auswirkungen auf die erzeugten Bewegungsdaten hat, sind die Voraussetzungen für die Erzeugung der Daten. Bei der Simulation muss das Arbeitssystem und die Arbeitsaufgabe bereits vollständig beschrieben sein, damit die Bewegungen des Menschen errechnet werden können.

Bei Motion Capture ist dies nicht notwendig. Die Bewegungsdaten werden auch ohne Beschreibung des Arbeitssystems erzeugt. Ein Sonderfall ist hierbei die Anwendung von Motion Capture im Zusammenhang mit Virtual Reality-Anwendungen. Hierbei können die erzeugten Motion Capture-Daten mit den Arbeitssystemdaten der VR-Anwendung ergänzt werden.

Diese Unterschiede der Technologien wirken sich auch auf die Informationen aus, die für die Erstellung einer HWD-Analyse zur Verfügung stehen.

Bausteinelemente

Bei der Aufnahme realer Abläufe durch Motion Capture-Technologien gibt es im Moment noch keine Lösungen, mit denen HWD-Aktionen identifiziert werden können. Es gibt zwar Ansätze, die die aufgenommene Zeit in Abschnitte einteilen (vgl. Benter 2018, Feldhorst 2018), jedoch nicht in die HWD-Aktionen. Ebenso schwierig ist die Erkennung von Objekten. Reine Motion Capture-Lösungen erfassen lediglich die Bewegungen des Menschen und können nicht ermitteln, mit welcher Art von Objekten gehandelt wird. Allerdings existieren Ansätze, wie man mit Zusatztechnologien die Objekte bestimmen kann. Dazu gehört beispielsweise die Erfassung der Objekte über Kameras oder RFID-Systeme. Im Gegensatz zu den Aktionen und Objekten können die Extremitäten wie bei der Humansimulation sehr gut bestimmt werden.

Einflussgrößen

Die Erfassung der Bausteinelemente ist zentrale Voraussetzung für die Erstellung von HWD-Analysen. Auch wenn diese Voraussetzung noch nicht gegeben ist, wird hier noch auf die Einflussgrößen eingegangen.

Die *Genauigkeiten* können im Moment nicht durch Motion Capture-Technologien erfasst werden. Sie müssten manuell durch einen MTM-Anwender ergänzt werden.

Im Gegensatz dazu könnten die *Entfernungen* bestimmt werden, wenn die Aktionen gegeben sind, da bei Motion Capture analog zur Humansimulation die notwendigen Koordinaten der Körperteile erfasst werden.

Die *Haltungen* können generell sehr gut durch Motion Capture erfasst werden, da auch sie direkt aus den Daten abgeleitet werden können. Sie sind zudem, im Gegensatz zu den Entfernungen, nicht bausteinspezifisch (vgl. Abschnitt 3.1).

Die *Kräfte* können nur durch Motion Capture-Lösungen erfasst werden, wenn diese über Möglichkeiten zur Kraftmessung verfügen. Dies ist beispielsweise bei dem Anzug der Firma AXS der Fall (vgl. Benter/ Kuhlant 2019). Bei reiner Erfassung der Bewegungen ist dies somit nicht der Fall.

Tabelle 8 fasst zusammen, welche Informationen Motion Capture-Technologien erfassen können. Sie verdeutlicht, dass diese Technologien im Vergleich zu Humansimulationen (vgl. Tabelle 7) weniger der notwendigen Informationen bereitstellen. Insbesondere die fehlende Erfassung der Aktionen und Objekte führt dazu, dass Motion Capture die Erstellung von HWD-Analysen kaum beschleunigt. An dieser Stelle sind also weitere Untersuchungen notwendig, um ähnliche Erfolge wie bei der Humansimulation (vgl. Abschnitt 4) zu erzielen.

HWD-Bestandteile	HWD-Informationen	Erfassung bei Verwendung von Motion Capture
Bausteinelemente	Objekt	nein
	Aktion	nein
	Extremitäten	ja
Einflussgrößen	Genauigkeiten	nein
	Entfernungen	ja
	Haltungen	ja
	Kräfte	teilweise

Tabelle 8 Erfassung der HWD-Informationen bei Verwendung von Motion Capture

6. Zusammenfassung und Ausblick

In dem Beitrag wurde aufgezeigt, welche Informationen für die Erstellung einer vollständigen HWD-Analyse notwendig sind. Er hat anschließend untersucht, inwiefern diese Informationen durch die Technologie Humansimulation automatisiert generiert werden können. Es hat sich gezeigt, dass ein Großteil der Informationen bei der Erstellung einer Simulation ohnehin eingegeben beziehungsweise anschließend generiert werden. Der Rest der notwendigen Informationen kann ein HWD-Anwender bei Erstellung der Simulation manuell ergänzen. Der Anwender erhält dann eine fundierte zeitliche und ergonomische Bewertung der simulierten Arbeitsabläufe.

Anschließend wurde an einem Praxisbeispiel dargestellt, wie die automatisierte Erstellung einer HWD-Analyse technisch durch imk ema und die MTM-Software TiCon umgesetzt wurde.

Den Abschluss bildete eine Untersuchung, inwiefern analog eine automatisierte Analysenerstellung durch die Technologie Motion Capture möglich ist. Hierbei hat sich gezeigt, dass hier noch mehr Entwicklungstätigkeiten notwendig sind, da die generierten Informationen unzureichend sind.

Insgesamt wird deutlich, dass eine automatisierte Ableitung von HWD-Analysen aus digitalen menschlichen Bewegungsdaten möglich und sinnvoll ist. Für eine produktive und ergonomische Gestaltung menschlicher Arbeit in der zunehmend digitalisierten Produktion ist dies von hoher Bedeutung. Die Schnittstelle pDmA und die das Prozessbaustein-System MTM-HWD® haben das Potenzial, dem Industrial Engineer der Zukunft eine zielgerichtete und menschengerechte Arbeitsgestaltung auf Basis von Bewegungsdaten zu ermöglichen.

Literatur

- Benter, M. (2018). Analyse von Arbeitsabläufen mit 3D-Kameras. Hamburg, Techn. Univ., Dissertationsschrift.
- Benter, M., Kuhlang, P. (2019). Kategorisierung der MTM-HWD®-Einflussgrößen zur Bewertung der Ableitbarkeit aus digitalen Bewegungsdaten. In: GfA (Hrsg.), Tagungsband der Herbstkonferenz 2019, 12.-13. September 2019, Böblingen, GfA-Press, Dortmund, Deutschland.
- Bokranz, R., Landau, K. (2006). Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Faber, M., Przybysz, P., Latos, B. A., Mertens, A., Brandl, C., Finsterbusch, T., Härtel, J., Kuhlang, P., Nitsch, V. (2019). Empirical validation of the time accuracy of the novel process language Human Work Design (MTM-HWD®), Production & Manufacturing Research.
- Feldhorst, S. (2018). Automatische Aktivitäts- und Kontexterkenkung zur Analyse des Kommissionierprozesses. Dortmund, techn. Univ., Dissertationsschrift.
- Finsterbusch, T., Kuhlang, P. (2015). A New Methodology for Modelling Human Work – Evolution of the Process Language MTM towards the Description and Evaluation of Productive and Ergonomic Work Processes. In: Proceedings of 19th Triennial Congress of the IEA, Melbourne 9.-14
- Finsterbusch, T. (2016). Entwicklung einer Methodik zur Bildung von Bausteinsystemen für die Gestaltung menschlicher Arbeit. Dresden, Techn. Univ., Dissertationsschrift.
- Jackël, D., Nenreither, S., Wagner, F. (2006). Methoden der Computeranimation. Springer, Berlin.

- Kitagawa, M., Windsor, B. (2008). *MoCap for artists. Workflow and techniques for motion capture*. Elsevier/Focal Press, Amsterdam.
- Kuhlang P (2018). Produktive und ergonomiegerechte Arbeit – Von Grundsätzlichem zur Prozesssprache MTM über die Ergonomiebewertung zu Human Work Design (MTM-HWD®). In: ifaa (Hrsg.), *Leistung und Entgelt*. Joh. Heider Verlag, Düsseldorf, Ausgabe 2/2018, S. 6-46.
- Kuhlang P (2019). 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.
- Leidholdt, W., Fritzsche, L., Bauer, S. (2016). Editor menschlicher Arbeit (ema). In: Bullinger-Hoffmann A., Mühlstedt J. (eds) *Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B., Bruder, R. (2012). The European Assembly Worksheet. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. Volume 14 (Issue 6), S. 616-639. London: Taylor & Francis.