



Hochschule Merseburg (FH)  
University of Applied Sciences



Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Fachgebiet Mechatronik

Bachelorarbeit  
zur Erlangung des Grades Bachelor of Engineering (B. Eng.)

**Gestaltung eines Arbeitsplatzes zur Montage einer  
Pumpenbaugruppe mit Ergonomie- und Zeitstudie in  
ema Work Designer**

vorgelegt bei:

Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech

Zweitprüfer: M.Sc. Matthias Höhne

eingereicht von:

Enyuan Liu

Matrikel: BMMP7  
Kennnummer: 27151  
Abgabetermin: 30.11.2022

**Aufgabenstellung**  
**für die Bachelorarbeit (B.Eng.)**  
**von Herr Enyuan Liu**

**Thema:** Gestaltung eines Arbeitsplatzes zur Montage einer Pumpenbaugruppe mit Ergonomie- und Zeitstudie in ema Work Designer

**Betreuer/in:** Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech  
M. Sc. Matthias Rauhut

**Aufgabenstellung**

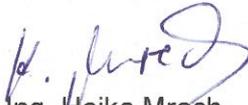
Manuelle Montage- und Handhabungsarbeitsplätze sind häufig durch ein hohes Verbesserungspotential gekennzeichnet. Aufgabe der Bachelorarbeit ist es, für die Montage einer Pumpenbaugruppe einen Arbeitsplatz zu gestalten und bezüglich Ergonomie und Arbeitszeiten mit der Software ema Work Designer zu optimieren. Hierzu sind die benötigten Bauteile digital zu erstellen, geeignete Greifbehälter auszuwählen am Arbeitsplatz optimal anzuordnen. Dieser Gestaltungs- und Optimierungsprozess ist von der Modellierung bis zur Ergebnisdokumentation zu beschreiben und mit multimedialen Trainingsunterlagen zu untersetzen.

**Arbeitsschritte**

- Recherche zu den Grundlagen (Ergonomie-Studien, MTM...)
- Einarbeitung in die Software ema Work Designer
- Digitalisierung der Baugruppengeometrien
- Gestaltung und Optimierung des Arbeitsplatzes (Ergonomie/ MTM...)
- Entwicklung multimedialer Trainingsunterlagen
- Dokumentation

Abzugebende Exemplare: zwei + PDF-Datei

  
Prof. Dr.-Ing. B. Langer  
Vorsitzende des Prüfungsausschusses

  
Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech  
Themenstellende Hochschullehrerin

## Abstract

Mit der Entwicklung von Ergonomie- und Prozessmanagement wird die Verbesserung und Analyse der manuellen Montagearbeit immer wichtiger. Diese Bachelorarbeit basiert auf eine Montageprozess der Pumpenbaugruppe und analysiert den manuellen Montageprozess, damit schließlich die für unterschiedliche Stückzahlen geeignete manuelle Montage- und Handhabungsarbeitsplätze nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet werden kann.

Im Folgenden wird ein Überblick über die Funktionen der Software ema Work Designer und eine Übersicht zu den Standardbausteinen für Arbeitsplätze und deren Bewertung gegeben. Dieser Artikel stellt die Gestaltung, arbeitswissenschaftliche Analyse und Optimierung dieses Arbeitsplatzes mit ema Work Designer vor.

Als Nächstes zeigt dieser Artikel den optimierten Montage- und Handhabungsarbeitsplatz einer Pumpenbaugruppe basierend auf zeitlicher und ergonomischer Analyse. Auch die Entwicklung und der Inhalt der unterstützenden multimedialen Trainingsdateien für die Software ema Work Designer wird systematisch vorgestellt. Am Ende wird die Bedeutung der Simulation der manuellen Montagearbeiten erläutert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabe und Ziel .....	1
1.2 Untersuchungsbereich.....	1
1.3 Vorgehensweise .....	1
<b>2 Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>2</b>
2.1 Grundlagen der Ergonomie.....	2
2.1.1 Anthropometrie und Greifraum.....	4
2.1.2 Bestimmung des richtigen Größenbereiches.....	6
2.2 Grundlagen des manuellen Montagearbeitsplatzes .....	8
2.2.1 Grundkenntnisse über manuellen Montagearbeitsplatz.....	8
2.2.2 Gestaltungsregeln eines Arbeitsplatzes .....	9
2.3 Die grundlegenden Funktionen von Software erna Work Designer .....	11
<b>3 Gestaltung des manuellen Montage- und Handhabungsarbeitsplatzes.....</b>	<b>16</b>
3.1 Szenario und Anforderungsprofil .....	16
3.2 Analyse des Montageprozesses und Materialversorgung .....	17
3.3 Ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes in Varianten .....	20
3.4 Grundlagen zur Variantenbewertung .....	22
3.4.1 Grundkenntnisse über MTM-Methode für zeitliche Bewertung .....	22
3.4.2 Grundkenntnisse über ergonomische Analysemethode .....	24
<b>4 Modellierung und Analyse des Montageprozesses mit Software erna Work Designer .....</b>	<b>27</b>
4.1 Datengrundlagen zur Modellierung .....	27
4.2 Modellierung und Simulation des Montageprozesses .....	28
4.3 Zeitliche und ergonomische Analyse .....	30
4.3.1 Zeitliche Analyse.....	30
4.3.2 Ergonomische Analyse .....	32
<b>5 Variantenauswahl und Optimierung .....</b>	<b>33</b>
5.1 Instrument: Nutzwertanalyse .....	33
5.2 Zeitliche und ergonomische Optimierung.....	35
5.2.1 Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl für kleine Bauteile.....	36

5.2.2	Anpassungsweise der Montagetischgröße.....	39
5.2.3	Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl für große Bauteile.....	41
5.2.4	Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation .....	45
5.3	Zeitliche und ergonomische Analyse der optimierten Ergebnisse .....	48
5.3.1	Zeitliche Analyse der optimierten Ergebnisse.....	48
5.3.2	Ergonomische Analyse der optimierten Ergebnisse .....	50
<b>6</b>	<b>Entwicklung multimedialer Trainingsunterlagen und Dokumentation .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>54</b>
7.1	Zusammenfassung .....	54
7.2	Ausblick .....	60
	<b>Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit .....</b>	<b>61</b>
	<b>Anhangverzeichnis .....</b>	<b>62</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>63</b>
	<b>Internetquellen .....</b>	<b>64</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Unterschiede zwischen Ergonomie und Arbeitsgestaltung in den Fachrichtungen .....	3
Abb. 2:	Summenhäufigkeit der Körperhöhe von Frauen und Männer .....	4
Abb. 3:	Körpermaße des unbedeckten Menschen.....	5
Abb. 4:	Horizontalschnitt durch den Greifraum in Ellbogenhöhe, 5. Perzentil Frau.....	6
Abb. 5:	Festlegung aller Körpermaße an einem Arbeitsplatz.....	7
Abb. 6:	Standardmaße eines Sitz-Steharbeitsplatzes von Bosch.....	7
Abb. 7:	Merkmale von manuellen, hybriden und automatischen Montagesystemen.....	8
Abb. 8:	Hauptliche Funktionen der emaWD .....	12
Abb. 9:	Menschmodelle-Konfigurator im ema Work Designer .....	12
Abb. 10:	Benutzeroberfläche von ema Work Designer.....	13
Abb. 11:	Registerkarte von Simulations-Projekt .....	13
Abb. 12:	Registerkarte von Objekten .....	14
Abb. 13:	Registerkarte von Verhalten .....	14
Abb. 14:	Registerkarte von Ergonomie .....	15
Abb. 15:	Registerkarte von Ergebnissen.....	15
Abb. 16:	Norm-Zentrifugalpumpe.....	16
Abb. 17:	Fotos und Teiledarstellung von Stopfbuchse .....	17
Abb. 18:	Die zur Montage einer Stopfbuchse benötigten Einzelteile .....	17
Abb. 19:	Montagevorranggraph: Schematische Darstellung des Produktaufbaues und Montageebenen.....	18
Abb. 20:	Teilbehälter von Gehäusedeckel, fertigen Stopfbuchsen und Stopfbuchsenbrille .....	19
Abb. 21:	Anzeige der Verbindungsstruktur.....	21
Abb. 22:	Grundtypen des Arbeitsplatzes mit variabler Größen.....	22
Abb. 23:	Grundbewegungsarten nach MTM.....	23
Abb. 24:	Bewertungsformular von Ergonomic Assessment Worksheet .....	25
Abb. 25:	Erster Entwurf von Arbeitstisch und Kombination mit DMM in emaWD-Umgebung .....	28
Abb. 26:	Simulation der ersten Konstruktion der Montagestation in emaWD-Umgebung.....	29
Abb. 27:	Simulation der ersten Konstruktion der Montagestation mit Menschmodell.....	29
Abb. 28:	Simulation des Montagearbeitsprozesses.....	30
Abb. 29:	Zeitliche Ergebnisse des Montageprozesses und Lastfall des DMMs .....	31
Abb. 30:	Taktzeit-Diagramm des Montageprozesses.....	31
Abb. 31:	Gesamtergebnis des Montageprozesses mit EAWS-Methode.....	32

Abb. 32:	Auf DMM auswirkender Lastfall des Montageprozesses.....	32
Abb. 33:	Vorgehen bei der Nutzwertanalyse.....	33
Abb. 34:	Anordnung der kleinen Sichtlagerkästen durch Stapeln.....	35
Abb. 35:	An die Schlitzplatte hängte Sichtlagerkästen bei 1. Variante.....	37
Abb. 36:	Arbeitsszenario eines Montagetisches mit Rutsche bei 2. Variante .....	37
Abb. 37:	Höhenverstellbarer Montagetisch und Stuhl mit Fußstütze .....	39
Abb. 38:	Höhenkonstanter Montagetisch mit höhenverstellbarer Fußstütze und Stuhl...	40
Abb. 39:	Simulation der 1. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang .....	42
Abb. 40:	Simulation der 2. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang .....	43
Abb. 41:	Simulation der 3. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang .....	44
Abb. 42:	Von der Software automatisch generierte MTM-UAS-Formulare .....	48
Abb. 43:	Zwei Stehplätze für die Arbeiter während der Arbeit .....	49
Abb. 44:	MTM-UAS Datenkarte zur Kodierung des Verhaltens .....	50
Abb. 45:	Gesamtergebnis des optimierten Montageprozesses mit EAWS- Methode .....	51
Abb. 46:	Auf den DMM auswirkender Lastfall des optimierten Montageprozesses.....	51
Abb. 47:	Vergleich der ergonomischen Bewertung von Rumpfbewegungen .....	51
Abb. 48:	Vergleich der ergonomischen Bewertung von Belastung des Arbeiters .....	52

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Tischgrößen des ersten Entwurfs und Beschreibungen .....	20
Tab. 2:	Anzahl, Masse und 3D-Ansicht der erforderlichen Einzelteile .....	28
Tab. 3:	Beispiel der Tabelle für den Kriteriumvergleich mit der Paarvergleichsmethode .. .....	34
Tab. 4:	Beispiel der Tabelle für den Variantenvergleich mit der Nutzwertanalyse .....	35
Tab. 5:	Kriteriendarstellung für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der kleinen Bauteile .....	38
Tab. 6:	Kriterienvergleich und -gewichtung für kleine Bauteile .....	38
Tab. 7:	Variantenvergleich für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der kleinen Bauteile .....	39
Tab. 8:	Kriteriendarstellung für Anpassungsweise der Montagetischgröße .....	40
Tab. 9:	Kriterienvergleich und -gewichtung für Anpassungsweise der Montagetischgröße .....	41
Tab. 10:	Variantenvergleich für Anpassungsweise der Montagetischgröße .....	41
Tab. 11:	Kriteriendarstellung für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der großen Bauteile .....	44
Tab. 12:	Kriterienvergleich und -gewichtung für große Bauteile .....	45
Tab. 13:	Variantenvergleich für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der großen Bauteile .....	45
Tab. 14:	3 mögliche Varianten der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation .....	46
Tab. 15:	Kriteriendarstellung für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation. .....	47
Tab. 16:	Kriterienvergleich und -gewichtung für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation.....	47
Tab. 17:	Variantenvergleich für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation.. .....	47
Tab. 18:	Kode und Erklärung des einzelnen MTM-UAS-Verhaltens.....	49
Tab. 19:	Anzeige von Videoinhalten .....	54
Tab. 20:	3 Teile der Montagearbeitsstation.....	55
Tab. 21:	Beschreibung der Strukturen des Montagetisches .....	56
Tab. 22:	Tischgrößen des optimierten Entwurfs und Beschreibungen .....	56
Tab. 23:	Beschreibung der Strukturen des Vorrats- und Zufuhrmechanismus.....	57
Tab. 24:	Beschreibung der Strukturen des Plazierungsmechanismus .....	59

## Abkürzungsverzeichnis

AG	Arbeitsgang
DMM	Digitale Menschmodell
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
IEA	International Ergonomics Association
KLT	Kleinladungsträger
MTM	Methods-Time Measurement
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NWA	Nutzwertanalyse
PT	Processing Time
TMU	Time Measurement Unit
UAS	Universal Analysis System

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meine Betreuenden, Frau Prof. Dr.-Ing. Heike Mrech und Herrn M.Sc. Matthias Höhne für die Ermöglichung der Bachelorarbeit und für die hilfreichen Anregungen während der Bearbeitung des Themas. Herr Armin Engelhardt half mir auch bei vielen technischen Problemen.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern und meiner Familie danken, die mir das Studium und damit auch diese Bachelorarbeit erst ermöglicht haben.

# **1 Einleitung**

## **1.1 Aufgabe und Ziel**

Die manuelle Montage hat eine lange Geschichte. Aufgrund ihrer Flexibilität und Präzision wird sie ein wichtiges Montageverfahren in der industriellen Fertigung. Aber die Verbesserung der manuellen Montage ist problemorientiert. Eine Reihe ergonomischer Faktoren wurde bei der Konstruktion übersehen, was zu Problemen wie Beschwerden der Arbeitnehmer und sogar Verletzungen sowie zu uneinheitlicher Produktqualität und geringerer Produktivität führte.

In diesem Beitrag wird daher das Beispiel eines manuellen Montagearbeitsplatzes für eine Pumpenkomponent gewählt und die Modellierung, Simulation, ergonomische und zeitliche Analyse sowie Optimierung der manuellen Montagearbeit präsentiert. Ziel ist es, einen ergonomischen Arbeitsplatz für die manuelle Montage von Pumpenkomponenten zu entwerfen, der an unterschiedliche Stückzahl angepasst werden kann. Die Konstruktionsergebnisse wird durch Analyse der ergonomischen Software optimiert. Diese Arbeitsschritte ermöglichen eine quantitative Analyse der manuellen Montagearbeit und die Gestaltung von Montagearbeitsplätzen, damit das körperliche Unbehagen der Mitarbeiter und das Verletzungsrisiko am Arbeitsplatz verringert und die Produktivität erhöht werden.

## **1.2 Untersuchungsbereich**

Um einen ergonomischen Montagearbeitsplatz zu gestalten, beschäftigt sich diese Arbeit mit der manuellen Montage, der Arbeitsplatzgestaltung sowie der Ergonomie (hauptsächlich Anthropometrie). In den anschließenden Analyse- und Optimierungsschritten kommen die zeitliche MTM-Analyse und ergonomische Analysemethoden zum Einsatz. Softwareunterstützung (z. B. CAD-Software, ergonomische Arbeitssimulationssoftware) wird während des gesamten Forschungsprozesses bereitgestellt.

## **1.3 Vorgehensweise**

Diese Bachelorarbeit analysiert den Montageprozess der Baugruppe durch Modellierung einzelner Bauteile und wendet Ergonomie zur Gestaltung der Montagestation an. Die Konstruktionsergebnisse werden durch die Software ema Work Designer (im Folgenden mit emaWD abgekürzt) simuliert. Der Montageplatz wird ergonomisch und zeitlich bewertet und

seine Mängel werden optimiert. Weil im Simulations- und Optimierungsprozess eine ergonomische Analysesoftware zum Einsatz kommt, werden auch entsprechende Prozessanleitungen und multimediale Anleitungsvideos erstellt. Letztendlich wurde ein optimaler Entwurf für den manuellen Montagearbeitsplatz erstellt.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Grundlagen der Ergonomie

Der Begriff „Ergonomie“ ist ein Teil des Studiengangs „Arbeitswissenschaft“. Das deutsche Verständnis von Arbeitswissenschaft lässt sich nicht vollständig auf einen internationalen Kontext übertragen. Die Begriffe „Ergonomics“ oder „Human Factors“ sind in internationalen Kontexten üblich. Die International Ergonomics Association (IEA) definiert Ergonomics wie folgt: *„Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance ... Derived from the Greek ergon (work) and nomos (laws) to denote the science of work, ergonomics is a systems-oriented discipline which now extends across all aspects of human activity.“*<sup>1</sup> Wie aus der Definition von IEA hervorgeht, ist das Ziel der humanitären und effizienzorientierten Optimierung ein grundlegendes Merkmal der Arbeitswissenschaft. In jüngerer Zeit wurde der Anwendungsbereich auch auf „Ergonomie“ ausgeweitet.<sup>2</sup>

Arbeitswissenschaft ist eine relativ junge Disziplin, die erst ein Jahrhundert alt ist. Sie befasst sich mit der Analyse, Anordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Aspekte des Arbeitsablaufs, um folgende Ziele zu erreichen:<sup>3</sup>

- Arbeitspersonen in die Lage zu versetzen, eine annehmbare und vertretbare Arbeit ohne Schaden zu leisten,
- quantifizierte soziale Standards in Bezug auf Arbeitsinhalte, Arbeitsaufgaben, Arbeitsumgebung sowie Belohnungen und Zusammenarbeit erfüllen, sowie
- Handlungsspielraum erweitern, sich den Fähigkeiten anpassen und die Zusammen-

---

<sup>1</sup> Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 6.

<sup>2</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 6 f.

<sup>3</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S. 1 ff.

arbeit mit anderen pflegen und ausbauen.

Die Arbeitswissenschaft kann in zwei Schwerpunkte unterteilt. Als ein Element oder Schwerpunkt der Arbeitswissenschaft konzentriert sich die Ergonomie auf Technologien, die die Arbeit für die Arbeitnehmer weniger belastend realisiert. Sie hat einen direkten Einfluss auf die Arbeit der Arbeitnehmer, während die Arbeitsgestaltung die Faktoren enthält, die die Arbeit der Arbeitnehmer indirekt beeinflussen. Der Kontrast zwischen den beiden Aspekten wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht:<sup>4</sup>

<b>Arbeitswissenschaft</b>	
<b>Ergonomie</b>	<b>Arbeitsgestaltung</b>
<b>Arbeitsphysiologie</b>	<b>Analyse von Arbeitstätigkeiten</b>
<b>Arbeitspsychologie</b>	<b>Gestaltung von Arbeitssystemen</b>
<b>Arbeitsumgebungsgestaltung</b>	<b>Personalqualifizierung</b>
<b>Arbeitsplatzgestaltung</b>	<b>Arbeitsbewertung</b>
<b>Integrierte Produktgestaltung</b>	<b>Organisation der Arbeitszeit</b>
<b>Mensch - Maschine - Schnittstelle</b>	

Abb. 1: Unterschiede zwischen Ergonomie und Arbeitsgestaltung in den Fachrichtungen  
(Quelle: Bilger, B., 1992, S. 4)

Arbeitsphysiologie und -psychologie konzentrieren sich auf die Anpassung der Arbeit an die Physiologie und Psychologie der Arbeitsperson. Die Arbeitsumgebungsgestaltung umfasst die Steuerung von Arbeitsplatzbeleuchtung, Farbe, Schall, Schwingung, Klima, Gefahrstoffen und Strahlungsfaktoren. Die Arbeitsplatzgestaltung berücksichtigt die Körpermaße des menschlichen Arbeiters, was nicht nur die Gesundheit der Arbeiter schützt, sondern auch die Arbeitseffizienz verbessert. Integrierte Produktgestaltung verbindet Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. Mensch-Maschine-Schnittstelle ist die Disziplin menschlicher Bediener, die Maschinen bedienen, außerhalb von Prozessen eingreifen und den Zustand von Systemen überwachen. Durch die Optimierung der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wird die Bedienoberfläche vom Menschen leichter und einfacher akzeptiert.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S. 3.

<sup>5</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S. 335.

Da die Montagearbeiten der Pumpenbaugruppe als Beispiel in dieser Arbeit keine Vibrationen, Geräusche, starkes Licht, giftige und schädliche Substanzen und Radioaktivität erzeugen, werden in dieser Arbeit nur Analysen und Gestaltungen im Anthropometrie und Abmessungen des Arbeitsplatzes durchgeführt.

### 2.1.1 Anthropometrie und Greifraum

Die Anthropometrie ist die Lehre von der menschlichen Körpergröße. Jeder Mensch hat eine einzigartige Körpergröße, aber wenn man alle Menschen in einem Gebiet untersucht, werden die Ergebnisse für die Körpergröße einem statistischen Muster entsprechen (Normalverteilung).<sup>6</sup> Das folgende statistische Diagramm zeigt die Größenverteilung von Frauen und Männern. Das Diagramm stellt dar, dass sich die Mehrheit der Menschen (90 %) auf eine mittlere Reihe von Körpergrößen konzentriert, wobei eine Minderheit besonders klein oder hochgewachsen ist.

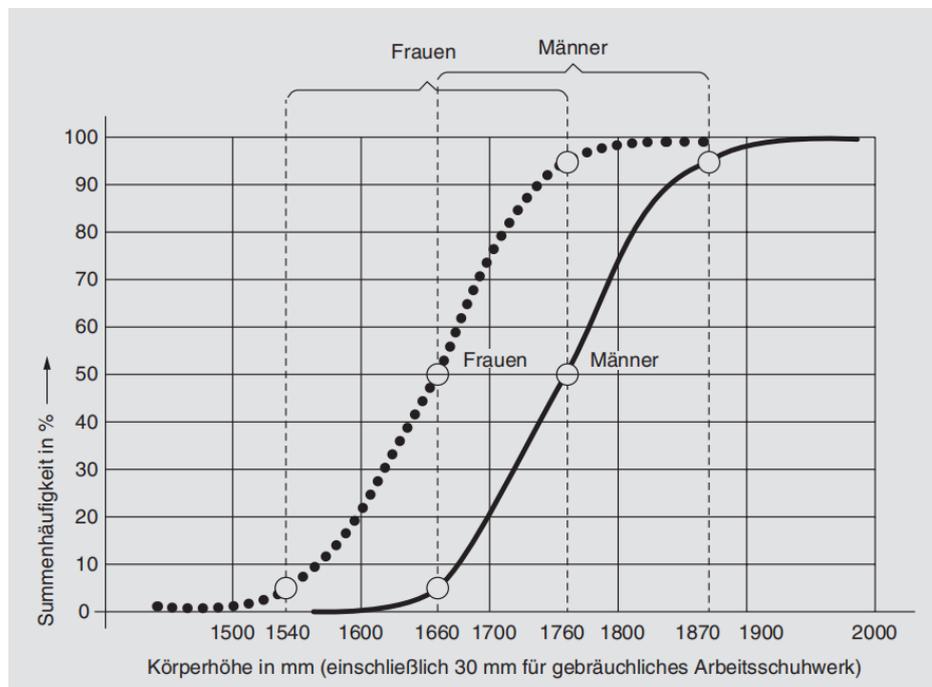


Abb. 2: Summenhäufigkeit der Körperhöhe von Frauen und Männer  
(Quelle: Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 479)

In diesem Fall müssen die Platzverhältnisse des Arbeitsumfeldes auf die Körpermaße des Arbeitnehmers abgestimmt sein. Es ist jedoch nicht möglich, die „durchschnittliche Körpergröße“ bei der Gestaltung eines Arbeitsplatzes direkt zu berücksichtigen. Wenn die Tischgröße

<sup>6</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 478 ff.

als Durchschnittsgröße angenommen wird, dann ist der Tisch nur für Arbeitnehmer mit durchschnittlicher Größe geeignet. Für Arbeitnehmer, die etwas größer oder kleiner sind, wird er nicht mehr geeignet sein. Daher sollte bei der Dimensionierung eines Arbeitstisches darauf geachtet werden, wie gut die Tischgröße zu einer Reihe von Körpergrößen passt.

Die folgende Abbildung zeigt eine statistische Körpergrößentabelle der deutschen Bevölkerung (16-60 Jahre) nach DIN 33 402, die nach Geschlechtern und Größenanteile gegliedert ist. Auch die Maße jedes Gliedes des menschlichen Körpers werden separat dargestellt, was bei der Gestaltung des Arbeitstisches sehr hilfreich ist.

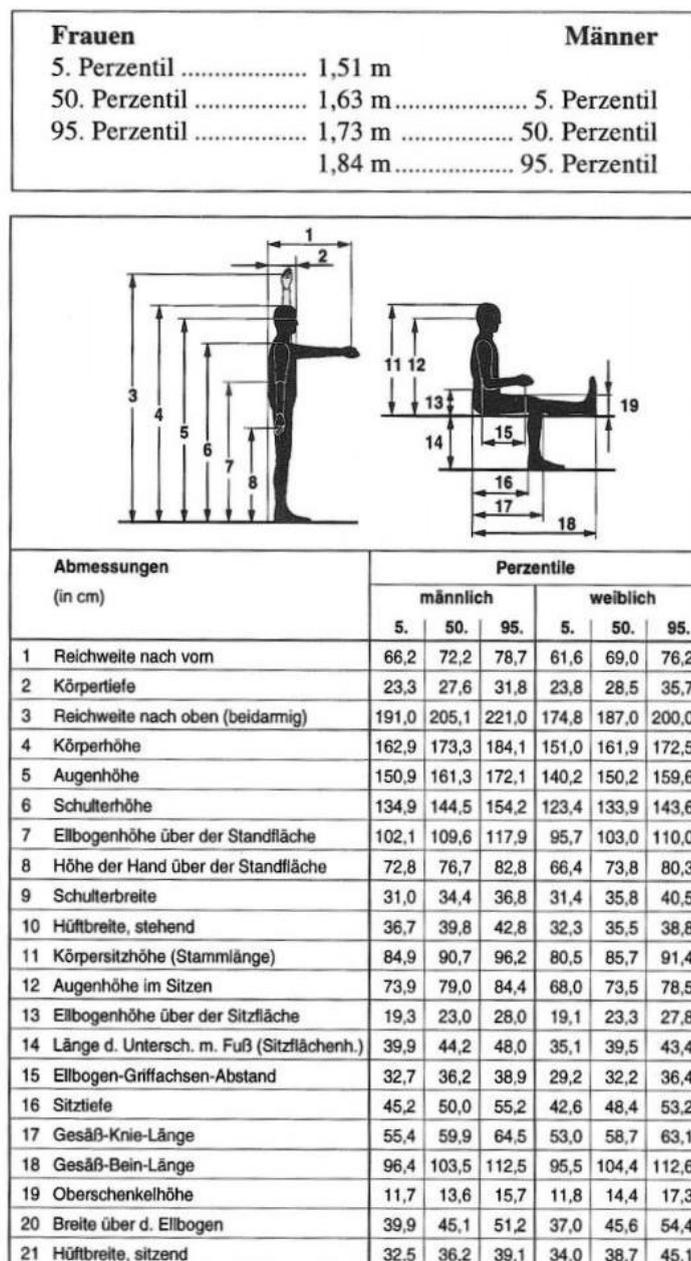


Abb. 3: Körpermaße des unbedeckten Menschen  
(Quelle: Bullinger, H. J., 2013, S. 200)

In der Arbeitsszene mit beiden Händen sollte der Hauptarbeitsbereich innerhalb der gemeinsamen Reichweite des linken und rechten Armes liegen und in der Mitte angeordnet sein, in dem beide Hände zusammenarbeiten können, wie in der folgenden Abbildung gezeigt. Dieses Diagramm kann für die Gestaltung des Arbeitsbereichs und der Steuerungskomponenten verwendet werden.

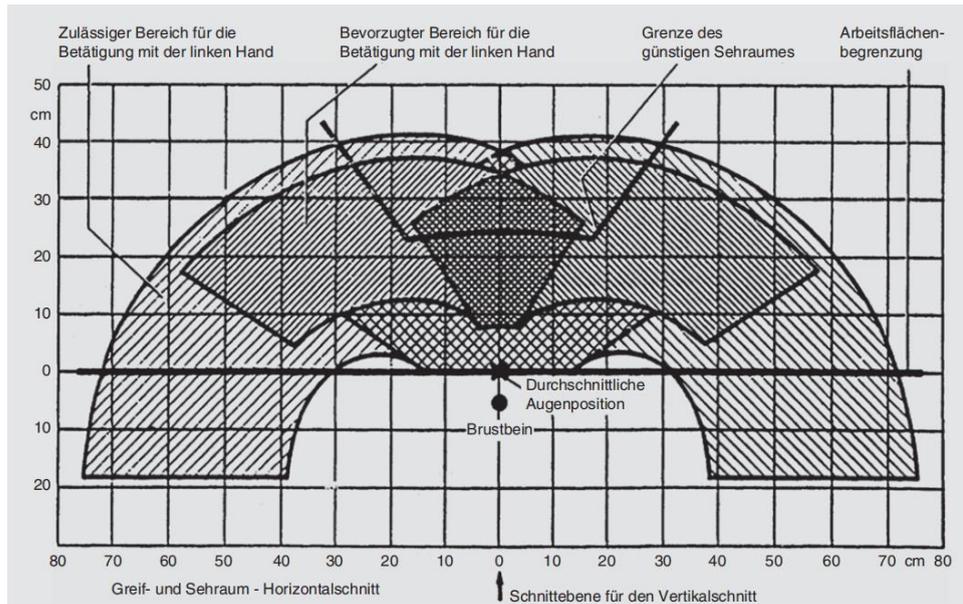


Abb. 4: Horizontalschnitt durch den Greifraum in Ellbogenhöhe, 5. Perzentil Frau  
(Quelle: Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 484)

## 2.1.2 Bestimmung des richtigen Größenbereiches

Sobald die Grundmaße des menschlichen Körpers bestimmt sind, kann mit dem Entwurf der Tischmaße begonnen werden.

Die für diesen Artikel gewählte Körperhöhe der Erwachsenen liegt zwischen 5% von Frauen (Mindestgröße) und 95% von Männern (Höchstgröße). Aufgrund der überproportionalen Verteilung extremer Körpergrößen, die entweder zu kurz (weniger als 5 Prozent) oder zu groß (mehr als 95 Prozent) sind, beträgt die überwiegende Mehrheit der Befragten nur 1/4 des gesamten Größenbereichs.<sup>7 8</sup>

Um auch die Arbeitnehmer mit den kürzesten Armen die Werkzeuge oder Einzelteile innerhalb

<sup>7</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 479.

<sup>8</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S.199.

der Reichweite leicht erreichen zu können, werden die Greifweite und die Aufbauhöhe als Mindestwerte (5. Perszentil der Arbeitnehmerinnen) angenommen. Und in einigen eingeschränkten Bereichen (z. B. Tiefe und Höhe des Beinfreiraums) sollte die Größe als Maximalwert (95. Perszentil der Arbeitnehmer) gewählt werden, damit der Arbeiter während der Arbeit genügend Bewegungsfreiheit hat. Wenn man die oben genannten Ergebnisse zusammenfasst, ergibt sich folgendes Diagramm:

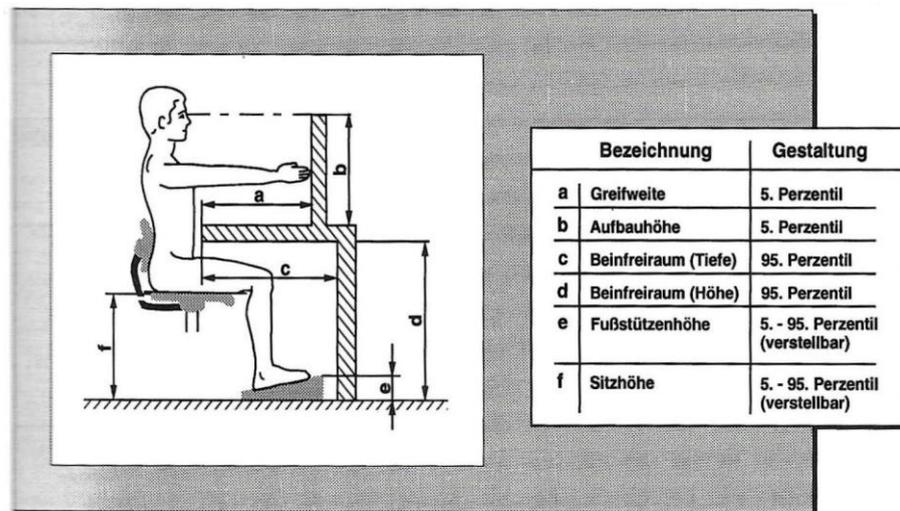


Abb. 5: Festlegung aller Körpermaße an einem Arbeitsplatz

(Quelle: Bullinger, H. J., 2013, S. 231)

Die folgende Abbildung zeigt die beispielhafte Gestaltung der Abmessungen des Arbeitstisches auf der Grundlage der menschlichen Körpergröße.

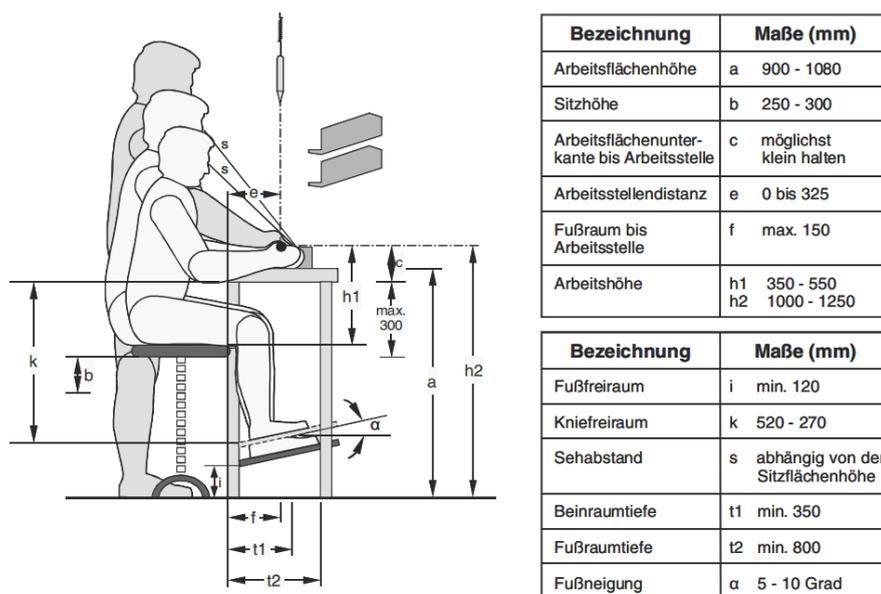


Abb. 6: Standardmaße eines Sitz-Steharbeitsplatzes von Bosch

(Quelle: Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.), 2013, S. 130)

## 2.2 Grundlagen des manuellen Montagearbeitsplatzes

### 2.2.1 Grundkenntnisse über manuellen Montagearbeitsplatz

Bei der manuellen Montage werden alle Montagevorgänge manuell durchgeführt. Sie bedeutet nicht, dass alle Fügeverfahren vollständig von menschlichen Arbeitern hergestellt werden, sondern von Menschen wahrgenommen werden. Der Montageprozess erfordert die vereinte Beteiligung der Hände, Geschicklichkeit, Sinne und Intelligenz der Arbeiter, Schritt für Schritt in einer sinnvollen Abfolge mit Hilfe von Hilfsmitteln wie Werkzeugen, Vorrichtungen und Instrumenten.<sup>9 10</sup> Bei den verschiedenen Produkten besteht jedoch ein gewisser Freiheitsgrad in Bezug auf die Methode und die Reihenfolge der Montage, die von den Arbeitnehmern selbst bestimmt oder durch die Arbeitsinformation vorgegeben wird, so dass die manuelle Montage die relative größte Freiheit und die größte Produktvielfalt aufweist.<sup>11</sup>

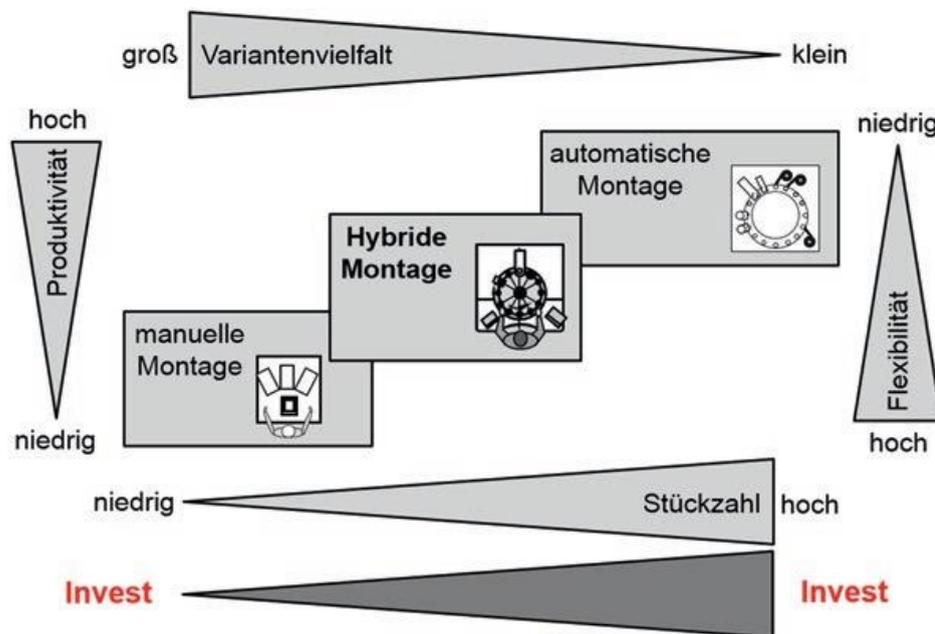


Abb. 7: Merkmale von manuellen, hybriden und automatischen Montagesystemen

(Quelle: Lotter, E.; Müller U., 2018, S. 94)

Weil automatisierte Anlagen eine lange Konstruktionsphase erfordern und Nachteile wie geringe Flexibilität in der Praxis und erhöhte Anfälligkeit bei zunehmender Komplexität aufweisen, werden sie häufig durch manuelle Montage ersetzt, welche schnell einsetzbar, flexibel und beständig arbeitet. In Bezug auf Effizienz und Produktivität hat die Automation

<sup>9</sup> Vgl. Lotter, E.; Müller U., 2018, S. 94.

<sup>10</sup> Vgl. Vladimír, R. , Andrea, L. , & Norbert, S., 2015, S. 257.

<sup>11</sup> Vgl. Lotter, E.; Müller U., 2018, S. 94.

jedoch größere Vorteile.<sup>12</sup>

Bei der Montage von Pumpenbaugruppen, die als Beispiel in dieser Bachelorarbeit verwendet wird, wurde die manuelle Montage verwendet, die eine geringe Investition darstellt und schnell Produktivität aufbauen kann, um ein Gleichgewicht zwischen der Investition und der erforderlichen Produktivität herzustellen. Die manuelle Montage lässt sich das Layout für mögliche Arbeitsplatzwechsel leicht anpassen.

## 2.2.2 Gestaltungsregeln eines Arbeitsplatzes

Bei der Gestaltung von Handmontagearbeitsplätzen sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:<sup>13</sup>

- **Modularität:** Um ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis im Fertigungsprozess zu erreichen, muss sich die Produktionsstätte ständig an die Anforderungen steigender Stückzahlen, Produktverbesserungen oder Automatisierungsgrade anpassen. Die Wettbewerbsfähigkeit hängt in hohem Maße von der Fähigkeit eines Unternehmens ab, seine Produktions- und Montagesysteme schnell umzugestalten. Die modulare Struktur der manuellen Produktionsanlagen kann leicht modifiziert werden, um den Materialfluss zu verbessern, Funktionen hinzuzufügen oder zu entfernen sowie die Abmessungen zu ändern. Die Arbeitsbereiche können schnell neu angeordnet werden, um individuelle Aufträge zu erfüllen. Bei Bedarf können modulare Komponenten ersetzt (hinzugefügt und/oder verschoben) und neu angeordnet werden, um neuen Anwendungen besser gerecht zu werden. Module sind leichter zu warten und Teile auszutauschen. Eine größere Modularität verringert daher den Zeit- und Arbeitsaufwand für die Neukonfiguration.
- **Mobilität:** Dieses Merkmal beschreibt, ob Komponenten und Teilsysteme leicht bewegt und neu positioniert werden können (oder die Fertigungsanlagen bewegt werden können).
- **Integrierbarkeit:** Dies bietet die Möglichkeit, bestehende und zukünftige Module in andere Teile des Produktionssystems zu integrieren. Mechanische, informations- und steuerungstechnische Schnittstellenmodule erlauben das System und seine Komponenten (Elemente) so zu konzipieren, dass sie leicht integriert werden können und die

---

<sup>12</sup> Vgl. Bilger, B., 1992, S. 5 f.

<sup>13</sup> Vgl. Vladimír, R., Andrea, L., & Norbert, S., 2015, S. 258.

künftige Einführung neuer Technologien möglich ist.

- Umrüstbarkeit: Dieses Merkmal gibt an, ob das Produktionssystem die Funktionen eines bestehenden Produktionssystems und die darin enthaltenen Teilsysteme und Elemente leicht umrüsten kann, um neue Produktionsanforderungen zu erfüllen (d. h. Änderung der Anordnung von Maschinen, Arbeitsplätzen und Materialtransportgeräten).
- Anpassungsfähigkeit: Dieses Merkmal zeigt die Fähigkeit, die Funktionalität des Produktionssystems schnell anzupassen und zu ändern, um schnell zwischen verschiedenen Produkten wechseln zu können.
- Skalierbarkeit: Das Merkmal drückt aus, ob das Produktionssystem leicht erweitert und reduziert werden kann.
- Diagnosefähigkeit: Das Produktionssystem muss in der Lage sein, den aktuellen Zustand des Systems zu erfahren, um die Ursache von Produktfehlern oder Maschinenausfällen zu erkennen und zu diagnostizieren sowie Betriebsfehler schnell zu beheben.
- Automatisierung: Diese Funktion bietet die Möglichkeit, den Automatisierungsgrad zu erhöhen und zu verringern.
- Ergonomie: Ergonomische Produktionsanlagen ermöglichen bessere Arbeitsbedingungen für die Bedinenden, verringern die Wahrscheinlichkeit von Verletzungen und erhöhen die Arbeitseffizienz.

Die oben genannten Faktoren sind nicht zwingend und sollten bei der Gestaltung von Produktionssystemen gezielt ausgewählt werden. Bei der Gestaltung von Arbeitsplatz sollten die folgenden Regeln berücksichtigt werden: <sup>14</sup> <sup>15</sup>

- Häufig genutzte Steuerungskomponenten und wichtige Bedienpunkte sollten auf kleiner Reichweite platziert werden.
- Die Bewegung zum Werkstückmanipulieren und zum Erreichen anderer Arbeitspunkte sollte im Händerwirkraum angeordnet sein und möglichst der natürlichen Bewegungsbahn der Hand- bzw. Körpergelenke entsprechen.
- Der Abstand des Hauptarbeitsplatzes zu den Werkzeug-, Geräte- sowie Materialbehältern sollte möglichst kurz sein und eine gleiche Greifhöhe haben. Werkzeuge oder andere Hilfsmittel sollten auf geeigneten Ablagen platziert werden, wo sie schnell zugänglich oder platziert werden können.

---

<sup>14</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S. 245 f.

<sup>15</sup> Vgl. Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.), 2013, S. 129 ff.

- Der Greifbereich ist auf einen horizontalen Betrachtungswinkel von 35 Grad links und rechts ausgelegt. Die Drehung des Kopfes und des Teilkörpers ist für Blickwinkel und Greifbereich deutlich höher als 35 Grad erforderlich.
- Greif- oder Montagevorgänge oberhalb der Herzhöhe sollten vermieden werden, d. h. das Heben der Hände über Herzhöhe sollte möglichst vermieden werden. Sonst wird die Blutzirkulation beeinträchtigt, was zum raschen Leistungsabfall der Arbeiter führt.
- Für gängige Montageaufgaben beträgt die Standardlichtintensität 500 Lux. Bei kleinen oder komplexen Teilemontagen ist eine stärkere Beleuchtung erforderlich. Daher ist die Installation einer Lichtquelle über der Arbeitsebene notwendig.
- Die Versorgung von Einzelteilen sollte in Behältern erfolgen, die mit Greiflippe oder -zunge für den schnellen Zugriff durch die Arbeiter ausgestattet sind.
- Die nicht mehr auf den Montagetisch gestellten Teilebehälter (Kleinladungsträger, abgekürzt als KLT) sollten auf höhenverstellbaren Hubtisch oder Materialwagen gestellt werden.

Der Einfluss von ergonomischen Faktoren auf die Gestaltung wird später im Paragraf 3.3 dargestellt.

## 2.3 Die grundlegenden Funktionen von Software ema Work Designer

Die Software ema Work Designer ist eine ergonomisch orientierte Software zur virtuellen Arbeitsplatzgestaltung und Produktionsprozesssimulation. Die Software ermöglicht eine ganzheitliche Planung, Bewertung und 3D-Simulation menschlicher Arbeit in einer digitalen Fabrikumgebung.



Abb. 8: Hauptliche Funktionen der emaWD  
 (Quelle: imk automotive GmbH, 2022)

Mit Hilfe digitaler Menschmodelle (DMM) sowie Verhaltens- und Prozesseditoren können Arbeitsplätze und Produktionsabläufe detailliert gestaltet und Simulationen kompletter Fertigungs- und Montageprozesse visualisiert werden. Abschließend wird eine umfassende zeitliche und ergonomische Analyse und Bewertung der simulierten Arbeitsszene durchgeführt.

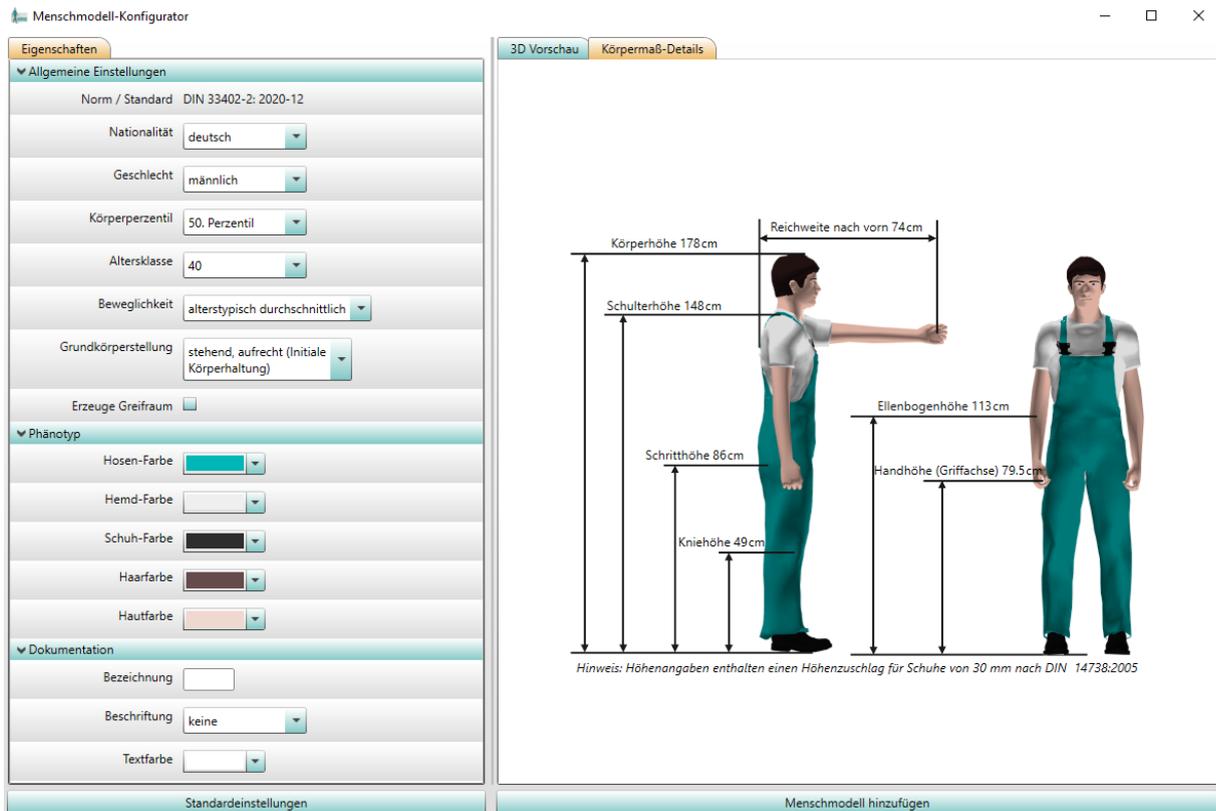


Abb. 9: Menschmodelle-Konfigurator im ema Work Designer  
 (Quelle: eigene Abbildung)

Die Softwareoberfläche ist hauptsächlich in zwei Bereiche unterteilt: den Tabellenbereich in der oberen Hälfte des Bildschirms (roter Bereich in der Abbildung) und den visuellen 3D-Ansichtsbereich in der unteren Hälfte (blauer Bereich in der Abbildung).



Abb. 10: Benutzeroberfläche von emawork Designer  
(Quelle: eigene Abbildung)

Die Auswahl einer verschiedenen Registerkarte ermöglicht das Umschalten zwischen den folgenden Funktionen:

- **Simulations-Projekt:** Auf dieser Seite ist es möglich, den Takt- und Verteilzeit einzustellen (wichtig für die ergonomische Bewertung) und Informationen über das Projekt zu ändern.

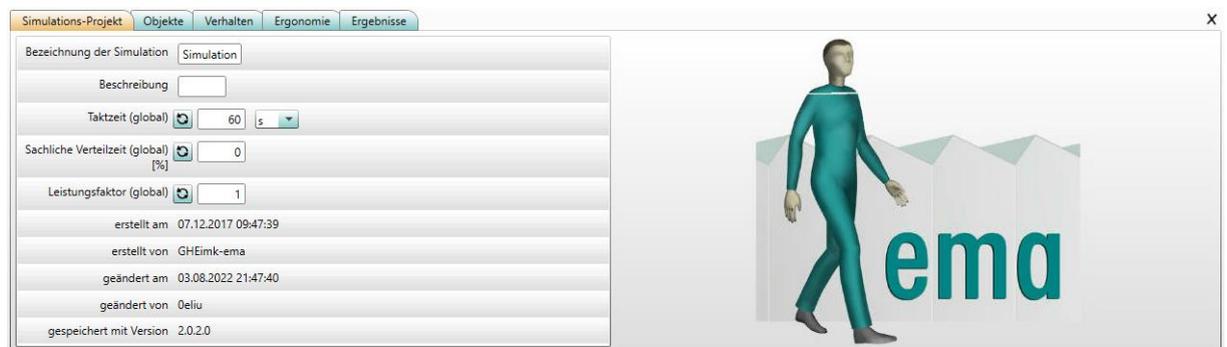


Abb. 11: Registerkarte von Simulations-Projekt  
(Quelle: eigene Abbildung)

- **Objekte:** Objekte werden in Form eines Produkt- oder Prozessstrukturbaums angezeigt und strukturiert. Das Einfügen von Objekten und das Anpassen ihrer Eigenschaften kann ebenfalls erreicht werden. Die Software verfügt über eine integrierte Bibliothek mit vielen Modellen, aus der der Benutzer Modelle in das Projekt exportieren kann.

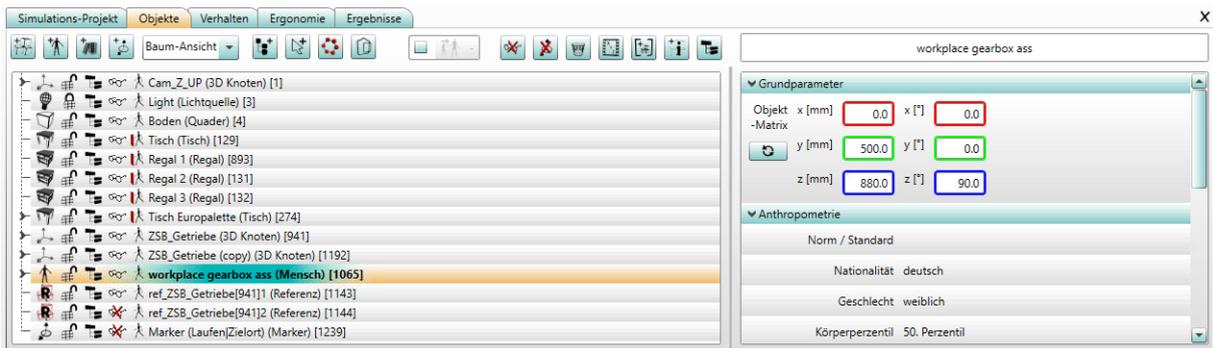


Abb. 12: Registerkarte von Objekten

(Quelle: eigene Abbildung)

- Verhalten: Nachdem die Erstellung der Arbeitsszene abgeschlossen ist, kann das Bewegungsverhalten des DMMs oder des Objekts definiert werden. Diese Seite bietet die Möglichkeit, menschliche Bewegungen oder Objekt-bewegungen zu erstellen oder anzupassen. Mit diesen Funktionen kann ein Workflow sowie die Animationssimulationen der Bewegungen erstellt werden.

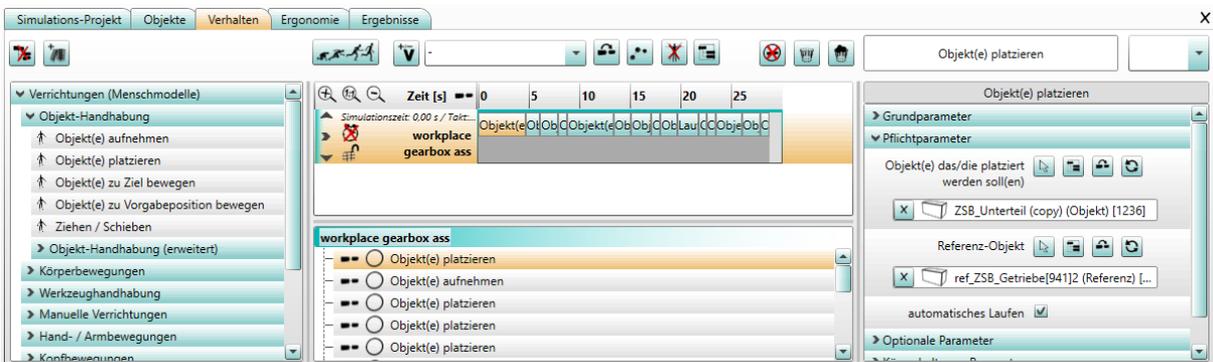


Abb. 13: Registerkarte von Verhalten

(Quelle: eigene Abbildung)

- Ergonomie: Die Software emawD ermöglicht die Untersuchung ergonomischer Bedingungen während des gesamten Arbeitsprozesses, einschließlich dynamischer Aspekte von Körperhaltung und Kraft. Mit dieser Software ist somit eine genaue ergonomische Analyse und Beurteilung möglich. Ergonomische Bewertung im Arbeitsablauf gemäß EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) zur Identifizierung ergonomischer Probleme.

Informationen	
50. Perzentil, weiblich,	
Altersklasse: 40, Leistungsfaktor:	
1	
<b>Gesamt Körper [Pkt]</b>	<b>45.5</b>
Körperstellung [Pkt]	2
Rumpfdrehung [Pkt]	0
Rumpfneigung [Pkt]	0
Reichweite [Pkt]	0
<b>Haltung [Pkt]</b>	<b>2</b>
17 Fingerkräfte [Pkt]	0
18 Arm-/Ganzkörperkräfte [Pkt]	0
<b>Kräfte [Pkt]</b>	<b>0</b>
10. Handkraft [Pkt]	43.2

Abb. 14: Registerkarte von Ergonomie

(Quelle: eigene Abbildung)

- Ergebnisse: Die Software führt automatisch Zeitanalysen basierend auf MTM-UAS und Wertschöpfungsanalysen durch, was zu MRK-Berichten über Simulationszeit, Arbeitsbelastung, Platzbedarf für Roboter und Menschen sowie Risikobewertung usw. führt. Die Ergebnisse können auch über z. B. Spaghetti- und Taktzeitdiagramm dargestellt werden.

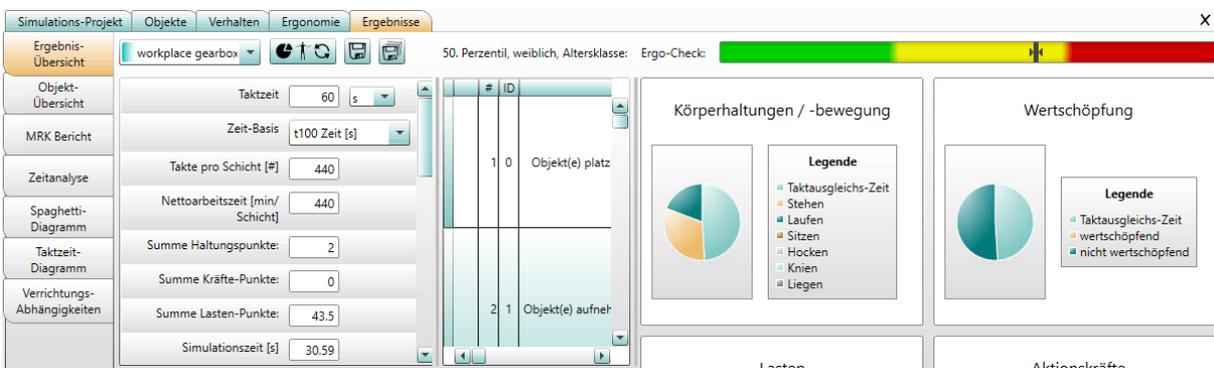


Abb. 15: Registerkarte von Ergebnissen

(Quelle: eigene Abbildung)

Im visuellen 3D- Darstellungsbereich darunter kann das Layout der digitalen Arbeitsplatzsimulation verändert, der Blickbereich und -winkel geändert und die Animation der Aktions- oder Prozesssimulation gesteuert werden. Auf der Grundlage des zuvor definierten Arbeitsplatzes, der Verhaltensweisen und Aufgaben kann die Software simulierte Arbeitsszenarien erstellen. Nachdem die Simulation der Montagearbeiten abgeschlossen ist, kann die Visualisierung in Form von Video oder Screenshot exportiert werden. Die Software ist relativ benutzerfreundlich und ihre Funktionen sind für die ergonomische Analyse ausreichend.

### 3 Gestaltung des manuellen Montage- und Handhabungsarbeitsplatzes

#### 3.1 Szenario und Anforderungsprofil

Das eigentliche Szenario in dieser Bachelorarbeit ist eine manuelle Montagestation für die Pumpenbaugruppe Stopfbuchse einer Norm-Zentrifugalpumpe. Die Zentrifugalpumpe bezeichnet als eine Strömungsmaschine mit einfacher Struktur, die häufig zum Transport von Flüssigkeiten eingesetzt wird.

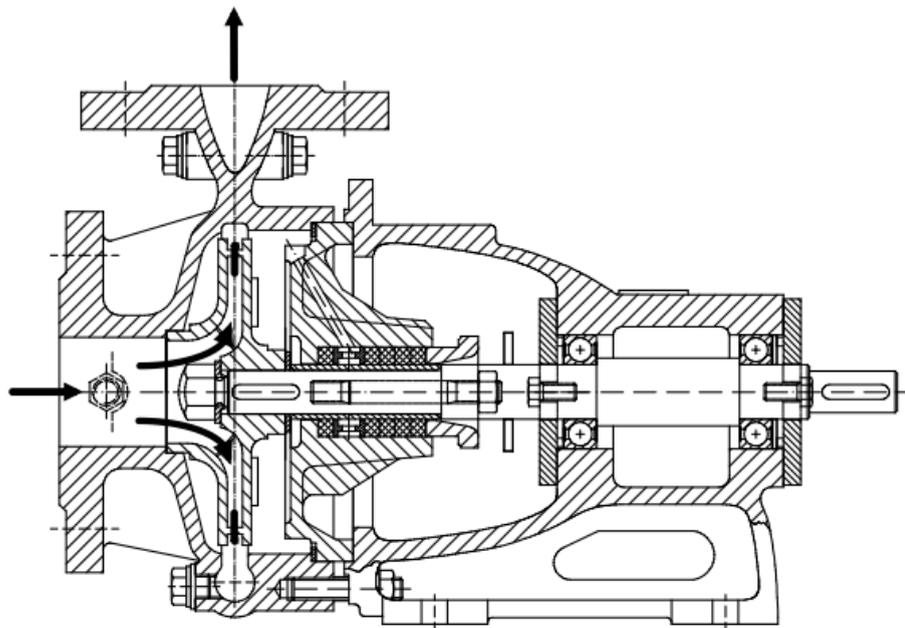


Abb. 16: Norm-Zentrifugalpumpe

(Quelle: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2022)

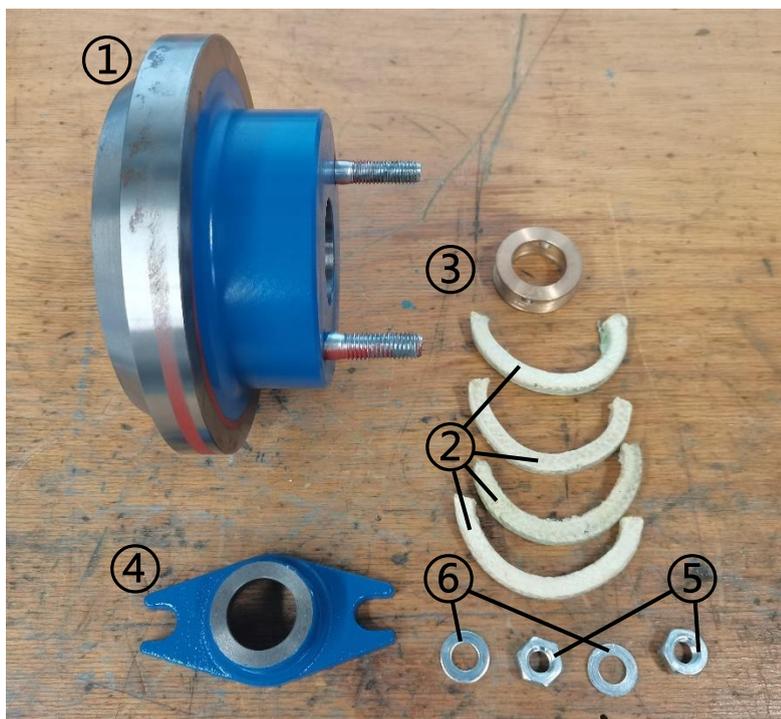
Die Stopfbuchse dichtet die Druckkammer und die Seite der Wellenhülse ab, so dass sich die Welle innerhalb der Dichtfläche der Dichtungspackung bewegen kann, inzwischen tritt die Flüssigkeit nicht aus der Dichtfläche aus. Aufgrund vieler kleinen Teile der Stopfbuchse kann ihre Vormontage zuerst die Komplexität der Gesamtmontage der Pumpe effektiv reduzieren. Die Anforderung besteht darin, einen manuellen Montagearbeitsplatz mit ergonomischen Abmessungen und Anordnung zu entwerfen.



Abb. 17: Fotos und Teiledarstellung von Stopfbuchse  
(Quelle: eigene Abbildung)

### 3.2 Analyse des Montageprozesses und Materialversorgung

Für die Montage der Stopfbuchsen von Zentrifugalpumpen ist ein sequenzieller Montageprozess erforderlich. In der Montageanleitung für Zentrifugalpumpe wird die Schritte zum Zusammenbau der gesamten Pumpe festgelegt.



- |   |                   |
|---|-------------------|
| ① | Gehäusedeckel     |
| ② | Stopfbuchspackung |
| ③ | Sperring          |
| ④ | Stopfbuchsbrille  |
| ⑤ | Sechskantmutter   |
| ⑥ | Scheibe           |

Abb. 18: Die zur Montage einer Stopfbuchse benötigten Einzelteile  
(Quelle: eigene Abbildung)

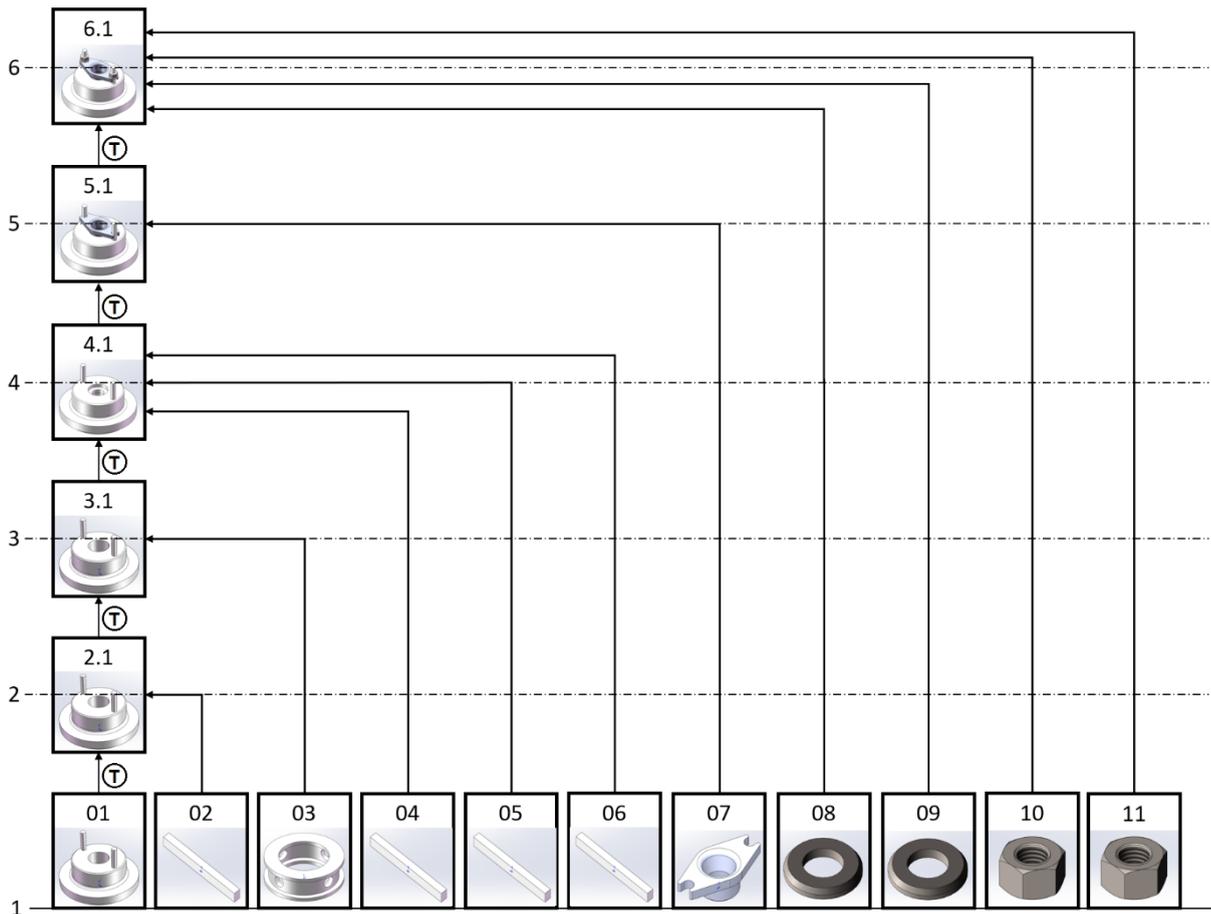


Abb. 19: Montagevorranggraph: Schematische Darstellung des Produktaufbaues und Montageebenen  
(Quelle: eigene Abbildung)

Die Anzahl der Teile und der Montageprozess können anhand des Montagevorranggraph übersichtlich dargestellt werden. Die 1. Montageebene bedeutet die Ebene der Einzelteile.<sup>16</sup> In jeder Montageebene existiert der Gehäusedeckel als Trägerwerkstück, damit man eine Montagestation konstruieren kann, bei der dieser Gehäusedeckel im Montagevorgang fixiert bleibt, während andere Teile nacheinander hinzugefügt werden.

Der ganze Montageablauf erfolgt in 8 Arbeitsgängen (AG):

- AG 1: das Gehäusedeckel zum Fügepunkt bringen, die erste gerade Stopfbuchspackung nehmen, zu einem Kreis biegen und mit Fingern in das Mittelloch des Gehäusedeckels stopfen
- AG 2: Sperrring in Gehäusedeckel stecken
- AG 3: 2. Stopfbuchspackung biegen und in Gehäusedeckel stopfen

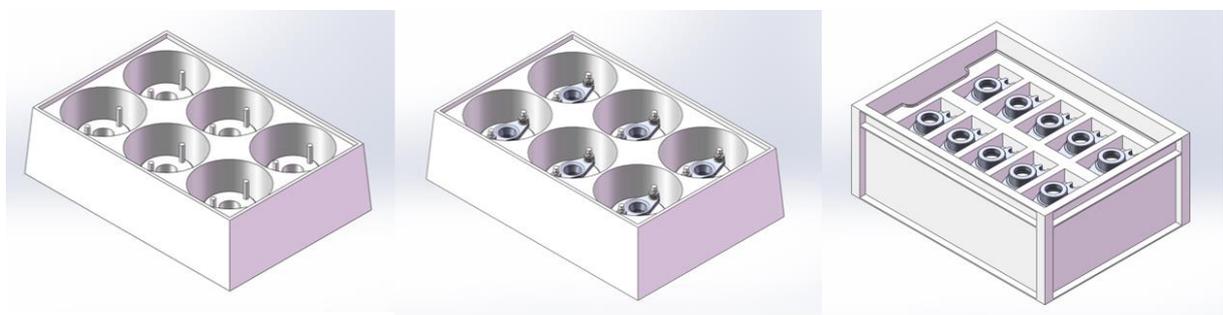
<sup>16</sup> Vgl. Bilger, B., 1992, S. 9

- AG 4: 3. Stopfbuchspackung biegen und in Gehäusedeckel stopfen
- AG 5: 4. Stopfbuchspackung biegen und in Gehäusedeckel stopfen
- AG 6: Stopfbuchsbrille fügen
- AG 7: Sechskantmuttern und Scheiben einschrauben (handfest, keine Vorspannung)
- AG 8: Stopfbuchse aus Montagevorrichtung entnehmen

Es ist beim Stopfen der Stopfbuchspackung zu beachten, dass der Stoß der Stopfbuchspackung um 90 Grad gegenüber der vorherigen Packung versetzt sein sollten, um die beste Dichtungsleistung zu erzielen. Während des gesamten Montageprozesses werden keine Werkzeuge verwendet.

Bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen ist auch das Problem zu berücksichtigen, wie das Bauteil zum Montagetisch transportiert wird. Im Folgenden wird beschrieben, wie die Teile an die Produktionslinie geliefert werden.

Kleinteile (z.B. Sechskantmutter, Scheibe) werden über kleine Sichtlagerkästen zugeführt. Die Stopfbuchsbrille werden auf kleinen Deckeln (in Euro-Behälter) geliefert. Die Anlieferung des Gehäusedeckels erfolgt über das KLT, in der Regel wird das gesamte KLT neben dem Montagetisch platziert und mit einer Hubplatte in der Höhe transportiert. Das montierte Produkt wird in der Regel in einen weiteren KLT gelegt, der befüllt und per Hubwagen oder Förderband aus der Produktionslinie transportiert wird.



a) Behälter des Gehäusedeckels sowie der fertigen Stopfbuchse

b) Behälter der Platten für Stopfbuchsbrillen

Abb. 20: Teilbehälter von Gehäusedeckel, fertigen Stopfbuchsen und Stopfbuchsbrille

(Quelle: eigene Abbildung)

### 3.3 Ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes in Varianten

In dieser Bachelorarbeit wird zunächst der einzelne Montagetisch entworfen, dann der Materialfluss bestimmt und schließlich die Montagestationskonstruktion festgelegt. Dieser vorläufige Entwurf wurde zur Simulation in die Software emaWD importiert, und auf der Grundlage der Simulationsergebnisse wurde eine oder mehrere Optimierung durchgeführt.

Für die Gestaltung individueller Tischkonstruktionen sollten zunächst die Hauptabmessungen des Tisches ergonomisch korrekt sein. Gemäß der im Kapitel 2.2.2 vorgestellten menschlichen Körpergröße und der Bestimmungsmethode der Tischgröße kann die in der folgenden Tabelle ermittelte Tischgröße erhalten werden:

Schwerpunkt	Größe(mm)	Beschreibung
Länge und Breite des Arbeitsplatzes	1600x800	-
Greifweite	378	5. Perzentil der Frauen
Aufbauhöhe	489	5. Perzentil der Frauen
Tischhöhe	1000	-
Höhe des Hockers (verstellbar)	720	5. Perzentil der Frauen ~ 95. Perzentil der Männer
Höhe der Fußplatte (verstellbar)	240-369	5. Perzentil der Frauen ~ 95. Perzentil der Männer

Tab. 1: Tischgrößen des ersten Entwurfs und Beschreibungen

Bei manuellen Montagearbeitsplätzen müssen die folgenden, im Kapitel 2.2.2 erwähnten Hauptpunkte bei der Konstruktion beachtet werden:

- Modularität, Integrierbarkeit, Umrüstbarkeit: Die Arbeitsstation spart Zeit, Mühe und Anschaffungskosten, wenn nachträglich strukturelle Änderungen oder neue Funktionen hinzugefügt werden. Der modulare Aufbau eignet sich auch für die Umrüstung und Integration neuer Funktionen.
- Mobilität: Ausgehend von der Aufgabenbeschreibung und dem Arbeitsprozess ist der entworfene Montagetisch selbst klein und leicht, mit einem hohen Maß an Mobilität.
- Anpassungsfähigkeit: Aufgrund des relativ einfachen Montageprozess ist der Montageplatz einfach aufgebaut. Der Wechsel zwischen verschiedenen Produkten ist möglich, indem man die Art des Rohmaterials ändert.
- Skalierbarkeit: Da die Produktivität menschlicher Arbeitskräfte nur in geringem Maße variiert werden kann, reicht ein einziger Arbeitsplatz möglicherweise nicht aus, um die

Produktionsanforderungen zu erfüllen. Die Produktion kann also durch die Parallelschaltung mehrerer menschlicher Arbeitsstationen gesteigert werden.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Zielbedingungen wird für diesen Beitrag der modulare Aufbau des Aluminiumprofils gewählt, wie er in der Praxis verwendet wird. Das folgende Bild zeigt die Einzelheiten seiner Bestandteile. Der Rahmen der Werkbank besteht aus einem 40x40mm großen Aluminiumprofil, das mit T-Muttern, Innensechskantschrauben und Befestigungswinkel miteinander verbunden wird. Da die T-Mutter vor dem Festziehen axial in der Profilschiene verschoben werden können, eignet sich diese Konstruktion für den Bau von Rahmen jeder Größe und für eine einfache und schnelle nachträgliche Maßeinstellung. In der Praxis wird diese modulare Bauweise von vielen Fabriken gewählt.

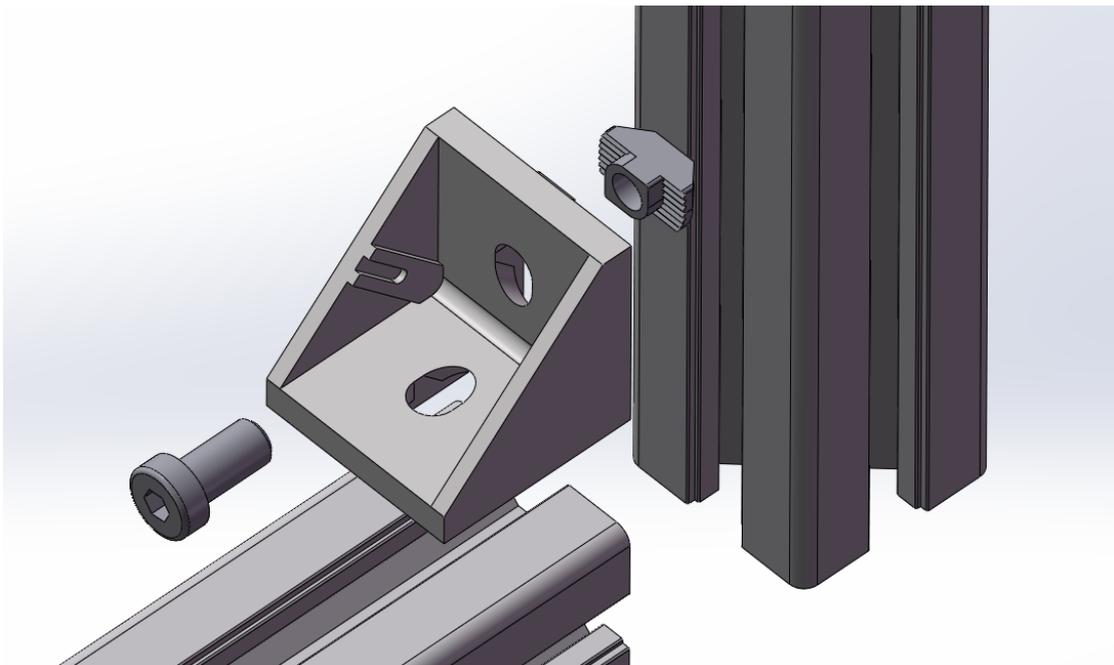


Abb. 21: Anzeige der Verbindungsstruktur

(Quelle: eigene Abbildung)

Die Arbeiter können wählen, ob sie im Stehen oder im Sitzen arbeiten. Wenn ein Mitarbeiter längere Zeit im Sitzen gearbeitet hat, wird durch den Wechsel vom Sitzen ins Stehen der Rücken stark entlastet. Das optimale Verhältnis der beiden Positionen ist: 80 % Sitzen und 20 % Stehen.<sup>17</sup>

Die Anpassung besteht zwei Möglichkeiten, die Höhe der Tischplatte und des Werkstattstuhls

---

<sup>17</sup> Vgl. item Industrietechnik, 2016.

zu ändern (Kombination von Typ 1 und Typ 3 in Abbildung 22) oder die Höhe des Werkstattstuhls und der Fußstütze zu ändern (Kombination von Typ 2 und Type 5 in Abbildung 22). Diese Kombination stellt sicher, dass Arbeiter sowohl im Sitzen als auch im Stehen arbeiten können.

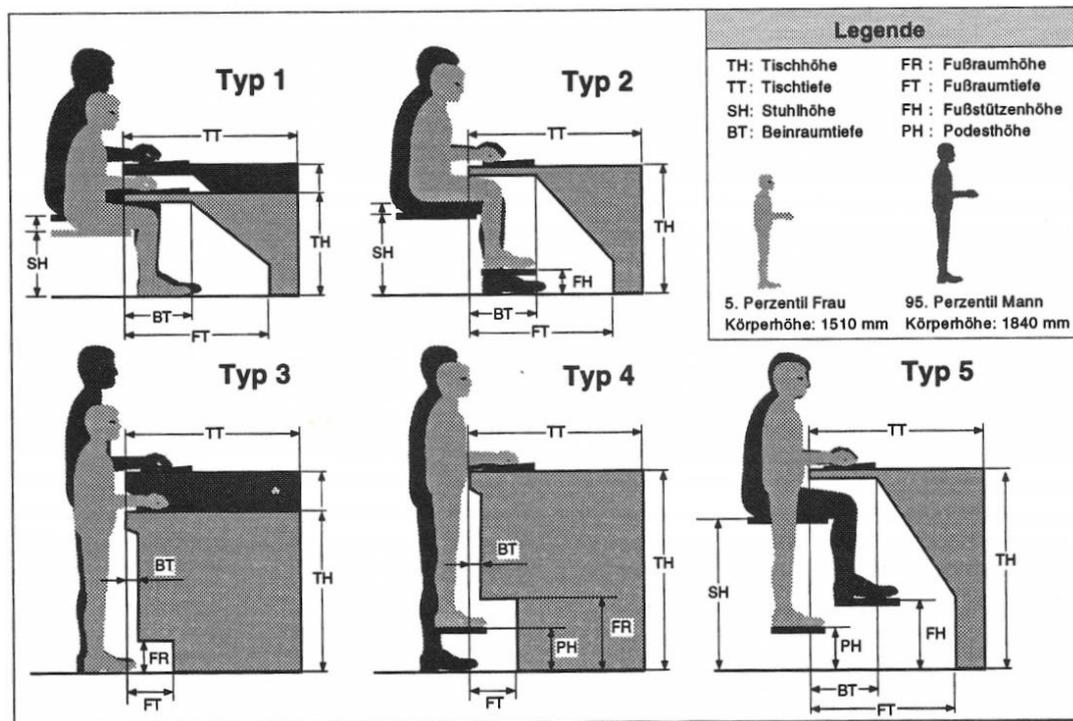


Abb. 22: Grundtypen des Arbeitsplatzes mit variabler Größen  
(Quelle: Bullinger, H. J., 2013, S. 235)

### 3.4 Grundlagen zur Variantenbewertung

#### 3.4.1 Grundkenntnisse über MTM-Methode für zeitliche Bewertung

MTM ist ein Akronym für Methods-Time Measurement, was als Methode zur Analyse von Arbeitsabläufen und zur Bestimmung von Plan- und Zielzeiten verstanden werden kann. Nach der Definition von MTM Association ist Methodenzeit die Dauer, in der eine Aufgabe ausgeführt wird. Die MTM-Methode verwendet die Time Measurement Unit (TMU), um die Bewegungszeit zu messen. TMU stellt eine Zeitlänge über ein Hunderttausendstel einer Stunde dar, die 0,036 Sekunden ausmacht. Eine Grundbewegung besteht aus einer Anzahl von TMU. Gemäß der MTM-Analysemethode kann eine Arbeit in eine Reihe von Grundbewegungen zerlegt werden<sup>18</sup>, und sie werden gemäß der folgenden Abbildung klassifiziert:

<sup>18</sup> Vgl. Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.), 2013, S.64.

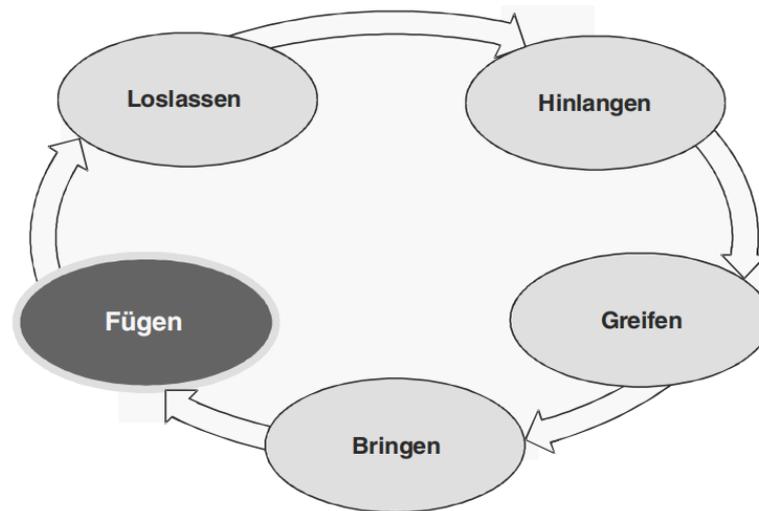


Abb. 23: Grundbewegungsarten nach MTM

(Quelle: Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.), 2013, S.65)

Von den oben genannten fünf Grundbewegungsarten wird nur die Grundbewegung „Fügen“ als Hauptmontageprozess betrachtet. Bei der manuellen Montage sind auch die anderen vier Bewegungen im Montageprozess notwendig, um die Einzelteile erfolgreich zu greifen und zu verbinden. Die Wirtschaftlichkeit dieses Fügeverfahrens hängt daher von der optimalen Auslegung der Grundbewegung ab.<sup>19</sup> Dazu soll der Anteil der Hilfsbewegungen im Montageprozess reduziert werden, also die Zeit für das Hinlangen, Greifen, Bringen und Loslassen von Einzelteilen durch die Arbeiter verkürzt werden.

MTM-Codes können keine geistigen Arbeits- und Prozesszeiten erfassen, wie z. B. Schraubzeiten, Schweißvorgänge usw. Diese Prozesszeiten müssen geschätzt oder gemessen und in die MTM-Berechnungstabelle als PT (Processing Time) eingetragen werden.

In der Praxis wird MTM UAS (Universal Analysis System) vor allem verwendet, weil dieses System bestimmte Grundbewegungen zu zusammengesetzten Bewegungsarten kombiniert. Im Vergleich zu MTM 1 (Basismethode) verkürzt dies die Analysezeit erheblich und die Genauigkeit ist nahezu identisch.<sup>20</sup>

Durch die in der emaWD-Software integrierte MTM-Analysefunktion lässt sich der gesamte Montageprozess einfach nach der MTM-Methode analysieren und visualisieren.

<sup>19</sup> Vgl. Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.), 2013, S.65.

<sup>20</sup> Vgl. LP Montagetechnik GmbH, 2022.

### 3.4.2 Grundkenntnisse über ergonomische Analysemethoden

Bei der Arbeit sind die Arbeitnehmer ständig Kräften und Drehmomenten ausgesetzt. Gesundheitsgefährdungen durch Kräfte treten vor allem bei der Handhabung von Lasten auf.<sup>21</sup> Es ist daher von wesentlicher Bedeutung, die auf die Arbeitnehmer wirkenden Kräfte und Drehmomenten zu analysieren und minimieren.

Die BAUA-Leitmerkalmethode wird für die Analyse des Zusammenhangs zwischen den sich unter Last bewegendenden Arbeitsaufgaben und den mechanischen Belastungen der Wirbelsäule gewählt. Die Leitmerkalmethode ist eine Methode zur Bewertung von Gesundheitsrisiken. Es bewertet die Arbeitsbedingungen von manuell gehandhabten Lasten anhand von vier Merkmalen: Lastgewicht, Dauer, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen. Bei der Anwendung dieser Methode können Piktogramme, Beschreibungen und Rangzahlen zur Beurteilung der manuellen Lastenhandhabung verwendet werden.<sup>22</sup>

EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) ist ein Standardtool zur Durchführung ergonomischer Risikobewertungen basiert auf Leitmerkalmethode. EAWS konzentriert sich eher auf Prozessbewertungen als auf statische ergonomische Analysen. Ursprünglich wurde die EAWS-Familie geschaffen, um Montagearbeit in der Automobilindustrie zu bewerten.<sup>23</sup>

EAWS ist eine qualitative Multimodul-Kombinationsmethode zur Erfassung körperlicher Belastungen. Zu den Modulen gehören separate Module für Körperhaltung, Kraft, manuelle Handhabung sowie Belastung der oberen Extremitäten und ein Modul für „Extrapunkte“, das nicht abgeschlossen werden kann. Darüber hinaus bietet EAWS eine ganzheitliche Bewertung des gesamten Arbeitsprozesses unter Berücksichtigung von Intensität von Risikofaktoren, Dauer und Häufigkeit.

---

<sup>21</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 418.

<sup>22</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 419 ff.

<sup>23</sup> Vgl. Haufe Group, 2022.

Ergonomic Assessment Worksheet v1.3.6																				
Plant	Gender of operator m <input type="checkbox"/> f <input type="checkbox"/>		Body height																	
Line	MTM Analysis			Analyst																
Task / Workplace	Task duration [s]	Observation <input type="checkbox"/>	Date		Planning <input type="checkbox"/>															
<b>Result of overall evaluation:</b> Calculate the total score of whole body and compare it to the UL score. The overall result is determined by the higher value and the appropriate traffic light is checked. Anyway, interpretation should take into account both values.																				
<input type="checkbox"/> Green <input type="checkbox"/> Yellow <input type="checkbox"/> Red	Whole Body	=	Postures	+	Forces	+	Loads	+	Extra	Upper Limbs										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">EAWs evaluation</th> <th>0-25 Points</th> <th>Green</th> <th>Low risk: recommended; no action is needed</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>&gt;25-50 Points</th> <th>Yellow</th> <th>Possible risk: not recommended; redesign if possible, otherwise take other measures to control the risk</th> </tr> <tr> <th>&gt;50 Points</th> <th>Red</th> <th>High risk: to be avoided; action to lower the risk is necessary</th> </tr> </tbody> </table>											EAWs evaluation	0-25 Points	Green	Low risk: recommended; no action is needed	>25-50 Points	Yellow	Possible risk: not recommended; redesign if possible, otherwise take other measures to control the risk	>50 Points	Red	High risk: to be avoided; action to lower the risk is necessary
EAWs evaluation	0-25 Points	Green	Low risk: recommended; no action is needed																	
	>25-50 Points	Yellow	Possible risk: not recommended; redesign if possible, otherwise take other measures to control the risk																	
	>50 Points	Red	High risk: to be avoided; action to lower the risk is necessary																	
<b>Extra points "Whole body" (per minute / shift)</b>										<b>Extra points</b>										
0a	Adverse effects by working on moving objects	0	3	8	15	Intensity														
		none	middle	strong	very strong															
0b	Accessibility (e.g. entering motor or passenger compartment)	0	2	5	10	Status														
		good	complicated	poor	very poor															
0c	Countershocks, impulses, vibrations 	0	1	2	5	Intensity x frequency														
		light	visible	heavy	very heavy															
		0	1	2,5	4	6	8													
		[n]	1 - 2	4 - 5	8 - 10	18 - 20	> 20													
0d	Joint position (especially wrist) 	0	1	3	5	Intensity x duration or frequency														
		neutral	~ 1/3 max	~ 2/3 max	maximal															
		0	2	2,5	4	6	8													
		[s]	3	10	20	40	60													
		[n]	1	8	11	16	20													
		[%]	5	17	33	67	100													
0e	Other physical work load (please describe in detail)	0	5	10	15	Intensity														
		none	middle	strong	very strong															
<b>Extra = <math>\sum</math> lines 0a – 0e</b>		<small>Note: Max. score = 40 (line 0c, 0d); Max. score = 15 (line 0a, 0e); Max. score = 10 (line 0b)</small>		<small>Note: correct the evaluation, if task duration <math>\neq</math> 60 s</small>		=														
<small>Lines 0a-b mainly relate to the Automotive Industry, for other sectors additional elements may be necessary. For details see the EAWS manual.</small>																				

Abb. 24: Bewertungsformular von Ergonomic Assessment Worksheet

(Quelle: MTM ASSOCIATION e. V., 2022)

Neben der Leitmerkmalermethode gibt es mehrere Methoden zur Bewertung der Belastung des Muskel-Skelett-Systems bei der manuellen Lastenhandhabung, wie z. B. das NIOSH-Verfahren. Es wurde vom National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) in den USA entwickelt mit dem Ziel, die maximale Belastung abzuschätzen. Die Höchstlast wird ermittelt, indem die Lastkonstante mit sechs Faktoren multipliziert wird:

- Kopplungsfaktor der Handlast,
- horizontaler Abstand der Wirbelsäulenlast,
- vertikaler Abstand zwischen Hand und Boden,
- vertikaler Hubabstand,
- Asymmetriefaktor zur Berücksichtigung der Körperverdrehung während der Lasthandhabung, sowie
- Frequenz der Lasthandhabung.

Bei dieser Methode werden Tabellen und Formeln verwendet, um die einzelnen Faktoren zu bestimmen. Diese Methode wurde weiterentwickelt, so dass auch das Körpergewicht, das Geschlecht und das Alter des Arbeitnehmers in die Analyse einfließen.<sup>24</sup>

Um die Angemessenheit der Krafterzeugung abzuschätzen, kann die Siemens-Burandt-Methode verwendet werden. Die Methode unterteilt den Analysebereich in ein Hand-Finger-System und ein Hand-Arm-System. Die beiden unterschiedlichen Systeme werden getrennt betrachtet. Die maximale Kraft der Arbeit wird durch eine Liste von Maximalkräften bestimmt, die vom Punkt und der Richtung der Kraftereinwirkung und der grundlegenden Körperhaltung abhängt. Multiplikatoren werden verwendet, um die Kräfte zu schätzen, die für die individuellen Umstände des Arbeitnehmers (z. B. Geschlecht, Alter) und die Arbeitsbedingungen (z. B. Dauer und Art der Arbeit) zulässig sind.<sup>25 26</sup>

Bei der Wahl der Methode sind unterschiedliche Schwerpunkte zu beachten, die zu unterschiedlichen Analyseergebnissen führen. Beispielsweise hat die Siemens-Burandt-Methode eine höhere Bruchlast als die NIOSH-Methode, da die von der NIOSH-Methode berücksichtigte Wirbelsäulentragfähigkeit die maximale Last begrenzt.<sup>27</sup> Bei der Montage von Pumpenkomponenten gibt es nur Probleme mit Muskelschäden, die durch schlechte Körperhaltung und übermäßige Belastung verursacht werden. Die ergonomische Analyse konzentriert sich daher auf die Gestaltung der Tischabmessungen, um den Aufnahmeweg zu verkürzen und Verletzungen durch eine schlechte Körperhaltung zu vermeiden.

Sobald der Montageprozess modelliert ist, kann emaWD automatisch die zeitliche und ergonomische Leistung der Arbeit bewerten.

---

<sup>24</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 419.

<sup>25</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 419.

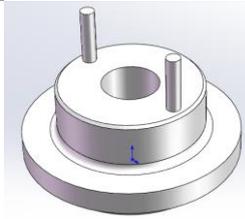
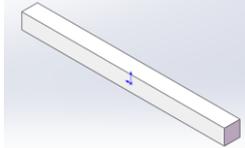
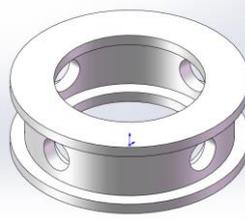
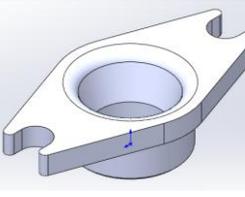
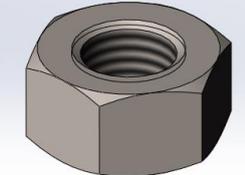
<sup>26</sup> Vgl. Bullinger, H. J., 2013, S.218.

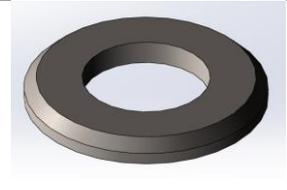
<sup>27</sup> Vgl. Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H., 2018, S. 420.

## 4 Modellierung und Analyse des Montageprozesses mit Software ema Work Designer

### 4.1 Datengrundlagen zur Modellierung

Die zu montierenden Teile können anhand von technischen Zeichnungen modelliert werden. Zu modellierende Komponenten sind Gehäusedeckel, Stopfbuchspackung, Sperring und Stopfbuchsbrille. Sechskantmuttern und Scheiben werden direkt aus der Normteilbibliothek aufgerufen. Die folgende Tabelle zeigt die für eine Pumpenbaugruppe erforderlichen Einzelteile, deren Masse am tatsächlichen Teil gemessen wird:

Nr.	Bauteilname	Anzahl	Masse (g)	Bild
1.	Gehäusedeckel	1	5376,2	
2.	Stopfbuchspackung	4	8,6	
3.	Sperring	1	52,4	
4.	Stopfbuchsbrille	1	243,3	
5.	Sechskantmutter	2	10,4	

6.	Scheibe	2	2,8	
----	---------	---	-----	---

Tab. 2: Anzahl, Masse und 3D-Ansicht der erforderlichen Einzelteile

Am Montagetisch sind Arbeitsplätze für die manuelle Montage angeordnet. Da der erste Entwurf noch nicht ergonomisch optimiert war, wurde der Tisch nur in einer Größe ausgewählt, die für das Arbeiten im Stehen (oder auf einem Hubhocker sitzend) geeignet ist. Basierend auf den Simulationsergebnissen der Montagearbeiten wird eine anschließende Konstruktionsoptimierung durchgeführt.

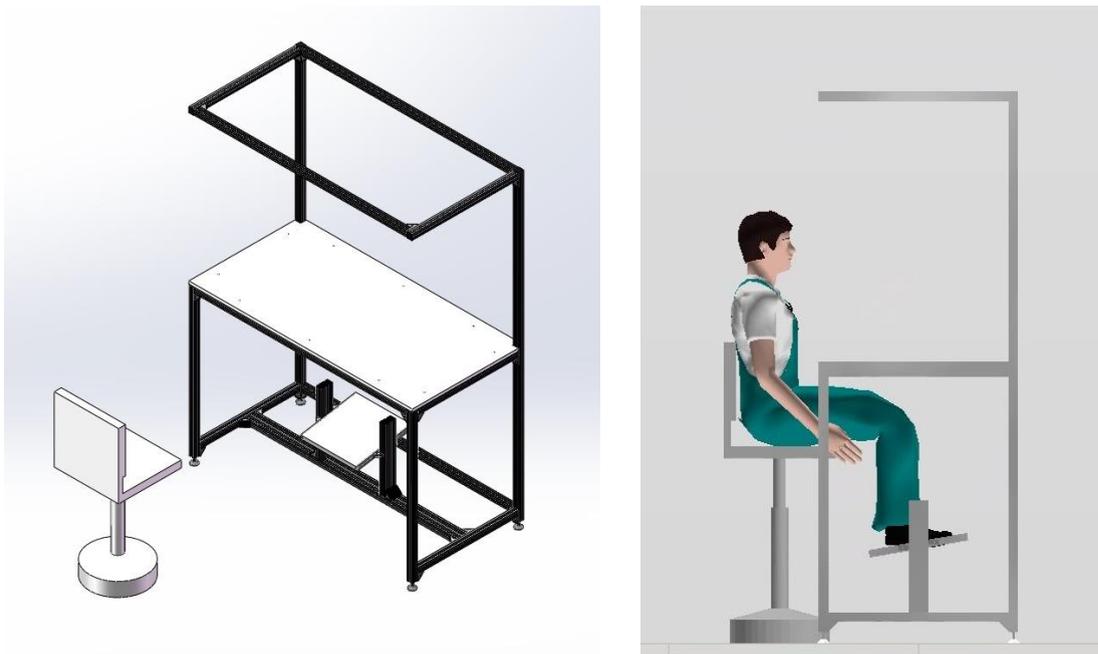


Abb. 25: Erster Entwurf von Arbeitstisch und Kombination mit DMM in emaWD-Umgebung

(Quelle: eigene Abbildung)

## 4.2 Modellierung und Simulation des Montageprozesses

In der Simulationsumgebung von emaWD ist es relativ einfach, die Montagearbeiten zu simulieren. Zuerst wird der Arbeitsplatz eingerichtet. Weil die Objektmodellierung in der emaWD-Software nicht möglich ist, werden 3D-Dateien importiert, die in einer anderen Modellierungssoftware schon modelliert wurden. Für einige gängige Modelle (z. B.: Materialwagen, Stühle, Werkzeuge, Standardteile) steht die integrierte Teilebibliothek von emaWD zur Auswahl.

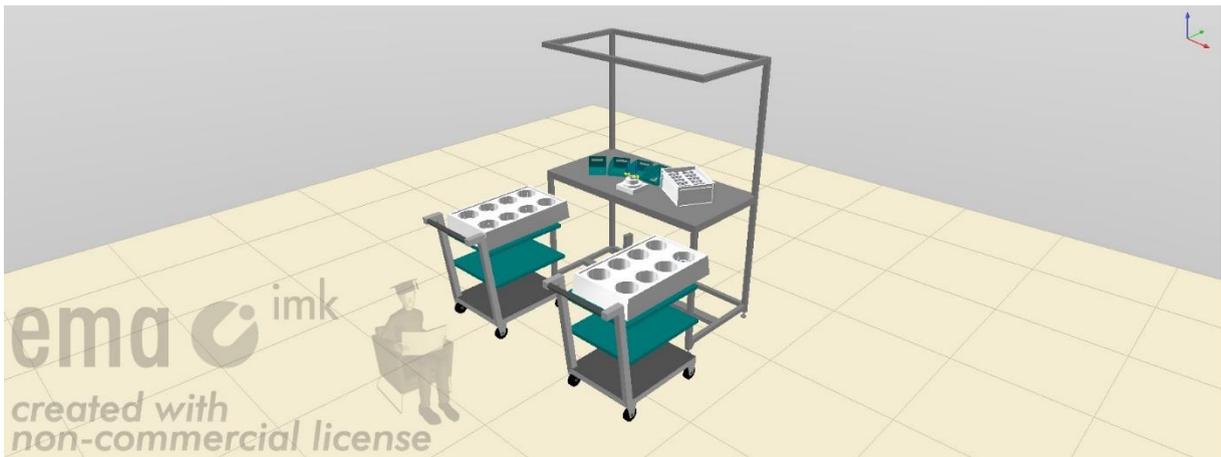


Abb. 26: Simulation der ersten Konstruktion der Montagestation in emaWD-Umgebung  
(Quelle: eigene Abbildung)

Als nächstes folgt das Einsetzen des digitalen Menschmodells. Die Software verfügt über ein eingebautes menschliches Körpermodell. Der Benutzer kann die Parameter des Körpermodells ändern, z. B. Geschlecht, Alter, Nationalität (die sich hauptsächlich auf die Ergebnisse der Anthropometrie auswirken). Auch die Haltung des Menschmodells (sitzend oder stehend) kann beim Einsetzen eingestellt werden.



Abb. 27: Simulation der ersten Konstruktion der Montagestation mit Menschmodell  
(Quelle: eigene Abbildung)

Die Simulation des Montageprozesses gehört zur nächsten Schlüsselarbeit. Der Benutzer kann dem Menschmodell verschiedene Verrichtung geben, um die zu simulierende Arbeit zu erledigen. Indem die zum Zusammenbau einer Pumpenkomponente erforderlichen Bewegungen zerlegt werden, kann der Zusammenbauvorgang aus einer Reihe einzelner grundlegender Aktionen bestehen, z. B. Objekt aufnehmen und platzieren.



Abb. 28: Simulation des Montagearbeitsprozesses

(Quelle: eigene Abbildung)

Die Software bietet eine Aktionsvorschaufunktion. Nachdem eine oder mehrere Aktionen hinzugefügt wurden, können Benutzer auf die Simulieren-Knopf klicken, dann simuliert die Software die vom Benutzer entworfene kinematische Kette und zeigt sie schließlich visuell durch die Animation des 3D-Menschmodell an, damit das Anpassen der Einstellungen und das Korrektur erleichtert wird.

## 4.3 Zeitliche und ergonomische Analyse

### 4.3.1 Zeitliche Analyse

Wie aus dem Kreisdiagramm der Körperhaltung oder -bewegung in Abbildung 29 hervorgeht, bewegt sich der Arbeiter während des gesamten Arbeitsablaufs im Stehen und Laufen und bleibt die meiste Zeit über stehen. Nach dem Diagramm der Wertschöpfung ist der Zeitaufwand für wertschöpfende Tätigkeiten (Fügen) ein sehr geringer Anteil eines Arbeitszyklus. Der Arbeiter verbringt den größten Teil ihrer Zeit mit nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, wie z. B. dem Transport des Gehäuses zum Arbeitsbereich, der Entnahme der Einzelteile aus dem Behälter und deren Transport zum Arbeitsbereich, der Platzierung des fertigen Produkts usw. Diese Maßnahmen sind nicht nur zeitaufwändig, sondern kostet auch viel Mühe. Wie aus dem Lastendiagramm hervorgeht, ist der Arbeiter beim Aufnehmen und Platzieren des Gehäusedeckels und beim Aufnehmen und Platzieren des Produkts einer Belastung von 5,376 kg und 5,733 kg ausgesetzt. Die Bewegung unter derart großen Lasten ist nicht empfehlenswert. Das Aktionskräftediagramm zeigen, dass der Arbeiter während der Montagearbeiten keine Kräfte auf das Objekt ausüben muss.

Abbildung 30 zeigt den zeitlichen Ablauf von jeden Verrichtungen. Dieses Taktzeit-Diagramm wird häufig in der Industrie verwendet.

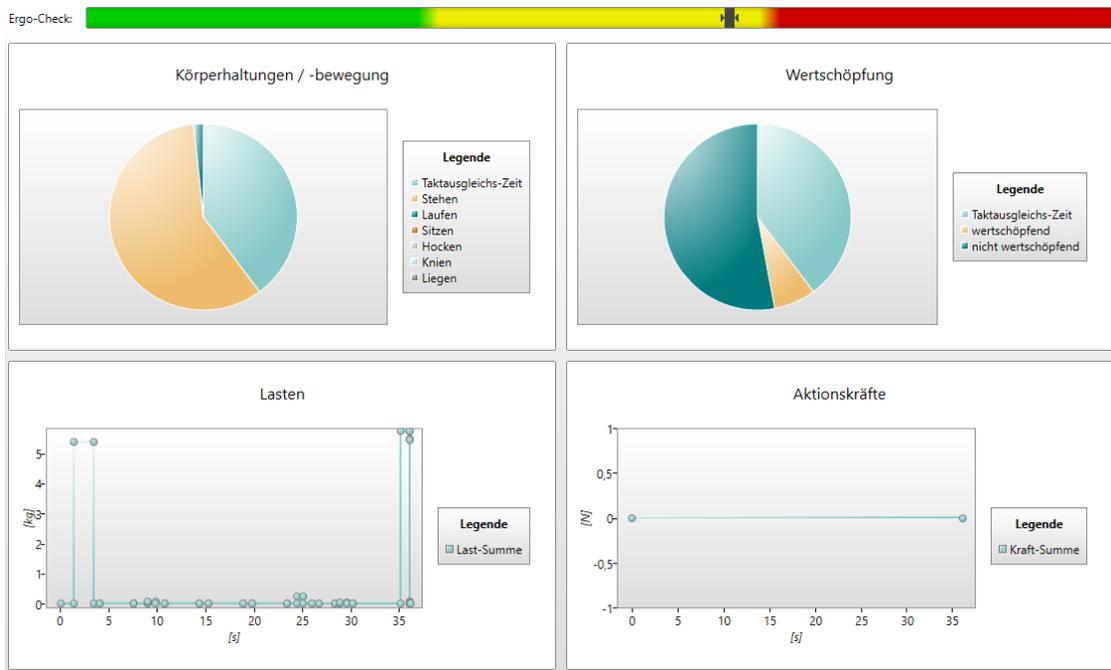


Abb. 29: Zeitliche Ergebnisse des Montageprozesses und Lastfall des DMMs

(Quelle: eigene Abbildung)

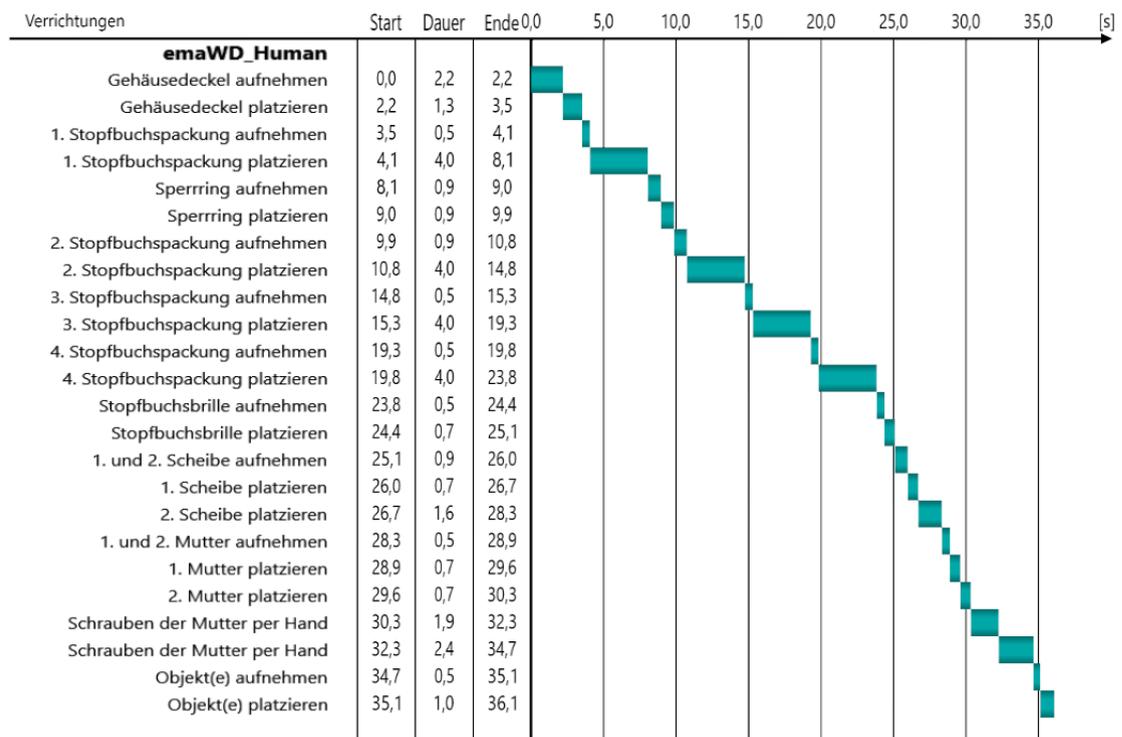


Abb. 30: Taktzeit-Diagramm des Montageprozesses

(Quelle: eigene Abbildung)

Da es schwierig ist, die Arbeit menschlicher Arbeitskräfte zu beschleunigen, wird der Schwerpunkt der Optimierung auf der Verringerung der Zeit liegen, die für nicht wertschöpfende Tätigkeiten aufgewendet wird. Und die Belastung der Arbeitnehmer sollte so gering wie möglich minimiert werden.

### 4.3.2 Ergonomische Analyse

Die Software emaWD enthält EAWS, was ein Standardwerkzeug zur Durchführung ergonomischer Risikobewertungen ist und sich eher auf Prozessbewertungen als auf statische ergonomische Analysen konzentriert. Ursprünglich wurde die EAWS-Familie geschaffen, um Montagearbeit in der Automobilindustrie zu bewerten. Eine halbautomatische ergonomische Bewertung wird erreicht, indem die während der Simulation aufgezeichneten Gelenkwinkel und Körpersegmentpositionen analysiert werden. Die Bedingungen jedes Untermoduls sowie die „Extrapunkte“ können manuell modifiziert werden, um die tatsächliche Situation am besten anzunähern.



#### Gesamtergebnis der EAWS-Analyse

Gesamt Körper	=	Haltung	+	Kräfte	+	manuelle Lastenhandhabung	+	Extra
47.00	=	11.50	+	0.00	+	35.50	+	0.00
EAWS Bewertung	0-25 Punkte	grün	niedriges Risiko - empfehlenswert; Maßnahmen nicht					
	25-50 Punkte	gelb	mögliches Risiko - nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten					
	>50 Punkte	rot	hohes Risiko - vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung t					

Abb. 31: Gesamtergebnis des Montageprozesses mit EAWS-Methode

(Quelle: eigene Abbildung)

Last-Fälle													
#	Dauer [s]	Distanz [m]	Last-Fall	Fall des Zi	Last (links) [kg]	Last (rechts) [kg]	Last (beidhändig) [kg]	Ausführungsbedingungen [Pkt]	Last [Pkt]	Körperhaltung [Pkt]	Anzahl [Pkt]	anteil. Faktor	zusätzliche Informationen
1	2.061	0.10			0.0	0.0	5.4	0.0	1.2	3.5	6.5	1.00	
12	0.945	0.32			0.0	5.7	0.0	0.0	1.5	1.5	6.5	1.00	

Last-Fälle (Zusammenfassung)							
Last-Fall	Anzahl [# / Schicht]	Anzahl [# / Takt]	Intensität (gew. Mittel) [Pkt]	Anzahl [Pkt]	Gesamt [Pkt]	Intensität x Anzahl = Gesamt	
Umsetzen	880.0	2.0	3.9	9.0	35.1	3.9 x 9 = 35.1	

Abb. 32: Auf DMM auswirkender Lastfall des Montageprozesses

(Quelle: eigene Abbildung)

Die EAWS-Analyse ergab ein „gelbes“ Ergebnis, was darauf hinweist, dass das bewertete Risiko auf einem tolerierbaren Niveau liegt und Maßnahmen zur Optimierung des Prozesses ergriffen werden sollen.

## 5 Variantenauswahl und Optimierung

### 5.1 Instrument: Nutzwertanalyse

Um die Varianten umfassend und gezielt zu bewerten, kann man die Nutzwertanalyse-Methode (NWA) anwenden. NWA quantifiziert und sichert alle Aspekte der Entscheidung und macht daraus durch einen Transformationsprozess einen Note, den endlichen Nutzwert. Im Allgemeinen werden die Schritte dieser Methode wie unten beschrieben durchgeführt.

#	Arbeitsschritt
1	Organisation des Arbeitsumfelds und Planung
2	Ziel und Entscheidungsproblem
3	Auswahl der Entscheidungsalternativen
4	Bestimmung der Entscheidungskriterien
5	Gewichtung der Entscheidungskriterien
5a	Gewichtung mithilfe von Kriteriengruppen
5b	Gewichtung mithilfe der Paarvergleichsmethode
6	Skalen und Bewertungsvorschriften
7	Bewertung der Entscheidungskriterien
8	Berechnung des Nutzwerts bzw. Scores
9	Sensitivitätsanalyse
10	Präsentation und Dokumentation des Ergebnisses

Abb. 33: Vorgehen bei der Nutzwertanalyse

(Quelle: Kühnapfel, J. B., 2022, S. 18)

Zuerst müssen praktikable Alternativen identifiziert werden. Basierend auf der Aufgabestellung oder Vorarbeit müssen mögliche Entscheidungsalternativen gefunden werden. Man aggregiert diese Alternativen, um verschiedene Lösungsvarianten zu bilden.<sup>28</sup>

Als nächstes werden die Entscheidungskriterien festgelegt, nach denen diese Varianten bewertet werden können. Jedes Kriterium sollte verschiedene Varianten klar unterscheiden, z. B.: Kosten, strukturelle Komplexität.<sup>29</sup>

Dann gewichtet man alle Kriterien mittels kaskadierter Kategorisierung oder mittels Paar-

---

<sup>28</sup> Vgl. Kühnapfel, J. B., 2022, S. 24 ff.

<sup>29</sup> Vgl. Kühnapfel, J. B., 2022, S. 28 ff.

vergleichsmethode. Die Gewichtung ist auf Basis subjektiver Einschätzung der Bewertenden. Nach paarweiser Vergleichsmethode sind Kriterien in der folgenden Tabelle aufgeführt und ihre Bedeutung wird bestimmt durch:<sup>30</sup>

Nr.	Kriterium	1	2	3	Summe einer Zeile ( $\Sigma$ )	Wichtung (%)
1	1. Kriterium	-	1	2	3	50,0
2	2. Kriterium	1	-	0	1	16,7
3	3. Kriterium	0	2	-	2	33,3
Summe aller Zeile					6	100,0

Tab. 3: Beispiel der Tabelle für den Kriteriumvergleich mit der Paarvergleichsmethode

- 2 = Variante (waagrecht) ist wichtiger als Variante (senkrecht)
- 0 = Variante (waagrecht) ist weniger wichtig als Variante (senkrecht)
- 1 = Variante (waagrecht) ist genauso wichtig wie Variante (senkrecht)
- Die Summe jeder Zeile wird addiert:

*Summe einer Zeile = Summe der Bewertungsnoten in einer Zeile*

- Die Wichtung jedes Kriteriums wird nach folgender Formel berechnet:

$$Wichtung[\%] = \frac{\text{Summe der Zeile}_i}{\text{Summe aller Zeile}} \cdot 100\%$$

Man bewertet schließlich jede Variante für jedes Kriterium (Note von 0 bis 10). Je höher die Note ist, desto besser erfüllt die Variante dieses Kriterium. Die Summe der Punktzahl jeder Variante multipliziert mit der Wichtung des Kriteriums und dann ergibt die Summe der Noten der Variante. Die Variante mit der höchsten Summe ist die beste Lösung. (Variante 1 ist in diesem Beispiel die beste.)

Nr.	Kriterium	Wichtung (%)	V1	V2	V3
1	1. Kriterium	100	8	4	6
2	2. Kriterium	33	6	8	4
3	3. Kriterium	66	4	6	6
Summe der Noten		-	12,6	10,6	11,3

<sup>30</sup> Vgl. Sonntag, A., Schlink, B., 2015, S. 1 ff.

Tab. 4: Beispiel der Tabelle für den Variantenvergleich mit der Nutzwertanalyse

$$\text{Summe der Noten} = \sum_{i=n}^i (\text{Kriterium}_i \cdot \text{Wichtung}_i)$$

## 5.2 Zeitliche und ergonomische Optimierung

Um unnötige Arbeitszeiten zu reduzieren, kann die Position der Einzelteile verändert werden, so dass sie leichter und schneller aufgenommen werden können und die Montageposition schneller erreicht werden kann.

Zur Vermeidung langer Entnahmeabstände können die Kleinteilbehälter oder kleine Sichtlagerkästen in der unten gezeigten Weise innerhalb des Greifraum und Höhe des Arbeiters übereinandergelegt werden. Diese Art hat jedoch den Nachteil, dass der für den Materialfluss zuständige Arbeiter beim Behälterwechsel an die Vorderseite des Tisches treten muss, wodurch die mit dem Teil verbundene Montagearbeit während des Wechsels unterbrochen wird. Deshalb erhöht sich die wertschöpfungsfreie Zeit.



Abb. 34: Anordnung der kleinen Sichtlagerkästen durch Stapeln  
(Quelle: Patrol, 2022)

Damit der Produktionsprozess nicht durch einen Wechsel unterbrochen wird, kann die Art der Befestigung des Behälters verändert werden. Die Konstruktion einer Schrägbahn für die Behälter ermöglicht den Ersatz des Behälters von der Rückseite der Werkbank aus. Die leeren Behälter werden von dem für die Montage zuständigen Mitarbeiter auf das Rückgabegleis gelegt.

Um die Entnahmezeiten zu verkürzen, kann das gleiche Teil, das mehrmals entnommen

werden muss, in den Behälter gelegt werden, der dem Arbeiter am nächsten ist. Die nur einmal entnommene oder selten verwendete Teile können in einen etwas weiter entfernten Behälter gelegt werden.

Die ergonomische Optimierung erfolgte vor allem durch die Neugestaltung von Größe und Struktur der Tisch- und Stützeinrichtungen. Die Ergebnisse der emaWD-Ergonomieanalyse zeigen, dass bei der Montage der Pumpe das Umdrehen zum Aufnehmen des Gehäuses und Ablegen des fertigen Produkts die ergonomische Beurteilung beeinträchtigt. Daher wird die Tischlänge reduziert, so dass der Arbeiter das Gehäuse leicht erreichen kann, ohne sich umzudrehen. Schwere Teile (z. B. Gehäusedeckel, fertige Produkte) sollten so nah wie möglich am Haupt-arbeitsbereich platziert werden, um Muskelverletzungen des Arbeiters zu vermeiden. Beim Aufnehmen schwerer Gegenstände innerhalb des Zweihand-Arbeitsbereichs sollten Arbeiter beide Hände zum Aufnehmen von Teilen verwenden, damit die Belastung auf jedem Arm reduziert wird. Arbeiter sollten beim Aufnehmen von Teilen ihren Oberkörper gerade halten, um die Belastung an der Taille und Hüfte zu verringern.

### **5.2.1 Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl für kleine Bauteile**

Die Materialversorgung (Materialfluss) in der industriellen Produktion ist ebenfalls eine wichtige Disziplin. In dieser Abschlussarbeit werden die in realen Fabriken basierenden Materialversorgungsmethoden gewählt. Für die Gestaltung der Kleinteileversorgung (z.B. Scheiben, Muttern, Sperringe) und der Großteileversorgung (z.B. Gehäusedeckel) gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Es gibt zwei Varianten, Kleinteilbehälter zu platzieren: Die erste Möglichkeit (1. Variante) ist, die Sichtlagerkästen an die Schlitzplatte des Montagetisches zu hängen. Diese geschlitzte Platte wird am Rand der Tischplatte des Montagetisches befestigt und die darauf montierte Behälter kann an einem beliebigen Punkt innerhalb der Ebene der Platte frei aufgehängt werden. Da die Platte jedoch fest am Montagetisch ausgestattet, kann sie nicht flexibel bewegt werden. Die Sichtlagerkästen werden ohne Neigungswinkel aufgehängt, so dass die Sichtlinie des Arbeiters über die Öffnung der Sichtlagerkästen liegen muss, um die Teile in der Käste sehen und aufnehmen zu können. Der für den Materialfluss verantwortliche Arbeiter muss zum Wechseln der Behälter an die Vorderseite des Montagetisches kommen und die Montagearbeiten während des Wechsels unterbrechen.



Abb. 35: An die Schlitzplatte hängte Sichtlagerkästen bei 1. Variante  
(Quelle: ant-Transportgeräte GmbH & Co. KG, 2022)

Bei der zweiten Option (2. Variante) werden die Sichtlagerkästen über eine Rutsche in Greifweite des Arbeiters transportiert. Eine einzige Rutsche kann mehrere Kassetten aufnehmen. Wenn ein Bauteil aufgebraucht ist, kann der Arbeiter den leeren Behälter zur Recyclingbahn bringen und die volle Kiste hinter der leeren wird automatisch eingeschoben. Der Mitarbeiter, der die Bauteile nachfüllt, kann außerdem auf einen Blick sehen, wie viel von jedem Material verbraucht wird, und der Nachfüllvorgang stört die Montagestation nicht.



Abb. 36: Arbeitsszenario eines Montagetisches mit Rutsche bei 2. Variante  
(Quelle: item Industrietechnik, 2016)

Um die optimale Lösung auszuwählen, wird hier die Methode des paarweisen Vergleichs zur Analyse verwendet. Für die Materialversorgung lassen sich die folgenden Kriterien auflisten:

Nr.	Kriterien	Bedeutung
1	Kapazität	maximale Menge an Behältern
2	Gewicht	Gesamtmasse der Anlage
3	Ergonomie	ergonomische Gestaltung des Layouts
4	schnell ersetzbar	schneller Austausch von leeren Behältern
5	Lebensdauer	lange Lebensdauer, nicht leicht zu beschädigen
6	Kosten	geringe Anschaffungskosten

Tab. 5: Kriteriendarstellung für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der kleinen Bauteile

Mit der paarweisen Vergleichsmethode kann man die Wichtung jedes Kriteriums berechnen. Hier wird das Berechnensprozess die Gewichtung von Kapazität als Beispiel genommen.

Zunächst vergleicht man die „Kapazität“ mit jedem der anderen Merkmale anhand der paarweisen Vergleichsmethode. Zum Beispiel ist „Kapazität“ wichtiger als „Gewicht der Vorrichtung“, also füllt man in der erste Zeile und der zweiten Spalte des Bewertungsbereichs mit 2 und 0 in der zweiten Zeile der ersten Spalte aus. Die Summe für diese Zeile kann berechnet werden, sobald diese Zeile gefüllt ist:

*Summe einer Zeile = Summe der Bewertungsnoten in einer Zeile*

$$\text{Summe der 1. Zeile} = 2 + 0 + 1 + 0 + 1 = 4$$

$$\text{Summe aller Zeile} = 4 + 1 + 9 + 7 + 4 + 5 = 30$$

$$\text{Wichtung der 1. Kriterium}[\%] = \frac{\text{Summe der Zeile}_1}{\text{Summe aller Zeile}} \cdot 100\% = \frac{4}{30} \cdot 100\% = 13,3\%$$

Nr.	Kriterien	1	2	3	4	5	6	Summe	Wichtung(%)	
1	Kapazität	-	2	0	1	0	1	4	13,3	
2	Gewicht der Vorrichtung	0	-	0	0	1	0	1	3,3	
3	Ergonomie	2	2	-	1	2	2	9	30,0	
4	schnell ersetzbar	1	2	1	-	1	2	7	23,4	
5	Lebensdauer	2	1	0	1	-	0	4	13,3	
6	Kosten	1	2	0	0	2	-	5	16,7	
								Summe	30	100

Tab. 6: Kriterienvergleich und -gewichtung für kleine Bauteile

Variante 1 (An die Schlitzplatte hängte Sichtlagerkasten) und Variante 2 (Gleitende Sichtlagerkasten auf einer Rutsche) werden miteinander verglichen und ihre jeweiligen Bewertungen zu erhalten. Die Ergebnisse sind wie folgt:

$$\text{Noten von V1} = (7 \times 3,3\% + 7 \times 3,3\% + 7 \times 30\% + 5 \times 23,4\% + 7 \times 13,3\% + 7 \times 16,7\%)$$

$$\text{Noten von V1} = 8,63$$

Nr.	Kriterien	Wichtung(%)	V1	V2
1	Kapazität	13,3	7	5
2	Gewicht der Vorrichtung	3,3	7	5
3	Ergonomie	30,0	7	9
4	schnell ersetzbar	23,4	5	9
5	Lebensdauer	13,3	7	9
6	Kosten	16,7	7	5
		Summe	8,63	9,17

Tab. 7: Variantenvergleich für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der kleinen Bauteile

Aus den jeweiligen Gesamtnote der beiden Varianten ist die Kleinteileversorgung mit Rutsche die beste Lösung.

### 5.2.2 Anpassungsweise der Montagetischgröße

Die erste Wahl der Designrichtung entstand bei der Grundtypen des Arbeitsplatzes, wie sich die Montagetisch an unterschiedliche menschliche Körpergrößen anpassen würde. Wenn die Tischhöhe an die Größe des Arbeiters angepasst wird, sollte bei der sitzenden Arbeit auch die Stuhlhöhe angepasst werden. Wenn die Höhe des Stuhls zu hoch ist, haben die Füße des Arbeiters keinen Kontakt zum Boden, daher muss der Werkstattstuhl mit einer Fußstütze ausgestattet werden.



Abb. 37: Höhenverstellbarer Montagetisch und Stuhl mit Fußstütze

(Quelle: PETec GmbH, 2022 und Manutan GmbH, 2022)

Bei konstanter Tischhöhe kann nur die Stuhlhöhe verändert werden. Die Fußstützplatte ist so in den Tisch integriert, dass die Füße des Arbeiters gestützt werden und mehr der natürlichen Sitzhaltung des menschlichen Körpers entsprechen.



Abb. 38: Höhenkonstanter Montagetisch mit höhenverstellbarer Fußstütze und Stuhl  
(Quelle: ALUTEC KK, 2022 und D’Romerio, 2022)

Für die Anpassungsweise gibt es folgende wichtige Punkte (Kriterien):

Nr.	Kriterien	Bedeutung
1	schnell einstellbar	Anpassungen können schnell vorgenommen werden.
2	einfache Struktur	einfachen Aufbau des Einstellmechanismus
3	Lebensdauer	lange Lebensdauer, nicht leicht zu beschädigen
4	Kosten	geringe Anschaffungskosten
5	schnell zur Stelle	Arbeiter kann die Arbeitsposition schnell erreichen.

Tab. 8: Kriteriendarstellung für Anpassungsweise der Montagetischgröße

Mit der paarweisen Vergleichsmethode kann man die Wichtung jedes Kriteriums berechnen:

Nr.	Kriterien	1	2	3	4	5	Summe	Wichtung(%)	
1	schnell einstellbar	-	2	1	1	2	6	30	
2	einfache Struktur	0	-	1	0	2	3	15	
3	Lebensdauer	1	1	-	2	2	6	30	
4	Kosten	1	2	0	-	2	5	25	
5	schnell zur Stelle	0	0	0	0	-	0	0	
							Summe	20	100

Tab. 9: Kriterienvergleich und -gewichtung für Anpassungsweise der Montagetischgröße

Beide Varianten wurden dann auf Übereinstimmung mit diesen Kriterien bewertet. Variante 1 ist den höhenverstellbarer Montagetisch und Stuhl mit Fußstütze. Variante 2 ist höhenkonstanter Montagetisch mit höhenverstellbarer Fußstütze und Stuhl.

Nr.	Kriterien	Wichtung(%)	V1	V2
1	schnell einstellbar	30	5	7
2	einfache Struktur	15	9	5
3	Lebensdauer	30	9	7
4	Kosten	25	9	5
5	schnell zur Stelle	0	7	9
		Summe	7,8	6,2

Tab. 10: Variantenvergleich für Anpassungsweise der Montagetischgröße

Aus den jeweiligen Gesamtnote der beiden Varianten ist ein höhenkonstanter Montagetisch mit höhenverstellbare Fußstütze und Stuhl die beste Lösung.

### 5.2.3 Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl für große Bauteile

Die Versorgung mit großen Bauteilen (z. B. Gehäusedeckel und fertige Stopfbuchse) sollte vor allem ergonomisch sein, weil das hohe Gewicht der Bauteile und die langen Greifwege zu Muskelermüdung sowie -schäden führen können. Der Behälter für große Teile (KLT-Behälter) muss daher so nah wie möglich an der Reichweite des Arbeiters platziert werden, und es sollten keine Hindernisse im Greifweg vorhanden sein. Die folgenden drei Varianten sind verfügbar.

Die erste Variante besteht darin, ein Loch in die Tischplatte des Arbeitstisches zu schneiden und große Teilebehälter hineinzustellen. Dies ermöglicht kürzeste Zugriffswege und unterbricht den Montageprozess beim Nachfüllen des Materials (roter Pfeil im Bild) nicht. Wenn der Behälter leer ist, nimmt der Arbeiter ihn heraus (blauer Pfeil im Bild). Weil der Schalenbehälter und der fertige Behälter gemeinsam verwendet werden können, werden die

leere Behälter verwendet, fertige Produkte zu laden.

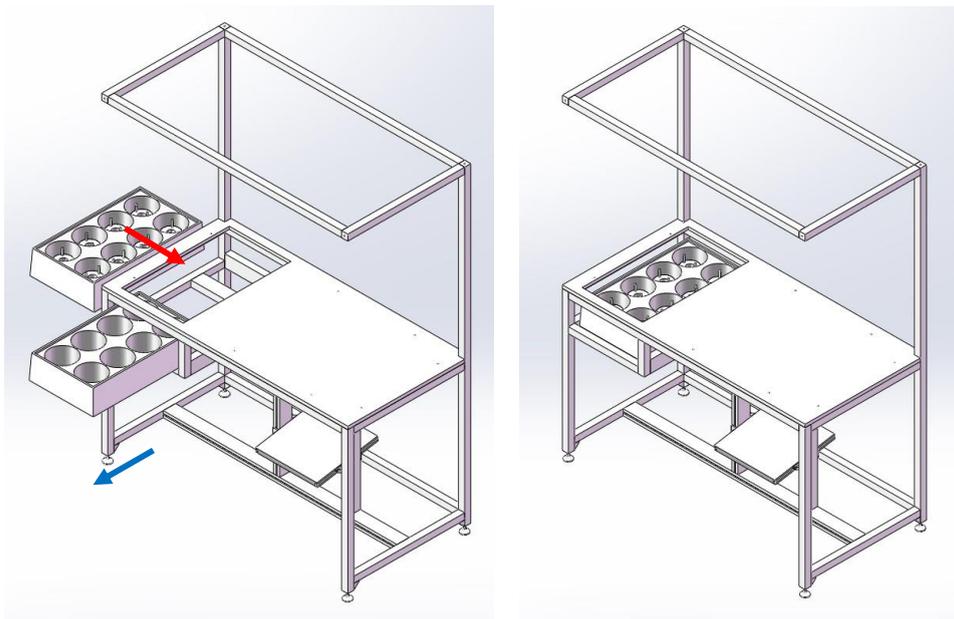


Abb. 39: Simulation der 1. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang  
(Quelle: eigene Abbildung)

Dies hat zur Folge, dass die Tischstruktur komplexer wird, die Flexibilität des Tisches abnimmt und die Kapazität der Behälter in dieser Konfiguration verringert wird, was ein häufiges Nachfüllen durch die für den Materialfluss zuständigen Mitarbeiter erfordert.

Bei der zweiten Variante wird der Großteilebehälter vom Tisch getrennt. Neben dem Tisch befindet sich ein separates Materialregal. Eine Kippplatte auf dem Materialregal nimmt viele KLTs auf, eine Hebeplatte ähnlich einem Vertikallift entnimmt die Behälter von der Kippplatte (blauer Pfeil mit Nummer 1) und transportiert sie zur obersten Kippplatte (blauer Pfeil mit Nummer 2), ein Bewegungsmechanismus schiebt die Behälter schließlich in die Aufnahme-position des Gehäusedeckels (blauer Pfeil in Nummer 3). Dort kann der Arbeiter die Teile mühelos abholen. Der Mitarbeiter, der für den Materialfluss zuständig ist, füllt den Behälter mit die vollen Behältern von der Rückseite der Anlage auf (roter Pfeil).

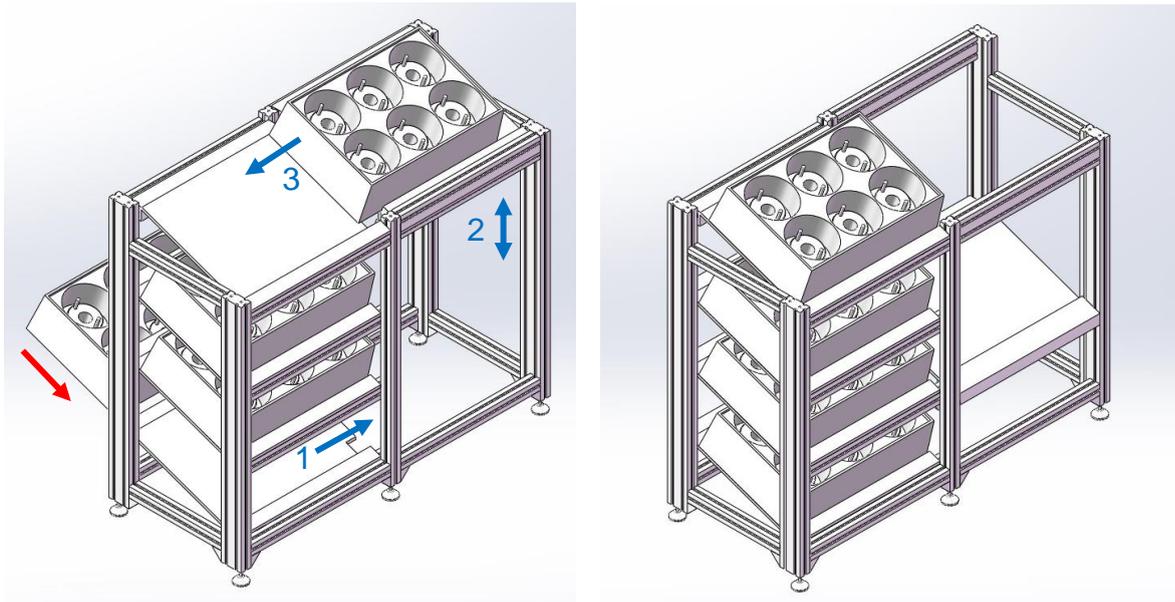


Abb. 40: Simulation der 2. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang  
(Quelle: eigene Abbildung)

Die Vorteile dieser Lösung ist die größere Kapazität der Großteilebehälter. Die Struktur der Kippplatte erleichtert, dass der Arbeiter den Gehäusedeckel einfacher nimmt und den leeren Behälter herausnimmt. Der komplexe Aufbau dieses Materialregals und die Notwendigkeit einer separaten Konstruktion für die Bewegungslösung der Hebeplatte führen jedoch zu hohen Anschaffungskosten.

Die dritte Variante basiert auf der zweiten Variante und ist eine optimierte Version der zweiten Variante. Ein neben einem Tisch aufgestelltes Materialregal enthält einen Hubwagen oder eine Hubplatte. Der Arbeiter steuert den Hubwagen per Handtaster oder Funk-Fernsteuerung, um den Großteilebehälter auf die richtige Höhe für die Aufnahme der Teile anzuheben (blauer Pfeil). Der Arbeiter, der für das Nachfüllen des Materials zuständig ist, füllt alle Behälter (die Anzahl der Behälter richtet sich nach der Tragfähigkeit der Hubplatte) auf einmal in die Hubplatte ein (roter Pfeil).

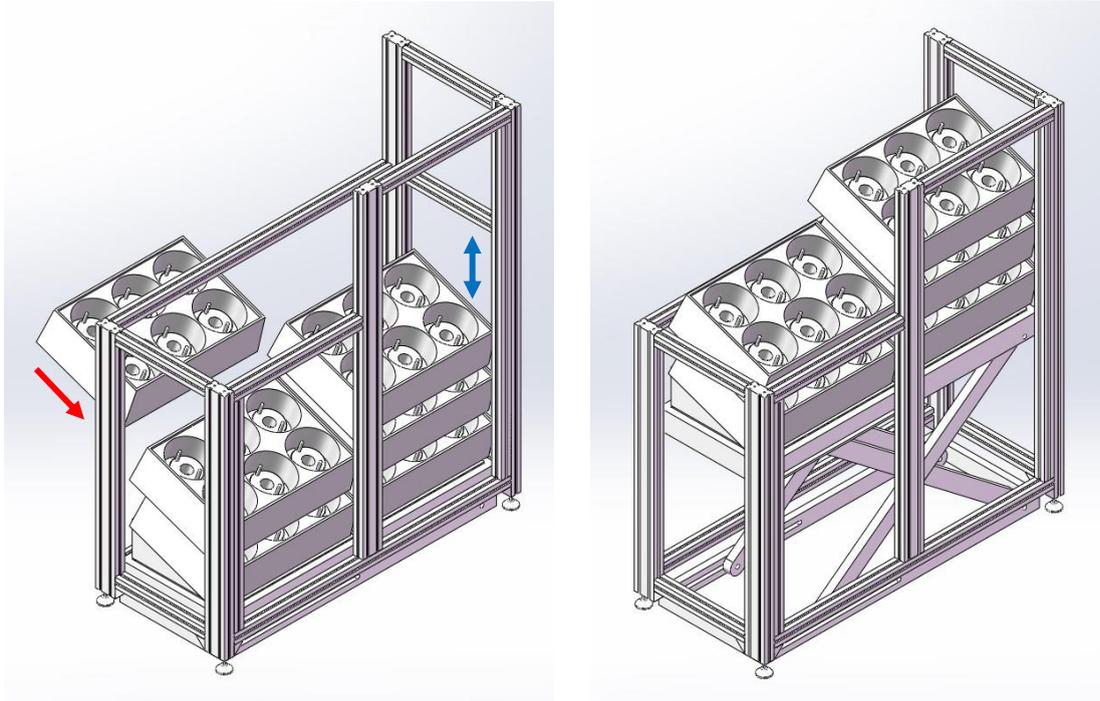


Abb. 41: Simulation der 3. Variante bei der Materialversorgung und dem Montagevorgang  
(Quelle: eigene Abbildung)

Diese Lösung ermöglicht eine höhere Kapazität, eine weitere Kostensenkung und eine größere Modularität. Der Nachteil ist, dass die Anzahl der aufgestellten Behälter durch die maximale Tragfähigkeit des Hubtisches begrenzt ist.

Für die Lieferung und Versorgung von KLT sind folgende Kriterien aufgelistet:

Nr.	Kriterien	Bedeutung
1	geinge Abholwege	ergonomische Konstruktion
2	einfaches Greifen	ergonomisches, einfaches Greifen des Gehäusedeckels
3	schnelle Behälterwechsel	zeitsparend bei der Produktion
4	einfache Materialversorgung	einfaches Nachfüllen von vollen Behältern
5	Kosten	geringe Anschaffungskosten
6	Kapazität	maximale Menge an Behältern
7	Lebensdauer	lange Lebensdauer, nicht leicht zu beschädigen

Tab. 11: Kriteriendarstellung für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der großen Bauteile

Mit der paarweisen Vergleichsmethode kann man die Wichtung jedes Kriteriums berechnen:

Nr.	Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	Summe	Wichtung(%)
1	geinge Abholwege	-	1	2	2	2	1	1	9	21,4
2	einfaches Greifen	1	-	1	2	2	1	1	8	19,0
3	schnelle Behälterwechsel	0	1	-	1	2	1	1	6	14,3
4	einfache Materialversorgung	0	0	1	-	1	0	1	3	7,2
5	Kosten	0	0	0	1	-	0	1	2	4,8
6	Kapazität	1	1	1	2	2	-	1	8	19,0
7	Lebensdauer	1	1	1	1	1	1	-	6	14,3
Summe									42	100

Tab. 12: Kriterienvergleich und -gewichtung für große Bauteile

Variante 1 (Montagetisch mit Behälterintegration), Variante 2 (Separates Behälterregal mit Hebeplatte) und Variante 3 (Separates Behälterregal mit integrierter Hubplatte) werden miteinander verglichen und ihre jeweiligen Bewertungen zu erhalten. Die Ergebnisse sind wie folgt:

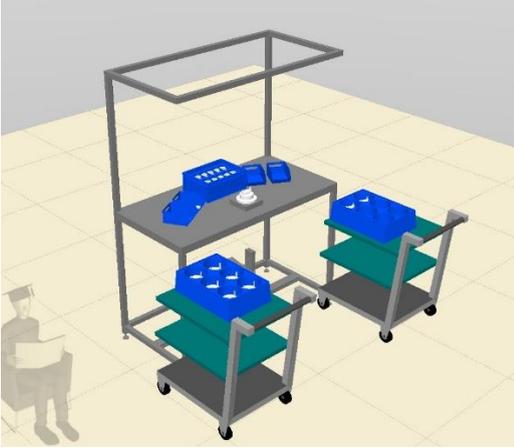
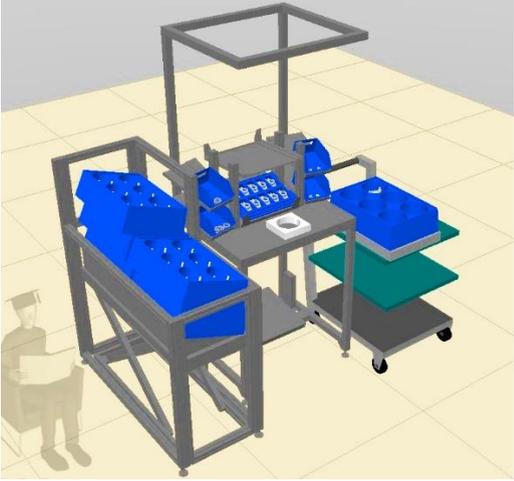
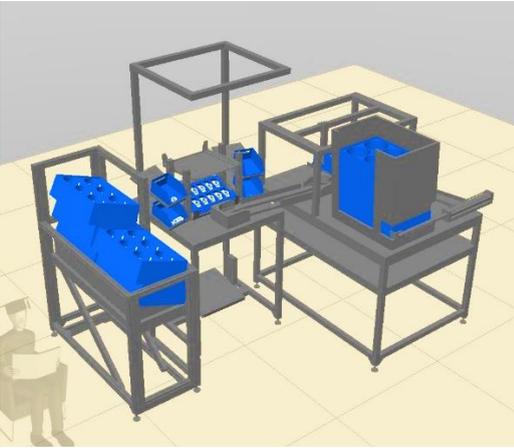
Nr.	Kriterien	Wichtung(%)	V1	V2	V3
1	geinge Abholwege	21,4	9	7	7
2	einfaches Greifen	19,0	7	9	9
3	schnelle Behälterwechsel	14,3	3	7	9
4	einfache Materialversorgung	7,2	5	7	9
5	Kosten	4,8	9	5	7
6	Kapazität	19,0	3	7	9
7	Lebensdauer	14,3	9	5	7
Summe			6,33	7,00	8,19

Tab. 13: Variantenvergleich für Teileversorgungsmethode und Behälterauswahl der großen Bauteile

Aus den jeweiligen Gesamtnote dieser drei Varianten ist ein separates Behälterregal mit integrierter Hubplatte die optimale Lösung.

#### 5.2.4 Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation

Die Gesamtstruktur des endgültigen Arbeitsplatzes wurde ausgewählt. Für die Gesamtstruktur des Arbeitsplatzes gibt es drei Varianten. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich in der nachstehenden Tabelle:

Variantenname	Bild	Beschreibung
<p>Variante 1: „2 mal Materialwagen“</p>		<p>Die Arbeitsstation besteht aus einem Montagetisch und zwei Materialwagen. Die Stoffkästen auf dem Montagetisch sind in einziger Schicht um den Hauptarbeitsbereich herum angeordnet.</p>
<p>Variante 2: „Hubtisch und Materialwagen“</p>		<p>Der Arbeitsplatz besteht aus einem Montagetisch, einem Materialregal mit integriertem Hubtisch und einem Materialwagen zur Aufnahme der fertigen Produkte. Die Stoffkästen auf dem Arbeitstisch sind in einer doppelten Schicht um den Hauptarbeitsbereich herum angeordnet.</p>
<p>Variante 3: „Hubtisch und Plazierungs- automat“</p>		<p>Der Arbeitsplatz besteht aus einem Montagetisch, einem Materialbereitstellungsregal mit integriertem Hubtisch und einem Plazierungsautomat mit integriertem TTT-Roboter. Die Stoffkästen auf dem Tisch sind in einer doppelten Schicht um den Hauptarbeitsbereich herum angeordnet.</p>

Tab. 14: 3 mögliche Varianten der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation

Für die Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation sind folgende Kriterien aufgelistet:

Nr.	Kriterien	Bedeutung
1	ergonomisch	ergonomische Konstruktion
2	Produktivität	hohen Produktivität erzielen
3	Automatisierungsgrad	hohe Automatisierung, Arbeitserleichterung
4	Platzbedarf	kleiner Platzbedarf
5	Kosten	geringe Anschaffungskosten

Tab. 15: Kriteriendarstellung für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation

Mit der paarweisen Vergleichsmethode kann man die Wichtung jedes Kriteriums berechnen:

Nr.	Kriterien	1	2	3	4	5	Summe	Wichtung(%)
1	ergonomisch	-	1	2	2	2	7	38,9
2	Produktivität	1	-	1	2	2	6	33,3
3	Automatisierungsgrad	0	1	-	1	0	2	11,1
4	Platzbedarf	0	0	1	-	0	1	5,6
5	Kosten	0	0	0	2	-	2	11,1
Summe							18	100

Tab. 16: Kriterienvergleich und -gewichtung für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation

Variante 1 („2 mal Materialwagen“), Variante 2 („Hubtisch und Materialwagen“) und Variante 3 („Hubtisch und Plazierungsautomat“) werden miteinander verglichen und ihre jeweiligen Bewertungen zu erhalten. Die Ergebnisse sind wie folgt:

Nr.	Kriterien	Wichtung(%)	V1	V2	V3
1	ergonomisch	38,9	3	5	7
2	Produktivität	33,3	3	6	7
3	Automatisierungsgrad	11,1	0	3	7
4	Platzbedarf	5,6	7	6	3
5	Kosten	11,1	9	7	3
Summe			3,56	5,39	6,33

Tab. 17: Variantenvergleich für den Auswahl der Gesamtkonstruktion der Arbeitsstation

Von den drei Varianten hat der erste Entwurf die einfachste Struktur und damit die geringsten Kosten und benötigt kleinsten Platzbedarf, ist aber weniger automatisiert. Die Arbeiter führen alle Arbeiten manuell aus und sind während der Produktion einer doppelten Belastung ausgesetzt, was zu schlechter Ergonomie und geringer Produktivität führt. Der zweite Montageplatz weist einen gewissen Automatisierungsgrad auf, aber die Einführung von Ausrüstung erhöht die Kosten und den Platzbedarf. Der Hubtisch erleichtert jedoch den Zugriff auf den Gehäusedeckel und verringert die Greifwege, was die Ergonomie und den Durchsatz im Vergleich zur ersten Konstruktion verbessert. Der dritte Entwurf hat den höchsten

Automatisierungsgrad, die höchsten Anschaffungskosten und den größten Platzbedarf. Die Einführung eines Platzierungsmechanismus auf der Grundlage des zweiten Entwurfs führt zu einem geringeren Arbeitsaufwand und effizienteren Arbeitsplätzen. Aus den jeweiligen Gesamtnote dieser drei Varianten ist die Konstruktion mit Hubtisch und Platzierungsautomat die optimale Lösung.

### 5.3 Zeitliche und ergonomische Analyse der optimierten Ergebnisse

Unter Verwendung der mit der Nutzwertanalyse ausgewählten Ergebnisse wurde die Montagearbeit an diesem optimalen Montagearbeitsplatz in der Umgebung der emaWD simuliert. Die ergonomische und zeitliche Analyse der Simulationsergebnisse wird im Folgenden dargestellt.

#### 5.3.1 Zeitliche Analyse der optimierten Ergebnisse

Die Software erstellt die folgenden Analyseergebnisse auf der Grundlage der MTM-UAS-Methode.

UAS Analyse												
#	Bezeichnung	Kode	Hand	TMU	A x H	TMU beeinfl.	TMU unbeeinfl.	Gesamt TMU	Dauer [s]	Ø Dauer [s]	Turnus [%]	
1	Körperbewegung	KA		25,0	1 * 1	25,0	0,0	25,0	0,90	0,90	100,00	
2	Aufnehmen & Platzieren	AH1	L + R	25,0	1 * 1	25,0	0,0	25,0	0,90	0,90	100,00	
3	Körperbewegung	KA		25,0	1 * 1	25,0	0,0	25,0	0,90	0,90	100,00	
4	Aufnehmen & Platzieren	AA2	L	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
5	Prozesszeit	PT		111,1	1 * 1	0,0	111,1	111,1	4,00	4,00	100,00	
6	Aufnehmen & Platzieren	AA2	L	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
7	Prozesszeit	PT		111,1	1 * 1	0,0	111,1	111,1	4,00	4,00	100,00	
8	Aufnehmen & Platzieren	AA2	L	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
9	Prozesszeit	PT		111,1	1 * 1	0,0	111,1	111,1	4,00	4,00	100,00	
10	Aufnehmen & Platzieren	AA2	L	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
11	Prozesszeit	PT		111,1	1 * 1	0,0	111,1	111,1	4,00	4,00	100,00	
12	Aufnehmen & Platzieren	AA2	L	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
13	Prozesszeit	PT		111,1	1 * 1	0,0	111,1	111,1	4,00	4,00	100,00	
14	Aufnehmen & Platzieren	AB3	R	60,0	1 * 1	60,0	0,0	60,0	2,16	2,16	100,00	
15	Aufnehmen & Platzieren	AB2	R	45,0	1 * 1	45,0	0,0	45,0	1,62	1,62	100,00	
16	Aufnehmen & Platzieren	AB2	R	45,0	1 * 1	45,0	0,0	45,0	1,62	1,62	100,00	
17	Aufnehmen & Platzieren	AB3	R	60,0	1 * 1	60,0	0,0	60,0	2,16	2,16	100,00	
18	Aufnehmen & Platzieren	AA2	R	35,0	1 * 1	35,0	0,0	35,0	1,26	1,26	100,00	
19	Bewegungszyklus	ZB1		10,0	5 * 1	50,0	0,0	50,0	1,80	1,80	100,00	
20	Bewegungszyklus	ZB1		10,0	5 * 1	50,0	0,0	50,0	1,80	1,80	100,00	
21	Prozesszeit	PT		24,8	1 * 1	0,0	24,8	24,8	0,89	0,89	100,00	

Abb. 42: Von der Software automatisch generierte MTM-UAS-Formulare

(Quelle: eigene Abbildung)

Schritte	Name	Kode	Beschreibung mit Parametern
1	Körperbewegung	KA	Person läuft von Stehplatz 2 nach 1 über 0,47 Metern.
2	Aufnehmen & Platzieren	AH1	Person nimmt den Gehäusedeckel (5,38 kg) auf und platziert ihn auf den Montagetisch.
3	Körperbewegung	KA	Person läuft von Stehplatz 1 nach 2 über 0,47 Metern.
4	Aufnehmen & Platzieren	AA2	Person nimmt die 1. Stopfbuchspackung (0,0086 kg) auf.
5	Prozesszeit	PT	Person platziert den 1. Stopfbuchspackung.

6	Aufnehmen & Plazieren	AA2	Person nimmt den Sperring (0,052 kg) auf.
7	Prozesszeit	PT	Person plaziert den Sperring.
8	Aufnehmen & Plazieren	AA2	Person nimmt die 2. Stopfbuchspackung (0,0086 kg) auf.
9	Prozesszeit	PT	Person plaziert den 2. Stopfbuchspackung.
10	Aufnehmen & Plazieren	AA2	Person nimmt die 3. Stopfbuchspackung (0,0086 kg) auf.
11	Prozesszeit	PT	Person plaziert den 3. Stopfbuchspackung.
12	Aufnehmen & Plazieren	AA2	Person nimmt die 4. Stopfbuchspackung (0,0086 kg) auf.
13	Prozesszeit	PT	Person plaziert den 4. Stopfbuchspackung.
14	Aufnehmen & Plazieren	AB3	Person nimmt die Stopfbuchsenbrille (0,24 kg) auf und plaziert sie.
15	Aufnehmen & Plazieren	AB2	Person nimmt die 1. Scheibe (0,0028 kg) auf und plaziert sie.
16	Aufnehmen & Plazieren	AB2	Person nimmt die 2. Scheibe (0,0028 kg) auf und plaziert sie.
17	Aufnehmen & Plazieren	AB3	Person nimmt die 1. Sechskantmutter (0,011 kg) auf und plaziert sie.
18	Aufnehmen & Plazieren	AA2	Person nimmt die 2. Sechskantmutter (0,011 kg) auf und plaziert sie.
19	Bewegungszyklus	ZB1	Person schraubt die 1. Sechskantmutter per Hand.
20	Bewegungszyklus	ZB1	Person schraubt die 2. Sechskantmutter per Hand.
21	Prozesszeit	PT	Person schiebt die fertige Stopfbuchse.

Tab. 18: Kode und Erklärung des einzelnen MTM-UAS-Verhaltens

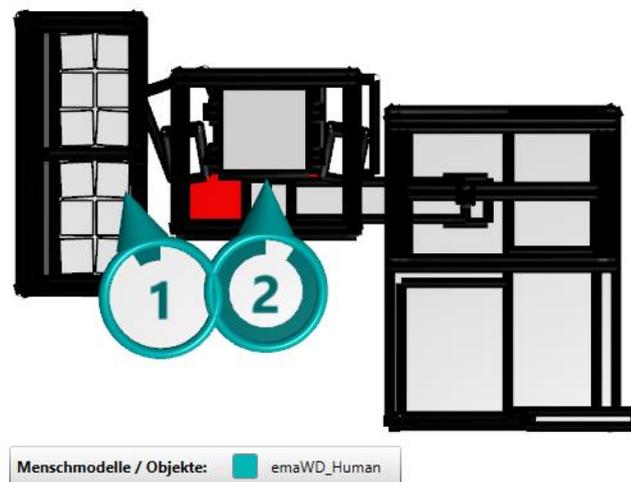


Abb. 43: Zwei Stehplätze für die Arbeiter während der Arbeit  
(Quelle: eigene Abbildung)

Bewegungslänge in cm	≤ 20	> 20 bis ≤ 50	> 50 bis ≤ 80
Entfernungsbereich	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Aufnehmen und Platzieren		Kode	1	2	3		
≤ 1 kg	Fall des Aufnehmens	ungefähr	AA	20	35	50	
		lose	AB	30	45	60	
	leicht	eng	AC	40	55	70	
		ungefähr	AD	20	45	60	
		lose	AE	30	55	70	
	schwierig	eng	AF	40	65	80	
		Hand voll	ungefähr	AG	40	65	80
		> 1 kg bis ≤ 8 kg	ungefähr	AH	25	45	55
	lose		AJ	40	65	75	
	eng		AK	50	75	85	
	> 8 kg bis ≤ 22 kg	ungefähr	AL	80	105	115	
		lose	AM	95	120	130	
eng		AN	120	145	160		

Platzieren		Kode	1	2	3
	ungefähr	PA	10	20	25
	lose	PB	20	30	35
	eng	PC	30	40	45

Bewegungslänge in cm	≤ 20	> 20 bis ≤ 50	> 50 bis ≤ 80
Entfernungsbereich	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Hilfsmittel handhaben	Kode	1	2	3
ungefähr	HA	25	45	65
lose	HB	40	60	75
eng	HC	50	70	85

Betätigen	Kode	1	2	3
einfach	BA	10	25	40
zusammengesetzt	BB	30	45	60

Bewegungszyklen	Kode	1	2	3
eine Bewegung	ZA	5	15	20
Bewegungsfolge	ZB	10	30	40
Umsetzen und eine Bewegung	ZC	30	45	55
Festmachen oder Lösen	ZD		20	

Körperbewegungen	Kode	TMU
Gehen / m	KA	25
Beugen, Bücken, Knien (incl. Aufrichten)	KB	60
Setzen und Aufstehen	KC	110

Visuelle Kontrolle	VA	TMU
	VA	15

Abb. 44: MTM-UAS Datenkarte zur Kodierung des Verhaltens

(Quelle: MTM ASSOCIATION e. V., 2022)

Hier werden die Code des Verhaltens nach der MTM-UAS-Methode interpretiert. Für das zweite Verhalten „Aufnehmen und Platzieren“ beträgt das Gewicht des aufgenommenen Gehäusedeckels 5,38 kg, so dass man die Code in der Gruppe „Aufnehmen und Platzieren“ im Bereich von 1 bis 8 kg sucht. Wegen keine genaue Positionierung des Platzierens wird die Code dieses Vorgangs als „AH“ festgelegt. Weil dieses Verhalten 0,9 Sekunden (25 TMU) dauert, wird die endgültige Code als „AH1“ festgelegt.

### 5.3.2 Ergonomische Analyse der optimierten Ergebnisse

Die optimierten Konstruktionen ergaben bessere ergonomische Analyseergebnisse. Die folgende Abbildung zeigt eine ergonomische Bewertung nach der EAWS-Methode. Die Ergebnisse können mit denen eines zuvor nicht optimierten Arbeitsplatzes verglichen werden.

### Gesamtergebnis der EAWS-Analyse

Gesamt Körper	=	Haltung	+	Kräfte	+	manuelle Lastenhandhabung	+	Extra
25.00	=	5.00	+	0.00	+	20.00	+	0.00
EAWS Bewertung	0-25 Punkte	grün	niedriges Risiko - empfehlenswert; Maßnahmen nicht					
	25-50 Punkte	gelb	mögliches Risiko - nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten					
	>50 Punkte	rot	hohes Risiko - vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung t					

Abb. 45: Gesamtergebnis des optimierten Montageprozesses mit EAWS- Methode

(Quelle: eigene Abbildung)

Last-Fälle													
#	Dauer [s]	Distanz [m]	Last-Fall	Fall des Zi	Last (links) [kg]	Last (rechts) [kg]	Last (beidhändig) [kg]	Ausführungsbedingungen [Pkt]	Last [Pkt]	Körperhaltung [Pkt]	Anzahl [Pkt]	anteil. Faktor	zusätzliche Informationen
1	2.441	0.67			0.0	0.0	5.4	0.0	1.2	1.0	6.5	1.00	
12	0.420	0.00			0.0	0.0	5.7	0.0	1.2	1.0	6.5	1.00	

Last-Fälle (Zusammenfassung)							
Last-Fall	Anzahl [# /Schicht]	Anzahl [# /Takt]	Intensität (gew. Mittel) [Pkt]	Anzahl [Pkt]	Gesamt [Pkt]	Intensität x Anzahl = Gesamt	
Umsetzen	880.0	2.0	2.2	9.0	19.8	2.2 x 9 = 19.8	

Abb. 46: Auf den DMM auswirkender Lastfall des optimierten Montageprozesses

(Quelle: eigene Abbildung)

Aufgrund der neu gestalteten Größe der Arbeitstische und der Einführung von Hubtischen müssen sich die Arbeiter beim Aufnehmen schwerer Gegenstände nicht mehr übermäßig drehen und bücken, so dass sich die Werte für die Rückenbewegung in der EAWS-Bewertung verringert haben.

Körperstellung sowie Rumpf- und Armhaltungen								
	Dauer [s]	Anteil [%]	Bewertung	Rumpf-		Reichweite		
				drehung	neigung			
Stehen								
1		aufrecht; Stehen und Gehen	60.00	100.00	2.00	9.45	0.00	0.00

Körperstellung sowie Rumpf- und Armhaltungen								
	Dauer [s]	Anteil [%]	Bewertung	Rumpf-		Reichweite		
				drehung	neigung			
Stehen								
1		aufrecht; Stehen und Gehen	60.00	100.00	2.00	2.57	0.00	0.00

Abb. 47: Vergleich der ergonomischen Bewertung von Rumpfbewegungen

(oben: vor Optimierung; unten: nach Optimierung)

(Quelle: eigene Abbildung)

Durch die Einführung des Plazierungsmechanismus muss der Arbeiter die Gewichte nach der Montage nicht mehr von Hand in den Behälter legen, sondern schiebt sie auf das Rollenband. Die Belastungssituation des Arbeitnehmers wird dadurch verbessert.

Manuelles Handhaben von Lasten			
	Umsetzen	$(\text{Last} + \text{Haltung}) \times \text{Anzahl}$	35.10

Manuelles Handhaben von Lasten			
	Umsetzen	$(\text{Last} + \text{Haltung}) \times \text{Anzahl}$	19.80

Abb. 48: Vergleich der ergonomischen Bewertung von Belastung des Arbeiters

(oben: vor Optimierung; unten: nach Optimierung)

(Quelle: eigene Abbildung)

## 6 Entwicklung multimedialer Trainingsunterlagen und Dokumentation

Multimediales Trainingsmaterial wurde als Video mit Erklärungen erstellt, um die grundlegende und wichtige Funktion der Software emaWD zu erklären. Die Videos ermöglichen es den Lernenden, die grundlegende Nutzung der Software schnell zu erfassen.

Der in diesem Beitrag vorgestellte Arbeitsplatz wird in dem Video zusammen mit zwei anderen Szenarien als Beispiel verwendet, um die Vorbereitung des Modells vor der Simulation, die Konstruktion des Arbeitsszenarios und die Erstellung des Verhaltens des DMMs zu Beginn der Simulation bis hin zur Erstellung der Simulationsergebnisse zu zeigen. Das vollständige Anleitungsvideo befindet sich in der beigefügten Anlage.

Nr.	Titel	Anfangszeit (mm:ss)	Länge (mm:ss)	Inhaltsbeschreibung
0	Aufgabestellung	00:00	01:33	Einführung in das Thema
1	Vorbereitung	01:33	00:33	Vorbereitende Arbeiten vor der Arbeitssimulation
2	Einführung in die Software ema Work Designer	02:06	01:08	Einführung in die Funktionen der Software Jede Registerkarte anzeigen

2.1	Konstruktion des Arbeitsszenarios	03:14	00:01	Konstruktion des Arbeitsszenarios
2.1.1	Objekt vom Ordner hinzufügen und verschieben	03:15	01:03	Einfügen des ersten Objekts vom Ordner Verschiebung/Rotation des Objekts im Raum
2.1.2	Objekt von der Bibliothek hinzufügen	04:18	00:37	Einfügen des Objekts von emaWD-Bibliothek
2.1.3	Objekt kopieren	04:55	00:30	Objekt kopieren
2.1.4	feinere Positionierung	05:25	00:20	feinere Positionierung
2.1.5	Strukturebene zusammenfassen	05:45	00:56	Änderung der Strukturebene Änderung der Eigenschaft der Objekte
2.1.6	Menschmodell hinzufügen	06:41	00:44	Menschmodell hinzufügen
2.1.7	Gewicht und Greifart des Objekts definieren	07:25	00:21	Gewicht und Greifart des Objekts definieren
2.2	Verhalten definieren	07:50	00:00	Verhalten definieren
2.2.1	Verhalten „Objekt(e) aufnehmen“	07:50	01:21	Einfügen des Verhalten „Objekt(e) aufnehmen“
2.2.2	Verhalten „Objekt(e) platzieren“	09:11	00:56	Einfügen des Verhalten „Objekt(e) platzieren“
2.2.3	Simulationsanimation erstellen	10:07	00:21	Simulationsanimation generieren und abspielen
2.2.4	Verhalten optimieren	10:28	01:05	Optimierungsphase
2.2.5	Verhalten „Schrauben per Hand“ und Marke hinzufügen	11:33	01:34	Einfügen des Verhalten „Schrauben per Hand“ Marke hinzufügen
2.2.6	Verhalten „Laufen“	12:37	00:42	Einfügen des Verhalten „Laufen“ und Marke
2.2.7	Verhalten „Ziehen/Schieben“ und Referenzobjekt	13:19	04:20	Einfügen des Verhalten „Ziehen/Schieben“ und Referenzobjekt
2.2.8	Simulation optimieren	17:01	01:30	Optimierungsphase
3	Nach der Simulation	18:31	00:04	Export von Ergebnissen
3.1	Screenshot und Video	18:35	00:35	Screenshot und Video

	speichern			speichern
3.2	Zeitliche und ergonomische Analyse	19:10	00:11	Generierung von Analyseergebnissen
3.2.1	Ergebniss der ergonomischen Analyse	19:21	00:32	Generierung von ergonomischen Analyseergebnissen
3.2.2	Ergebniss der zeitlichen Analyse	19:53	00:31	Generierung von zeitlichen Analyseergebnissen
4	Literatur und Ende	20:24	00:16	Literatur und Ende

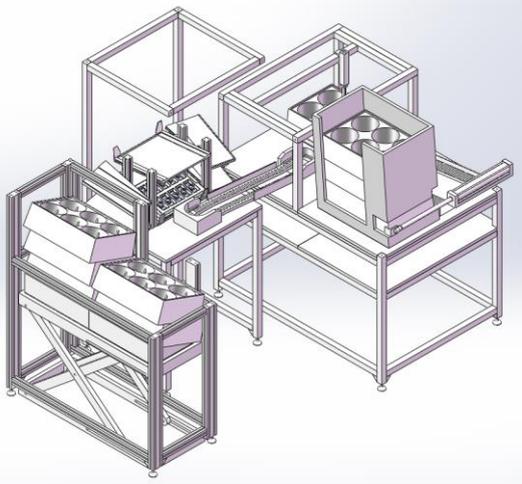
Tab. 19: Anzeige von Videoinhalten

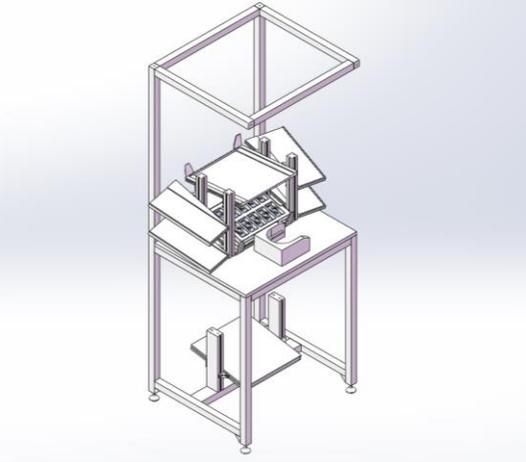
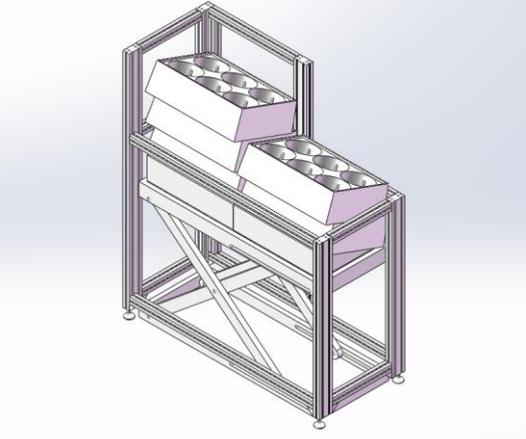
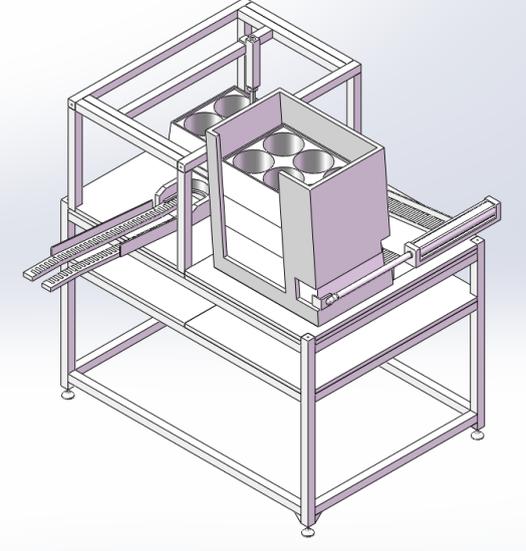
## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Hier wird zunächst der Aufbau der Montagearbeitsstation gezeigt. Dann wird ein Ausblick zu weiterführende Arbeiten und die Simulation der menschlichen Arbeit gegeben.

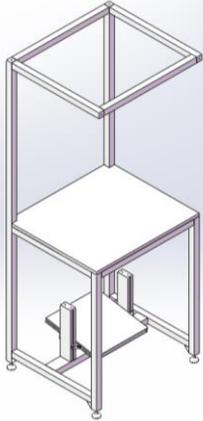
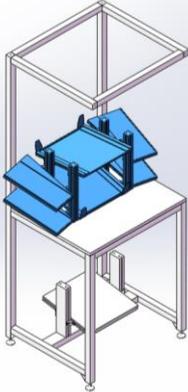
### 7.1 Zusammenfassung

Die Montagearbeitsstation besteht aus drei Teilen: dem Montagetisch, dem Vorrats- und Zufuhrmechanismus und dem Plazierungsmechanismus. Der Aufbau und die Funktion jedes Mechanismus sind in der folgenden Tabelle detailliert dargestellt.

Name der Konstruktion	Beschreibung
 <p>0. Montagestation</p>	<p>Für die Montage der Stopfbuchse wurde ein manueller Montagestation entworfen. Die Montagestation bietet einem Arbeiter den nötigen Platz für Montagearbeiten. Ausgehend von der aktuellen Materialflusssituation und der Platzierung der Teilebehälter hat dieser Arbeitsplatz eine Stellfläche von 3,875 Quadratmeter. Die für die Montage erforderliche Zeit beträgt 39,0 Sekunden. Der Montagestation besteht aus drei Teilen, nämlich dem Montagetisch, dem Vorrats- und Zufuhrmechanismus von KLT sowie dem Plazierungsmechanismus für die fertige Stopfbuchse.</p>

 <p>1. Montagetisch mit Behälterregal</p>	<p>Der Montagetisch ist der Hauptarbeitsplatz für die Arbeiter. Die Tischplatte kann mit einem Behälterregal ausgestattet werden, das eine ergonomischere Anordnung und relativ größere Kapazität der Kleinteilbehälter ermöglicht.</p>
 <p>2. Vorrats- und Zufuhrmechanismus</p>	<p>Der Vorrats- und Zufuhrmechanismus des Gehäusebehälters ist mit einem Hubtisch ausgestattet. Dieser Hubtisch kann bis zu 6 Kassetten tragen. Der Arbeiter verändert die Höhe des Tisches per Handtaster, so dass sich die Behälter in einer geeigneten Höhe für die Entnahme befinden.</p>
 <p>3. Platzierungsmechanismus für die fertige Stopfbuchse</p>	<p>Der Zweck dieser Vorrichtung ist die Arbeitsbelastung der Arbeitnehmer zu verringern. Die automatische Platzierung erfolgt durch einen TTT-Roboter. Ein Behälterlager- und -freigabemechanismus wurde ebenfalls entwickelt, um überschüssige Schalenbehälter zu lagern und freizugeben. Während des Betriebs dieses Mechanismus braucht der Arbeiter nur die Behälter aufzufüllen.</p>

Tab. 20: 3 Teile der Montagearbeitsstation

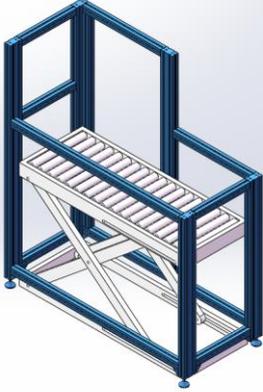
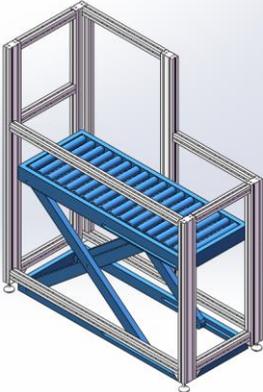
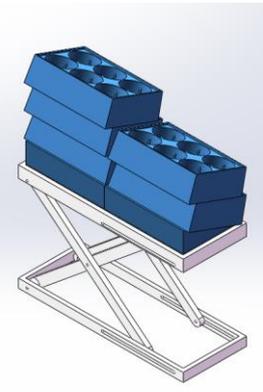
Name der Konstruktion	Beschreibung
 <p>1.1 Montagetisch</p>	<p>Die Höhe der Tischplatte ist konstant, die Höhe der Fußstützen kann verstellbar werden. Deswegen kann der Montagetisch mit einem höhenverstellbaren Hocker an die Mehrheit der Arbeitnehmer mit unterschiedlicher Körpergröße (5 % Frauen bis 95 % Männer) angepasst werden. Der Rahmen besteht aus Aluminiumprofilen, die modular aufgebaut werden können.</p>
 <p>1.2 Behälterregal</p>	<p>Das Behälterregal bietet einen schrägen Winkel, so dass der Arbeiter die Teile im Behälter leichter und schneller erreichen kann. Über dem Regal befindet sich eine Rutsche, auf die der Mitarbeiter die leeren Behälter legt. Die leeren Behälter werden gesammelt, wenn das Material wieder aufgefüllt wird.</p>

Tab. 21: Beschreibung der Strukturen des Montagetisches

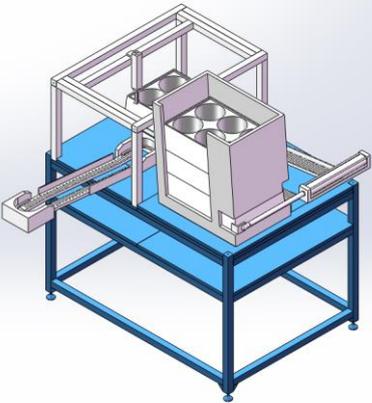
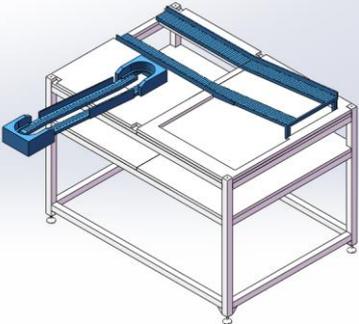
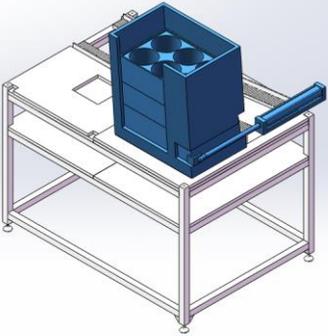
Die Größe des Montagetisches wurde ebenfalls gegenüber dem ersten Entwurf optimiert.

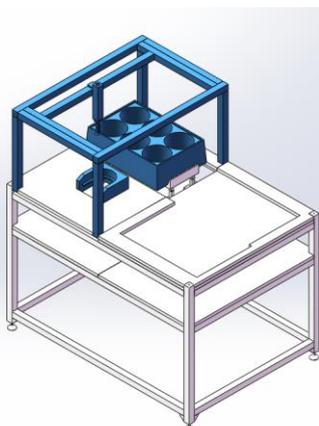
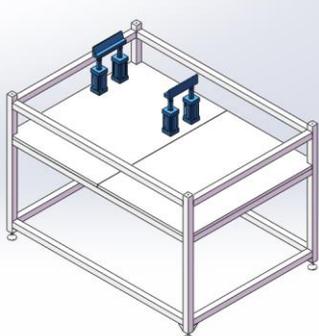
Schwerpunkt	Größe (mm)	Beschreibung
Länge und Breite des Arbeitsplatzes	800x700	reduzierte Länge für geringen Greifweg
Greifweite	378	5. Perzentil der Frauen
Aufbauhöhe	489	5. Perzentil der Frauen
Tischhöhe	1000	-
Höhe des Hockers (verstellbar)	720	5. Perzentil der Frauen ~ 95. Perzentil der Männer
Höhe der Fußplatte (verstellbar)	240-369	5. Perzentil der Frauen ~ 95. Perzentil der Männer

Tab. 22: Tischgrößen des optimierten Entwurfs und Beschreibungen

Name der Konstruktion	Beschreibung
 <p data-bbox="320 701 707 734">2.1 Rahmen der Konstruktion</p>	<p data-bbox="815 344 1390 629">Das Gestell besteht aus demselben Aluminiumprofil wie der Montagetisch. Die überstehenden Teile sind so konzipiert, dass sie die Zuverlässigkeit des Behälterstapels schützen, wenn sich der Hubtisch in seiner höchsten Position befindet.</p>
 <p data-bbox="432 1234 600 1267">2.2 Hubtisch</p>	<p data-bbox="815 752 1390 1290">Hubtische werden in der industriellen Produktion vielfältig eingesetzt. Dieser Hebemechanismus muss hier eine Last von 212,4 kg (d. h. das Gewicht von 6 gefüllten Behältern) tragen. Wenn sich der Hubtisch auf der niedrigsten Höhe befindet, kann der für den Materialfluss zuständige Mitarbeiter den Auffüllen der vollen Behälter vornehmen. Die Rollen auf der Tischplatte erleichtern das Gleiten der Materialbehälter auf der Tischplatte.</p>
 <p data-bbox="292 1798 738 1832">2.3 Behälter des Gehäusedeckels</p>	<p data-bbox="815 1308 1390 1895">Die Behälter sind die „Verpackung“ für den Transport der Gehäuse in der Werkstatt und können bis zu 6 Gehäusedeckel in einem Behälter geladen werden. Um das Gehäusedeckel leicht zugänglich zu halten, werden die Behälter auf eine Kippplatte gestellt. Wenn ein Stapel Behälter aufgebraucht ist, senkt der Arbeiter den Tisch auf den niedrigsten Punkt ab und zieht dann den vollen Behälter hinter sich in eine Position, die zum Aufnehmen des Gehäusedeckels geeignet ist.</p>

Tab. 23: Beschreibung der Strukturen des Vorrats- und Zufuhrmechanismus

Name der Konstruktion	Beschreibung
 <p data-bbox="320 707 707 741">3.1 Rahmen der Konstruktion</p>	<p data-bbox="815 327 1390 658">Das Gestell besteht aus demselben Aluminiumprofil wie der Montagetisch und kann schnell demontiert werden. Die Tischplatte ist in zwei Schichten unterteilt, die obere für die verschiedenen Mechanismen und die untere für die Hilfsmechanismen wie z. B. pneumatische Kolben.</p>
 <p data-bbox="400 1184 628 1218">3.2 Rollenbänder</p>	<p data-bbox="815 763 1390 1245">Auf den Rollenbändern können Gegenstände schnell und ohne Antrieb von einem Ort zum anderen bewegt werden. Der Rollenband mit der Gehäusebefestigung (links im Bild) ist für den Transport der montierten Produkte zum Greifpunkt des Roboters zuständig. Der andere Rollenband ist für den Transport der leeren Behälter vom Auslösemechanismus zum Produktplatzierungsbereich zuständig.</p>
 <p data-bbox="248 1753 778 1832">3.3 Speicher- und Auslösemechanismus von Behälter</p>	<p data-bbox="815 1267 1390 1899">Der Behälterspeichermechanismus stellt sicher, dass der Platzierungsmechanismus genügend Behälter verfügbar hat. Die Magazine wird so konstruiert, damit die Behälter ohne Verklemmen übereinander gestapelt werden können. Nachdem der Arbeiter einen leeren Behälter aus dem Vorrats- und Zufuhrmechanismus erhalten hat, wird sie dann in den Vorratsbehälter gestellt. Als Auslösemechanismus zieht ein pneumatischer Kolben den Behälter auf die Rutsche. Auf den Rollenbänder wird der Behälter in die Beladeposition gefahren.</p>

 <p>3.4 TTT-Roboter</p>	<p>Der TTT-Roboter wird hier verwendet, um die montierte Stopfbuchse in das entsprechende Loch des Behälters zu platzieren, da der TTT-Roboter die Eigenschaften hoher Tragfähigkeit, einfacher Steuerung und niedriger Anschaffungskosten aufweist. Wenn der Sensor erkennt, dass eine Stopfbuchse den Greifpunkt erreicht hat, bewegt sich der Greifer des Roboters hinüber und nimmt es durch das Loch in der Mitte des Produkts auf. Die Stopfbuchse wird dann in die durch pneumatischen Kolben fixierte Behälter gelegt.</p>
 <p>3.5 Positionierungsmechanismus</p>	<p>Damit der Roboter das Produkt erfolgreich in die entsprechende Öffnung des Behälters platzieren kann, muss der Behälter vor Beginn der Platzierung fixiert werden, und es muss sichergestellt werden, dass er sich jedes Mal in der gleichen Position befindet. Aus diesem Grund wurde ein Positionierungsmechanismus entwickelt, der aus zwei Gruppen von Pneumatikkolben besteht. Bei Ankunft eines neuen Behälters werden die beiden vorderen Kolben zuerst angehoben, um den Behälter zu blockieren. Nach dem Blockieren des Behälters heben sich die beiden hinteren Kolben und positionieren den Behälter.</p>

Tab. 24: Beschreibung der Strukturen des Platzierungsmechanismus

In diesem Beitrag werden zunächst die Definition der Ergonomie, ihr Umfang und die Anforderungen an die Arbeitsgestaltung sowie die Anwendung der Anthropometrie bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen beschrieben. Die in dieser Arbeit entworfene Montagestation ist nur ein grober Entwurf und es wurden keine detaillierten Entwürfe für Details wie Sensoren und Aktoren für den Automatisierungsmechanismus vorgenommen. Die Montagestation verfügt über einen gewissen Automatisierungsgrad, der den Arbeitsaufwand der Arbeiter bis zu einem gewissen Grad reduziert. Die ergonomische Gestaltung der Maße sorgt dafür, dass

die Montagearbeiten konsequent durchgeführt werden. Aufgrund der hohen Kosten des einzelnen Positionierungsmechanismus kann durch die Gestaltungsänderung des Produktionsbereichs die Kosten gesenkt und die Auslastung des Mechanismus erhöht werden, indem die Produkte von mehreren Montagestationen auf einen Positionierungsmechanismus durch Rollenbänder transportiert werden.

## **7.2 Ausblick**

Als weiterführende Arbeiten oder Ausblick dieser Bachelorarbeit kann der Mechanismus mit Hilfe von Sensortechnik, Automatisierung, Robotik usw. im Detail optimiert werden. Es kann ebenfalls eine neue Konstruktion der Montagestation entwickelt (z.B. U-förmige Montagestation) oder mehre Automaten eingesetzt werden, wodurch mehr manuelle Arbeit ersetzt und die Belastung der Arbeiter reduziert wird (z.B. Aufnehmen des Gehäusedeckels und Aufschrauben der Muttern durch Automaten). Ergonomische Analysesoftware kann natürlich verwendet werden, um die größere Kombination und Zusammenarbeit verschiedener menschlicher Aufgaben zu simulieren und zu bewerten.

Ergonomische Gestaltung beschränkt sich nicht auf die Verbesserung der laufenden Produktion, sondern sollte in allen Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigt werden: Je früher ergonomische Probleme erkannt und gelöst werden können, desto weniger Auswirkungen haben sie in späteren Phasen. Mit Hilfe von ergonomischen Analysesoftwaren können Produktionsplaner frühzeitig wissen, welche Probleme in der Produktion wahrscheinlich auftreten werden, so dass sie vor dem Produktionsbeginn gelöst oder ihre Auswirkungen minimiert werden können. Dadurch wird die Gesundheit der Arbeitnehmer geschützt, die Produktivität gesteigert und die Produktqualität verbessert.

## Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Bachelorarbeit eigenständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen, Darstellungen und Hilfsmittel benutzt habe. Dies trifft insbesondere auch auf Quellen aus dem Internet zu. Alle Textstellen, die wortwörtlich oder sinngemäß anderen Werken oder sonstigen Quellen entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der jeweiligen Quelle, auch der Sekundärliteratur, als Entlehnung gekennzeichnet.

Ich erkläre hiermit weiterhin, dass die vorgelegte Arbeit zuvor weder von mir noch – soweit mir bekannt ist von einer anderen Person an dieser oder einer anderen Hochschule eingereicht wurde.

Darüber hinaus ist mir bekannt, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung eine Benotung der Arbeit mit der Note „nicht ausreichend“ zur Folge hat und dass Verletzungen des Urheberrechts strafrechtlich verfolgt werden können.

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

## Anhangverzeichnis

Anhang 1: Modelle und Dateien für optimierte emaWD-Simulation

Anhang 2: EAWS-Ergebnis der ersten Konstruktion

Anhang 3: EAWS-Ergebnis der optimierten Konstruktion

Anhang 4: Multimediale Trainingsunterlagen (Video-Datei)

## Literaturverzeichnis

Bilger, B. (1992). Manuelle Montagen als Alternative zur Montageautomation: Grundlagen, Entwicklung, Organisation und Betriebsmittel; Beispiele zum rationellen Einsatz. expert-Verlag.

Bullinger, H. J. (2013). Ergonomie: Produkt-und Arbeitsplatzgestaltung. Springer-Verlag.

Kühnapfel, J. B. (2022). Scoring und Nutzwertanalysen. Springer.

Lotter, B., & Wiendahl, H. P. (Eds.). (2013). Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis. Springer-Verlag.

Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2018). Arbeitswissenschaft. Springer-Verlag.

Sonntag, A., Schlink, B.: Instrument Paarweiser Vergleich, <https://www.inf.uni-hamburg.de/de/inst/ab/itmc/research/completed/promidis/instrumente/paarweiser-vergleich>, 2015, Abruf am 09.11.2022

Vladimír, R., Andrea, L., & Norbert, S. (2015). Reconfiguring of Manual Workstations Designated for Customized Production. American Journal of Mechanical Engineering, 3(6), 257-260.

Wagner, R. M. (2018). Industrie 4.0 für die Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden.

## Internetquellen

ALUTEC KK, 2022; <https://www.aluteckk.de/modulare-werkbanke>, Abruf am 09.11.2022

ant-Transportgeräte GmbH & Co. KG, 2022;

<https://ant-transportgeraete.de/werkbank-mit-multiwand-fahrbar-2-schlitzplatten-fw802vr.html>,  
Abruf am 09.11.2022

D´Romerio, 2022; <https://www.dromerio.nl/de/werkstattstuhl.html>, Abruf am 09.11.2022

G.U.N.T. Gerätebau GmbH, 2022;

[http://www.technovolt.ro/prod\\_pdf/1062\\_Cat4\\_english-Piping\\_syst.pdf](http://www.technovolt.ro/prod_pdf/1062_Cat4_english-Piping_syst.pdf), Abruf am 09.11.2022

Haufe Group, 2022;

[https://www.haufe.de/arbeitschutz/arbeitschutz-office-professional/eaws-einbewertungsverfahren-zur-arbeitsplatzergonomie-3-das-tool-eaws\\_idesk\\_PI13633\\_HI13023105.html](https://www.haufe.de/arbeitschutz/arbeitschutz-office-professional/eaws-einbewertungsverfahren-zur-arbeitsplatzergonomie-3-das-tool-eaws_idesk_PI13633_HI13023105.html), Abruf am 09.11.2022

imk automotive GmbH, 2022; <https://imk-ema.com/demo-video.html>, Abruf am 09.11.2022

item Industrietechnik, 2016;

<https://blog.item24.com/montagearbeitsplatz/ergonomisches-sitzen-am-industriellen-arbeitsplatz/>, Abruf am 09.11.2022

LP Montagetechnik GmbH, 2022;

<https://www.lp-m Montagetechnik.com/mtm-analyse-universal-analysis-system-uas/>, Abruf am 09.11.2022

Manutan GmbH, 2022; <https://www.manutan.de/de/oid/werkstattstuhl-aus-holz-hoch>, Abruf am 09.11.2022

MTM ASSOCIATION e. V., 2022;

[https://mtm.org/fileadmin/mtm\\_upload/Download/EAWS\\_form\\_v1.3.6\\_EN.pdf](https://mtm.org/fileadmin/mtm_upload/Download/EAWS_form_v1.3.6_EN.pdf), Abruf am 09.11.2022

MTM ASSOCIATION e. V., 2022;

[https://mtm.org/fileadmin/mtm\\_upload/Download/MTM-UAS\\_Datenkarte\\_DE.pdf](https://mtm.org/fileadmin/mtm_upload/Download/MTM-UAS_Datenkarte_DE.pdf), Abruf am 09.11.2022

11.2022

Patrol, 2022;

<https://www.amazon.de/Stapelboxen-Stapelkisten-490x310x190-Sichtlagerk%C3%A4sten-stapelbar/dp/B004UQQA0E>, Abruf am 09.11.2022

PETec GmbH, 2022;

<https://www.petec-gmbh.de/produkt/hoehenverstellbarer-montagetisch-advanced/>, Abruf am 09.11.2022

