Konzeptionierung und Realisierung eines Montagearbeitsplatzes mit digitalem Assistenzsystem

Studienarbeit

des Studienganges Maschinenbau an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Manuel Zeh

Abgabedatum: 15.05.2023

Bearbeitungszeitraum:	12 Wochen
Matrikelnummer, Kurs:	4858807, TMK20-1
Standort:	DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen
Betreuer der Hochschule:	Florian Bulander, M. Sc.

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema „Konzeptionierung und Realisierung eines Montagearbeitsplatzes mit digitalem Assistenzsystem“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

_____

Ort, Datum, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **IV**

Tabellenverzeichnis **V**

Abkürzungsverzeichnis **VI**

Formelgrößen **VII**

1. Einleitung **1**

1.1. Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung . . 1

1.2. Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit 2

1.3. Aufbau der Arbeit 2

2. Grundlagen **3**

2.1. Der Konstruktionsprozess anhand der VDI 2221 3

2.1.1. Die Konstruktionsarten 3

2.1.2. Der Konstruktionsprozess 4

2.2. Ergonomie am Arbeitsplatz 7

2.2.1. Einführung in die Ergonomie 7

2.2.2. Anthropometrische Gestaltung 9

2.3. Assistenzsysteme in der Montage 13

2.3.1. Verschiedene Kommissioniermethoden zur Auswahl von Komponenten 13

2.3.2. Das digitale Assistenzsystem „ifm mate“ 15

2.4. Lean Production am Arbeitsplatz 16

2.4.1. Allgemeine Erklärung der Lean Production 16

2.4.2. Methoden der Lean Production 17

3. Konstruktion des Arbeitsplatzes **22**

3.1. Definition der Aufgabe 22

3.1.1. Beschreibung der auszuführenden Aufgabe am Arbeitsplatz 22

3.1.2. Erstellung der Anforderungsliste 23

3.2. Erarbeitung des Konzeptes 24

3.3. Erstellung des Entwurfs 26
3.3.1. 3D-CAD Modell 27
3.3.2. Creform-Entwurf 28
3.3.3. Cardboard Engineering 29
3.4. Ausarbeitung 29

4. Montagehilfe und Werkzeughalterung als Erweiterung 32
4.1. Beschreibung des Montagevorgangs 32
4.2. Ausarbeitung der Werkzeughalterung 33
4.3. Ausarbeitung der Montagehilfe 34

5. Fazit 35

Literaturverzeichnis 37

A. Anhang 39
A.1. Cardboard Engineering 40
A.2. Zuschnittsliste 41
A.3. Handskizze 42

Abbildungsverzeichnis

2.1. Allgemeines Modell der Produktentwicklung 6
2.2. Konstruktionsarten mit Prozessanteil 7
2.3. Ausgewählte Körpermaße von unbekleideten Personen 10
2.4. Darstellung ergonomischer Greifräume 11
2.5. Schematische Darstellung der Gesichts-, Blick- und Umblicksfelder 12
2.6. Arbeitshöhen in Bezug zur Arbeitsaufgabe 13
2.7. Beispielbild einer „ifm manual assembly training engineer (mate)“ Ansicht 15
2.8. Aufbau eines Regals in der Massenfertigung 17
2.9. Aufbau eines Regals in der Lean Production 18
2.10. Matrix der ABC-XYZ Logik 20

3.1. Montierte Baugruppe mit Handgriff 23
3.2. Erster Entwurf des Montagearbeitsplatzes 27
3.3. Zeichnung des Creforms Entwurfs 28
3.4. Fertiger Montagearbeitsplatz 30

4.1. Werkzeughalterung für Schraubendreher und Ringschlüssel 33
4.2. Bilderstrecke zur Montage des Griffs 34

Tabellenverzeichnis

2.1. Körpergröße in Millimeter in Deutschland zwischen 1999 und 2002 9
2.2. Abstand der Kamera und erfasster Bereich 16

3.1. Kategorien in einer Anforderungsliste 23
3.2. Anforderungsliste Arbeitsplatz 24
3.3. Morphologischer Kasten Arbeitsplatz 25

Abkürzungsverzeichnis

mate manual assembly training engineer

PTZ Produktionstechnisches Zentrum

VDI Verein Deutscher Ingenieure

ZDP Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

Formelgrößen

A	mm	Höhe Arbeitsplatte
C	mm	Höhe Werkstück
H_2	mm	Arbeitshöhe

1. Einleitung

Die Einleitung stellt das Umfeld, in dem die Studienarbeit geschrieben wird, vor und ordnet das Projekt in den Gesamtkontext ein. Die Aufgabenstellung wird definiert und das Ziel der Arbeit wird hervorgehoben.

1.1. Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

Die Anzahl von Baugruppen, die ausschließlich aus mechanischen Komponenten bestehen, nahmen in der Vergangenheit kontinuierlich ab. Elektronische Bauteilen erweitern die Funktionen des Produkts und bieten im Verbund mit der Mechanik mehr Möglichkeiten. Der Begriff Industrie 4.0 zeigt die Vernetzung von der industriellen Produktion und der Digitalisierung.

Die Umsetzung und Vorteile des digitalen Wandels werden im Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP) an der DHBW Ravensburg modelliert. Es werden Prozesstechnologien und IT-Lösungen unter dem ständigen Austausch von Daten miteinander verknüpft. Das Projekt bietet allen Unternehmen die Möglichkeit den Einfluss und die Chancen auf Produkt- und Produktionslebenszyklen zu erkennen. Studenten wird durch die Ausarbeitung von verschiedenen Themen in diesem Umfeld Wissen vermittelt, das sie in ihrer Partnerfirma einbringen können.

Das ZDP besteht aus verschiedenen einzelnen Laboren. Es gliedert sich in ein Produktionstechnisches Zentrum (PTZ) und in die Bereiche industrielle Messtechnik, Automation und Leichtbau. Im nächsten Schritt wird am Campus Fallenbrunnen ein Produktionsnetzwerk eingeführt. Es dient zur Abbildung einer realen Wertschöpfungskette mit unterschiedlichen Systemen. Diese sollen miteinander vernetzt werden und sich durch einen Selbstlernmechanismus an verschiedene Gegebenheiten anpassen.

Themen des Produktionsnetzwerks sind das Smart Product, Variantenvielfalt & Komplexität, Kreislaufwirtschaft, Digitaler Zwilling, KI in der Produktion, Mensch-Roboter-Kollaboration und Green Manufacturing.

1.2. Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit

Zur Erprobung des Produktionsnetzwerks wird im Zuge der Einführung eine einfache Baugruppe aus dem 3D-Drucker verwendet. Die einzelnen Komponenten werden an verschiedenen Stationen mit unterschiedlichen Systemen bereitgestellt und zum Teil montiert. Durch ein Transportsystem werden die einzelnen Bereiche miteinander verbunden. Auf diesem werden die Komponenten durch den Raum geführt. Für die Montage wird in dem Produktionsnetzwerk ein Arbeitsplatz für händischen Fügevorgänge benötigt. Zur Unterstützung des Arbeiters wird ein digitales Assistenzsystem verwendet. Mittels diesem Produkt wird der Montagevorgang unterstützt und gleichzeitig überwacht.

Ziel dieser Studienarbeit ist die Konzeptionierung und Realisierung des Montagearbeitsplatzes. Dabei gilt es verschiedene Prinzipien und Vorgaben zu berücksichtigen. Die Ergonomie der Werkbank spielt eine zentrale Rolle. Die Behälter für die unterschiedlichen Komponenten müssen in einem erreichbaren Greifraum für den Monteur angeordnet sein. Das digitale Assistenzsystem, welches über eine optische Erfassung mittels Kamera verfügt, muss sich in einer Symbiose mit der Anordnung der Behälter befinden. Für den gesamten Montagearbeitsplatz sollen zusätzliche bestimmte Methoden des Lean-Management berücksichtigt werden.

1.3. Aufbau der Arbeit

Um das Vorgehen zur Konzeptionierung des Arbeitsplatzes zu verstehen, werden im Folgenden die thematischen Inhalte der Arbeite aufgeführt. Den größten Block umfasst der Entwurf und die Realisierung. Dabei wird sich an der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2221 orientiert. Diese Richtlinie dient zur Entwicklung technischer Produkte und Systeme. Sie führt mittels verschiedener Schritte systematisch durch den Konstruktionsprozess. Die anderen Aspekte fließen in den Ablauf mit ein, sodass sich unterschiedliche Voraussetzungen ergeben. Beeinflusst wird der Prozess von den Umgebungsbedingungen. Neben der VDI 2221 wird in der Studienarbeit die Ergonomie am Arbeitsplatz berücksichtigt. Sie beschäftigt sich mit den Abmaßen und der Anordnung von Behältern und Werkzeug. Zusätzlich wird das digitale Assistenzsystem „ifm mate“ näher beleuchtet. Anschließend wird das Lean-Management erklärt und erläutert, welche Methoden an dem Arbeitsplatz berücksichtigt werden. Zum Schluss entsteht ein Arbeitsplatz, der all die Vorgaben kombiniert. In einem Fazit wird die Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf das weitere Vorgehen gegeben.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel der Studienarbeit werden die Grundlagen für die Entwicklung und Umsetzung des Montagearbeitsplatzes gelegt. Neben der VDI 2221 wird die Ergonomie am Arbeitsplatz, „ifm mate“ und das Lean-Management erklärt.

2.1. Der Konstruktionsprozess anhand der VDI 2221

Die Entwicklung und Umsetzung des Montagearbeitsplatzes entspricht einem Konstruktionsprozess. Für diesen Fall wird sich an der VDI 2221 bedient. Sie dient als Richtlinie bei einem Konstruktionsprozess. Die ersten Methoden zur Produktentwicklung beschrieb der VDI bereits 1970. Sie lieferten erste Grundsätze zur Vereinheitlichung der Vorgehensweise und dienten zur Verbreitung für Praxis und Theorie. Aufgrund des technischen und gesellschaftlichen Wandels ergaben sich verschiedene Änderungen. Neben dem Einsatz von elektrischen Komponenten wurden Dienstleistungen in die Prozesse und Methoden aufgenommen. In der Richtlinie werden Abläufe, die sich bewährt haben mit aktuellen Herausforderungen kombiniert. Die aktuellen Richtlinien zu Methoden der Produktentwicklung sind prozessorientierter als die Vorherigen, da dies in der aktuellen Zeit die wesentliche Aufgabe ist. Einen zentralen Standard in der Produktentwicklung bildet die VDI 2221. Sie teilt sich in zwei Blätter auf. Blatt 1 enthält die Grundlagen zu den Methoden und legt bestimmte Ziele, Aktivitäten und Arbeitsergebnisse fest. Im 2. Blatt werden beispielhaft Entwicklungsprozesse in unterschiedlichen Kontexten aufgeführt und mögliche Aktivitäten zugeordnet, die den Anwendern helfen, ihr eigenes Vorgehen und Prozesse zu reflektieren [vgl. VDI19, S. 2f.].

2.1.1. Die Konstruktionsarten

Für alle Produktentwicklungen gilt, dass der zeitliche Aufwand in einem wirtschaftlichen Verhältnis zum Nutzen stehen muss. Dies wird durch die Art des Erzeugnisses, der Stückzahl und der konstruktiven Aufgabenstellung definiert. Dabei wird unterschieden in eine Variantenkonstruktion, Anpassungskonstruktion, und Neukonstruktion. Als Variantenkonstruktion wird ein Konzept bezeichnet, dass auf der Basis einer vorhandenen Konstruktion (Referenz) an den aktuellen Auftrag angepasst wird. Bei einem Motor entspricht dies einer Leistungssteigerung. Bewährte Lösungen werden an neue Anforderungen angepasst. Der

Arbeitsaufwand ist dabei gering. Branchenübergreifend besitzt diese Art den höchsten Anteil. Bei der Anpassungskonstruktion werden einzelne Teilbereiche neu entwickelt. Beispielsweise wird ein Antrieb von hydraulisch auf pneumatisch umgerüstet. Bei dieser Art von Aufgabe werden bereits neue Prinzipien entwickelt. Wird ein Entwicklungsprozess von Anfang an durchlaufen, handelt es sich um eine Neukonstruktion. Hierbei kann auf keine bekannten Funktionsprinzipien zurückgegriffen werden. Der schöpferische Anteil des Konstrukteurs ist bei dieser Art am höchsten. Prozentual gesehen unterscheidet sich die Entwicklungsart je nach Branche. Folgende Schätzung ist in der Literatur anzutreffen. Für Neukonstruktionen fallen ca. 15 - 25%, für Variantenkonstruktionen 20 - 30% und für Anpassungskonstruktionen 45 - 60% an. Neukonstruktionen sind vor allem in Hochtechnologiebranchen wie der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie vertreten. Dies wird vor allem durch die verstärkte Kombination von unterschiedlichen Technologien erreicht [vgl. Fle19, S. 23f.].

2.1.2. Der Konstruktionsprozess

Der Konstruktionsprozess kann je nach Betrachtungsweise unterschiedlich eingeteilt werden. Die Einteilung nach der VDI Richtlinie erfolgt in acht Schritte. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Ablauf gröber in vier Phasen einzuteilen. Beide Methoden werden nachfolgend erklärt.

2.1.2.1. Übersicht der einzelnen Schritte nach VDI 2221

Der Konstruktionsprozess nach VDI 2221 wird in mehrere Schritte aufgeteilt. Der erste Arbeitsschritt umfasst die Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung. Es werden verfügbare Informationen zusammengetragen und Informationslücken erfasst. Die externen Anforderungen werden überprüft und die Aufgabenstellung aus der Sicht des Konstrukteurs festgelegt. Als Ergebnis des ersten Schrittes entsteht eine Anforderungsliste, die für den weiteren Verlauf des Konstruktionsprozesses als ständige Begleitung dient und fortlaufend aktualisiert wird. Die Anforderungen können geändert, entfernt oder hinzugefügt werden. Dabei ist es wichtig, die Änderungen zu dokumentieren. Ab einem bestimmten Zeitpunkt ist die Liste einzufrieren. Es sind keine Veränderungen mehr möglich, um einen Fertigstellungstermin absehen zu können und eine Grundlage für das weitere Vorgehen festzuhalten.

Im zweiten Arbeitsschritt wird die Gesamtfunktion und die einzelnen Teilfunktionen ermittelt. Die Gliederung und Strukturierung der einzelnen Einheiten stellen die Grundlage für die Lösungssuche dar. Als Ergebnis entsteht eine Funktionsstruktur, die in mehrere Ebenen gegliedert werden kann. Dies ist abhängig von der Komplexität des Produktes.

Als drittes werden für die analysierten Funktionen Lösungsprinzipien gesucht. Hierbei werden anders als im zweiten Schritt lösungsspezifische Ergebnisse ermittelt. Das Ziel ist es für jede Funktion mehrere Lösungen aufzustellen. Dabei wird die Gestaltausprägung vermieden, um eine möglichst hohe Varianz zu erhalten. Beispielsweise kann das Ergebnis ein morphologischer Kasten sein. Mit dessen Hilfe ist es möglich verschiedene Konzepte zu erstellen.

Im vierten Arbeitsschritt werden die Konzepte bewertet und die beste Lösung ausgewählt. Diese wird wiederum in realisierbare Module aufgeteilt. Dadurch wird bei größeren Projekten der Überblick behalten und die Zuständigkeiten verschiedenen Abteilungen oder Personen zugeordnet. Ab diesem Zeitpunkt können sich parallele Konstruktionslinien bilden. Unter Berücksichtigung der Schnittstellen können die einzelnen Baugruppen gleichzeitig entwickelt und produziert werden.

Als fünftes und sechstes werden die maßgebenden Module definiert und gestaltet. Es wird eine Vorgestalt des Produktes definiert. Durch eine grobe Konkretisierung, beispielsweise der Geometrie oder des Werkstoffs kann im weiteren Verlauf ein Gestaltoptimum gefunden werden.

Im siebten Arbeitsschritt wird die Detaillierung vorgenommen. Hierbei wird auch von der Feingestaltung gesprochen. Alle Detailangaben der Baugruppe und der Einzelteile werden endgültig festgelegt. Als Ergebnis entsteht ein Gesamtentwurf mit maßstäblicher Zeichnung und vorläufiger Stückliste.

Als letztes wird ein komplette Produktdokumentation mit Nutzerangaben erstellt. Dies beinhaltet Einzelteilzeichnungen, Fertigungshinweise, Gruppenzeichnungen, Stücklisten, Montagehinweise, Betriebsanleitungen, Mess-, Transport- und Lagerungsvorschriften. Bei Bedarf können Einzelteile für eine bessere Zeit- und Kostenwirtschaft noch geändert werden, um beispielsweise die Durchlaufzeiten in der Fertigung oder die Qualitätsanforderungen zu verbessern.

In allen Arbeitsschritten müssen Optimierungs- und Entscheidungsschritte durchgeführt werden, um ein möglichst gutes Ergebnis zu erreichen. Es ist darauf hinzuweisen, dass die sieben Arbeitsschritte nicht starr nacheinander werden. Ein Entwicklungsprozess ist ein iterativer Prozess. Das bedeutet, dass bei Notwendigkeit ein oder mehrere Schritte zurückgegangen werden kann, um ein besseres Ergebnis zu erreichen [vgl. VDI19, S. 33ff.].

In der Abbildung 2.1 ist der Prozess nach VDI 2221 dargestellt.

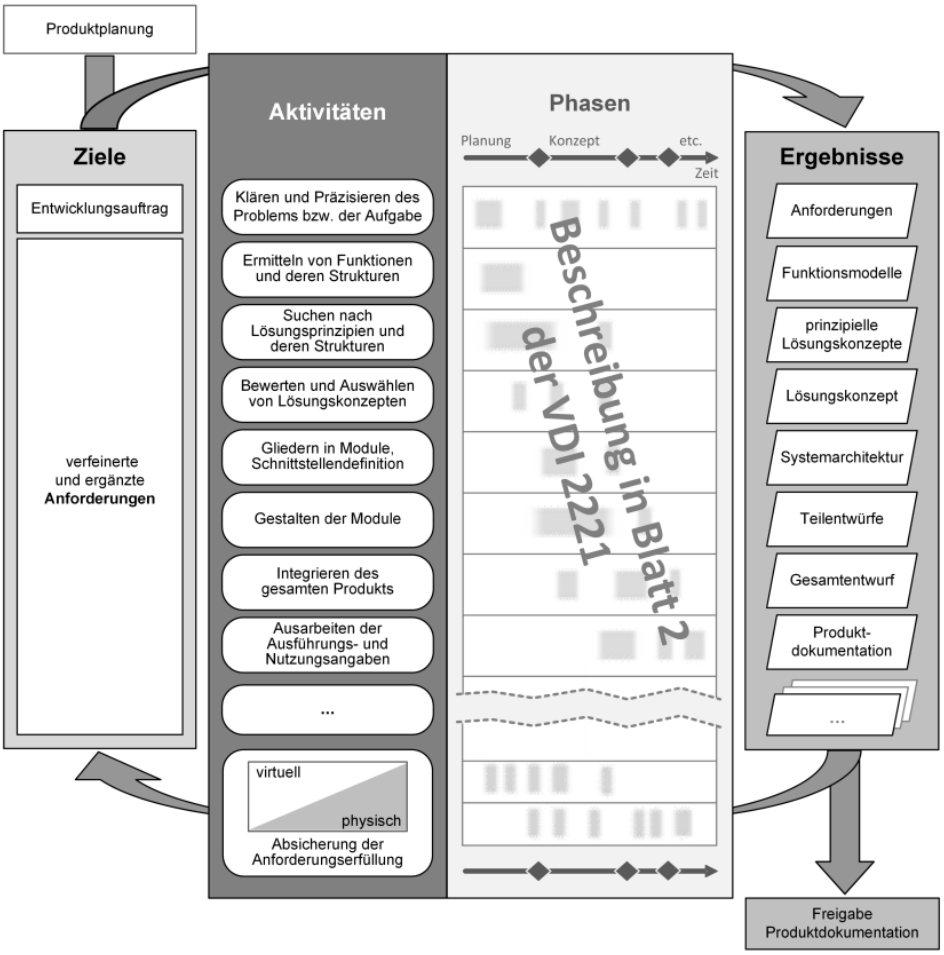


Abbildung 2.1.: Allgemeines Modell der Produktentwicklung [VDI19, S. 31]

2.1.2.2. Einteilung in die vier Hauptphasen

Die acht beschriebenen Schritte in der VDI Richtlinie können in vier Phasen zusammengefasst werden. Die erste Phase nennt sich „Planen“ und enthält den ersten Schritt Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.

Die zweite Phase heißt „Konzipieren“ und beinhaltet die Arbeitsschritte zwei, drei und vier. Das Bauteil wird in seine Funktionen aufgeteilt, es werden entsprechende Lösungen gesucht und die Beste ausgewählt.

In der dritten Phase folgen die Schritte fünf, sechs und sieben. Dieser Abschnitt wird „Entwerfen“ genannt. Es entstehen maßstäbliche Vorentwürfe, die in einem iterativen Prozess verbessert werden.

Die letzte Phase heißt „Ausarbeiten“ und enthält den letzten Schritt der VDI Richtlinie. Damit ist gemeint, dass alle für die Fertigung des Produkts erforderlichen Dokumente zu erstellen sind. Es hat die endgültige Festlegung aller Maße, Toleranzen, Leistungsdaten, Sicherheitshinweise und Betriebsanleitungen zu erfolgen [vgl. NK22, S. 175ff.].

Die Abbildung 2.2 zeigt, welche Phasen bei den entsprechenden Konstruktionsarten anfallen. Bei einer Neukonstruktion werden alle Abschnitte durchlaufen. Somit entsteht hierbei der größte Arbeitsaufwand. Bei der Anpassungskonstruktion sind die Anforderungen bereits klar definiert. Der Konstrukteur kann den ersten Schritt überspringen und direkt in die Konzeptphase einsteigen. Am wenigsten Aufwand bringt die Variantenkonstruktion mit sich. Sowohl die Anforderungen als auch das Konzept ist festgelegt und der Bearbeiter beginnt in der Phase des Entwurfs.

Konstruktionsarten	Teilprozesse der Produktentwicklung				Rechner-unterstützung
	Projektdefini-tionsprozess	Konzept-prozess	Entwurfs-prozess	Ausarbei-tungsprozess	
Neukonstruktion Neukonstruktion Entwicklungskonstruktion Angebotskonstruktion	Neukonstruktion Entwicklungskonstruktion Angebotskonstruktion				• Völlig neue Entwicklung unter Durchlaufen aller Konstruktionsphasen mit Unterstützung durch CAE/CAD/CAM
Anpassungskonstruktion Anpassungskonstruktion Angebotskonstruktion Fertigungskonstruktion Änderungskonstruktion		Anpasstingskonstruktion Angebotskonstruktion Fertigungskonstruktion Änderungskonstruktion			• Suche nach ähnlichen Teilen • Teilweise Modifikation • Teilweise neue Auslegung • Neue Optimierung
Variantenkonstruktion			Variantenkonstruktion		• Teilweise Modifikation der Gestalt (Topologie) • Automatisierte Varianten-ableitung • Parametrische Verfahren
Konstruktion mit festem Prinzip				Festes Prinzip	• Teilweise Modifikation von Abmesstngen • Varianten-programmierung • Parametrische Verfahren

Abbildung 2.2.: Konstruktionsarten mit Prozessanteil [Kir20, S. 8]

2.2. Ergonomie am Arbeitsplatz

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Grundlagen für den Konstruktionsprozess gelegt wurden, folgen in diesem Teil ergonomische Aspekte für den Arbeitsplatz. Es ist für die spätere Realisierung von Bedeutung, um gesundheitliche Schäden des Arbeiters zu vermeiden und die Montage möglichst effizient zu gestalten. Dies bedeutet niedrige Taktzeiten, die zu geringen Herstellungskosten führen. In der heutigen Zeit wird Ergonomie bei Produkten zunehmend zu einem Qualitätsmerkmal.

2.2.1. Einführung in die Ergonomie

Die Ergonomie beschäftigt sich dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik. Sie wird als die Lehre von der menschlichen Arbeit definiert. Hierfür bedarf es dem Wissen zwischen den Leistungsvoraussetzungen eines Menschen und den ökonomischen Zusammenhängen. Es wird differenziert zwischen körperlicher und geistiger Arbeit. Je nach angewendetem Bereich wird in Produktergonomie und Produktionsergonomie unterschieden. Auf diese Weise wird die Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Mitar-

beiter bei der Herstellung von Waren, Arbeitsmitteln und in der Dienstleistungsbranche bewirkt. Außerdem wird durch die Auswahl geeigneten Personals und durch Fortbildungen Der Arbeiter als Mensch weiterentwickelt.

2.2.1.1. Voraussetzungen für menschengerechte Gestaltung der Arbeit

Für die Gestaltung der Arbeit gilt, dass sie folgende Voraussetzungen erfüllen sollte:

- Arbeit muss ausführbar und erträglich sein
- Arbeit sollte zumutbar und zufriedenstellend sein

Ausführbarkeit bedeutet, die Körpermaße zu berücksichtigen und dem Personal die Möglichkeit zu geben, jede Stelle im Arbeitsbereich ohne Hilfsmittel zu erreichen. Des Weiteren muss die Körperkraft größer sein, als die erforderliche Muskelkraft um Teile zu bewegen oder zu montieren. Zur Beurteilung werden Normen über Körpermaße und Körperkräfte verwendet. Erträglichkeit befasst sich mit der Möglichkeit die Aufgabe bei täglicher Wiederholung über das gesamte Arbeitsleben ohne Beeinträchtigung der Gesundheit ausführen zu können. Beispielsweise darf auftretender Lärm eine für das Gehör schädigende Grenze nicht überschreiten. Zusätzlich ist bei körperlicher Belastung auf die dauerhafte Erträglichkeit zu achten. Hierfür sind Normen und medizinische Vorschriften zu beachten.

Im zweiten Punkt wird die Zumutbarkeit als Faktor genannt. Dabei handelt es sich um eine sozialwissenschaftliche Frage. Sie ist mit Methoden der Ergonomie und Arbeitsmedizin nicht zu beantworten. Bei der Zufriedenheit spielt die Persönlichkeitsförderung eine Rolle. Es ist zu berücksichtigen, ob der Betroffene mit der Arbeit zufrieden ist. Identisch zu der Zumutbarkeit wird auf diese Frage mit psychologischen und sozialwissenschaftlichen Methoden geantwortet [vgl. BGH13, S. 4ff.].

2.2.1.2. Ergonomie und Wirtschaftlichkeit

Bereits in der Einführung dieses Absatzes wurde erwähnt, dass eine ergonomische Gestaltung zur Erhöhung der Produktivität, Motivation und Wettbewerbsstärke führt. Die Ausgaben für einen menschengerechten Arbeitsplatz konkurrieren mit anderen Investitionen. Der Nachweis für einen wirtschaftlichen Nutzen ist schwerer als beispielsweise bei einer Maschine. Infolgedessen müssen für diese Ausgaben Faktoren, die den Arbeits- und Gesundheitsschutz berücksichtigen, miteinbezogen werden. Dazu gehören Arbeitsunfälle und Krankheitstage. Auf diese Weise lassen sich die Investitionen rechtfertigen. Zuwendung und Aktivitäten dieser Art verbessert sich unter anderem das allgemeine Betriebsklima. Werden die ergonomischen Aspekte bereits in der Produktentwicklung beachtet, fallen diese deutlich geringer aus, als wenn sie erst im Nachhinein eingeführt werden [vgl. BGH13, S. 7f.].

2.2.2. Anthropometrische Gestaltung

Nachdem im vorherigen Absatz die Voraussetzungen und wirtschaftlichen Gründe für einen ergonomischen Arbeitsplatz begründet wurden, werden in diesem Abschnitt die Einflussgrößen bestimmt. Die Anthropometrie ist die Lehre von der Ermittlung und der Anwendung der Maße und Massen des menschlichen Körpers. Das Teilgebiet Biomechanik der Ergonomie untersucht und beurteilt menschliche Bewegungen in Zusammenhang mit Form und Dimensionierung von Stellteilen. Die folgenden Anforderungskategorien lassen sich daraus ableiten [vgl. Sch22, S. 103f.]:

- Sicherheit
- Erreichbarkeit
- Ausreichender Bewegungsraum,
- Physiologisch günstige Körperhaltung
- Sicheres und ermüdungsarmes Handhaben
- Optimierung der Sichtgeometrie

2.2.2.1. Abmessungen des menschlichen Körpers

Die Maße für des Menschen sind entscheidend für eine ergonomische Auslegung des Arbeitsplatzes. Sie unterscheiden sich jedoch nicht zur zwischen den Geschlechtern, sondern auch innerhalb eines Geschlechts gibt es große Abweichungen. Über die Gesamtbreite verteilt, lässt sich eine Normalverteilung feststellen. Die Abmessungen anhand eines Durchschnittsmenschen zu definieren ist nicht sinnvoll. Beispielsweise wäre eine Tür auf diese Weise für 50% der Leute zu klein und sie würden sich den Kopf anstoßen. Hierfür wird das Perzentil einer Bevölkerungsgruppe verwendet. Der Perzentilwert gibt an, wie viel Prozent der Menschen in Bezug auf ein bestimmtes Maß darunter liegen. Tabelle 2.1 enthält die Perzentile bezogen auf die Körpergröße der in Deutschland lebenden Personen aus den Jahren einer Untersuchung von 1999 bis 2002. Diese stammen aus der Norm DIN 33402 [Deu20, S. 10]. Für die Auslegung eines Produktes wird in der Regel auf das

Tabelle 2.1.: Körpergröße in Millimeter in Deutschland zwischen 1999 und 2002

	5. Perzentil	50. Perzentil	95. Perzentil
Frauen	1535	1625	1720
Männer	1650	1750	1855

5. Perzentil der Frauen und das 95. Perzentil der Männer zurückgegriffen. Dadurch wird

der größte Teil der Bevölkerung abgedeckt. Zu berücksichtigen gilt dabei, dass die Daten neben dem Geschlecht vom Alter und der Region abhängig sind [vgl. Sch22, S. 105ff.]. Abbildung 2.3 gibt einen Überblick über verschiedene Körpermaße, die in der DIN 33402-2 zu finden sind.

Abmessungen [cm]		Perzentile					
		Männlich			Weiblich		
		5.	50.	95.	5.	50.	95.
1	Reichweite nach vorn	68,5	74,0	81,5	62,5	69,0	75,0
2	Körpertiefe	26,0	28,5	38,0	24,5	29,0	34,5
3	Reichweite nach oben (beidarmig)	197,5	207,5	220,5	184,0	194,5	202,5
4	Körperhöhe	165,0	175,0	185,5	153,5	162,5	172,0
5	Augenhöhe	153,0	163,0	173,5	143,0	151,5	160,5
6	Schulterhöhe	134,5	145,0	155,0	126,0	134,5	142,5
7	Ellbogenhöhe über Standfläche	102,5	110,0	117,5	96,0	102,0	108,0
8	Höhe der Hand über Standfläche	73,0	76,5	82,5	67,0	71,5	76,0
11	Körpersitzhöhe (Stammlänge)	85,5	91,0	96,5	81,0	86,0	91,0
12	Augenhöhe im Sitzen	74,0	79,5	85,5	70,5	75,5	80,5
13	Ellbogenhöhe über Sitzfläche	21,0	24,0	28,5	18,5	23,0	27,5
14	Länge des Unterschenkels mit Fuß	41,0	45,0	49,0	37,5	41,5	45,0
15	Ellbogen-Griffachsen-Abstand	32,5	35,0	39,0	29,5	31,5	35,0
16	Sitztiefe	45,0	49,5	54,0	43,5	48,5	53,0
17	Gesäß-Knie-Länge	56,5	61,0	65,5	54,5	59,0	64,0
18	Gesäß-Bein-Länge	96,5	104,5	114,0	92,5	99,0	105,5
19	Oberschenkelhöhe	13,0	15,0	18,0	12,5	14,5	17,5

Abbildung 2.3.: Ausgewählte Körpermaße von unbekleideten Personen [Sch22, S. 110]

2.2.2.2. Funktionsmaße

Nach der Erklärung und Auflistung der Körpermaße, beschäftigt sich dieser Abschnitt mit den Funktionsmaßen. Dabei wird unterschieden in Aktionsräume, Bewegungsraum und Sicherheitsmaß. Bei dem Ersten handelt es sich um die Erreichbarkeit und Sichtbarkeit von Gegenständen. Beim Zweiten wird die Körperbewegung sichergestellt, um nicht eingeschränkt zu werden. Letzteres gewährleistet Gefahrstellen zu vermeiden. Die Funktionsmaße werden neben dem menschlichen Körper von der Art der auszuführenden Tätigkeit bestimmt [vgl. Sch22, S. 117f.].

Bei der ergonomischen Gestaltung des Greifraums gelten folgende Grundsätze: Alle Behälter, Vorrichtungen und Bedienelemente sollten gut zugänglich im physiologischen Bewegungsbereich des Menschen angeordnet sein. Drehen des Rumpfes und Schulterbe-

wegungen, insbesondere auch unter Last (Gewichte $\geq$ 1kg), sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Greifraumbereiche sind in Abbildung 2.4 dargestellt. Bereich 1 ist optimal für die Beidhandarbeit geeignet. Beide Hände erreichen in diese Zone und sie liegt im Gesichtsfeld des Mitarbeiters. Damit ist sie geeignet für feinmotorische Bewegungen, Handhabung geringer Gewichte sowie für hohe Kontroll- und Koordinationsanforderungen. In diesem Bereich werden reine Unterarmbewegungen ausgeführt, sodass kleinere Muskelgruppen im Einsatz sind. Es ist die Fläche für die Werkstückaufnahme, den Werkstückträger oder Vorrichtungen. Im Bereich 2 werden grobmotorische Bewegungen ausgeführt. Es ist die Zone für Werkzeuge und Teile, die oft einhändig gegriffen werden. Es werden Ober- und Unterarmbewegungen ohne Schulterbewegung und Rumpfdrehung ausgeführt. Bereich 3 ist ausgelegt für gelegentliche Handhabungen, z.B. von Leerbehältern oder Teileweitergabe in den Bewegungsbereich des nächsten Mitarbeiters. Hierbei werden Schulter- und Rumpfbewegungen benötigt [vgl. Rex, S. 117f.].

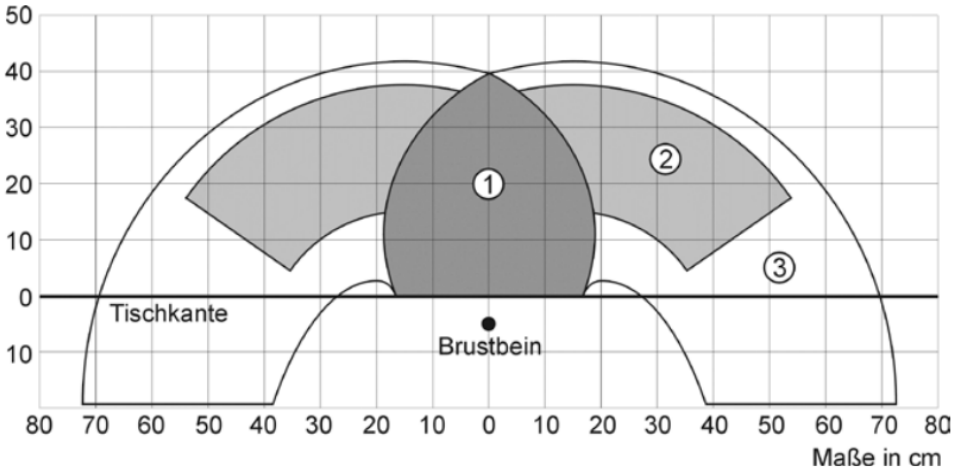


Abbildung 2.4.: Darstellung ergonomischer Greifräume [vgl. Tec15, S. 16]

Als nächstes Funktionsmaß wird auf die Sehbedingungen eingegangen. Bei fast allen Arbeiten wird der Ablauf visuell gesteuert. 80 bis 90% der Sinneseindrücke nehmen wir mit dem Auge auf. Der Sichtbereich ist klein. Zur Vergrößerung werden die Augen oder der Kopf bewegt. Dies führt dazu, dass die Augen bei einer veränderten Position eine neue Fokussierung vornehmen müssen. Der Vorgang kostet Zeit und Energie. Daher sollten Arbeitsplätze so gestaltet werden, dass Augen- und Kopfbewegungen auf ein Minimum reduziert werden. Der Sehraum wird durch die Sehachse und die Größe des Gesichts-, Blick und Umblickfeldes definiert. Objekte, die ohne Kopf- und Augenbewegungen wahrgenommen werden können, befinden sich im Gesichtsfeld. Das Blickfeld beschreibt den Bereich, der bei unbewegtem Kopf mit Bewegung der Augen wahrgenommen wird. Objekte, die durch die Veränderung der Kopf- und Augenposition gesehen werden, befinden sich im Umblickfeld. Zusätzlich zur horizontalen Ausrichtung des Sehfeldes, definiert der Blickwinkel die vertikale Wahrnehmung. Er unterscheidet sich zwischen Sitz- und

Steharbeitsplätzen. Für erstere beträgt er ungefähr 40° und für letztere circa 30°. Ein zu großer Blickwinkel führt über längere Zeit zu gesundheitlichen Beschwerden [vgl. BGH13, S. 18f.]. Abbildung 2.5 zeigt die Schematische Darstellung der Gesichts-, Blick- und Umblicksfelder.

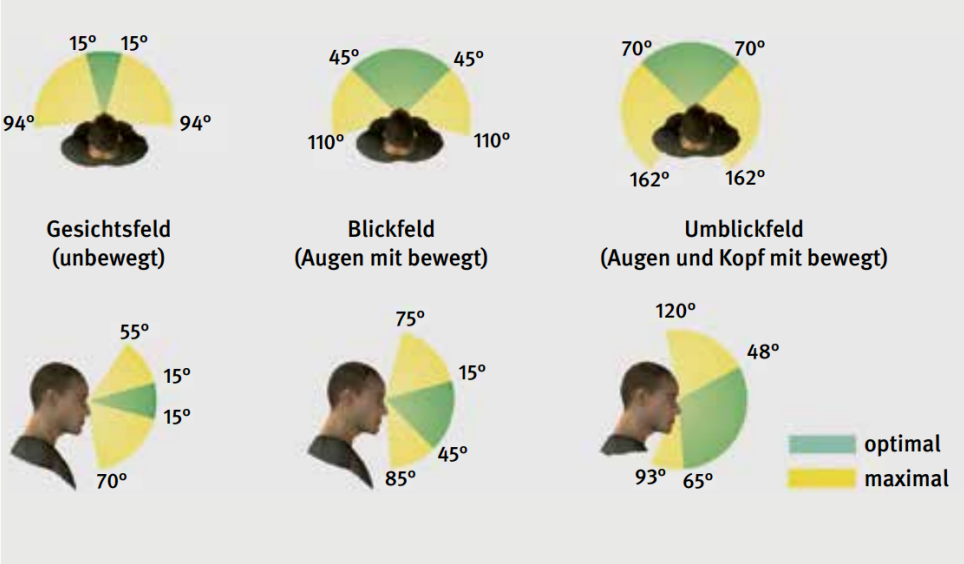


Abbildung 2.5.: Schematische Darstellung der Gesichts-, Blick- und Umblicksfelder [vgl. BGH13, S. 18]

Im letzten Abschnitt wird auf die Höhe der Arbeitsplatzes eingegangen. Damit ist die Stelle gemeint, an der die hauptsächliche Montage des Werkstücks vorgenommen wird. Bei höhenverstellbaren Arbeitsplätzen kann die passende Arbeitshöhe im Sitzen oder Stehen durch den Anwender selbst ermittelt und eingestellt werden. Die Höhe der Wirkstelle sollte für Montagetätigkeiten mit mittlerem Kraft- und Sehaufwand auf Ellenbogenhöhe der beschäftigten Person liegen. Bei hohen Sehanforderungen (z.B. bei sehr kleinen Bauteilen) liegt die Empfehlung zur Arbeitshöhe um ca. 10–15 cm höher als die Ellenbogenhöhe. Sind hohe Kräfte aufzubringen, wird eine Arbeitshöhe ca. 10–15 cm niedriger als die Ellenbogenhöhe empfohlen [vgl. Deu19, S. 7f.]. Die optimale Arbeitshöhe wird in Abbildung 2.6 dargestellt.

Zur exakten Bestimmung der Arbeitshöhe A wird die DIN 33406:1988 herangezogen. Nachfolgend ein Beispiel, in dem ein Steharbeitsplatz für mittlere visuelle und feinmotorische Koordination angenommen wird. Diese Annahme entspricht dem Arbeitsvorgang für das reale Produkt. Mit den Werten aus Abbildung 2.6 wird nach der Formel 2.2 das Maß berechnet. $H_{2-Mittel}$ beschreibt die mittlere Arbeitshöhe für Männer und Frauen. Sie ergibt sich aus Formel 2.1. C entspricht der Werkstückhöhe. Für dieses Beispiel ist $C = 50\,\text{mm}$

$$H_{\text{2-Mittel}} = 0,5 * H_{\text{2-F5}} + H_{\text{2-M95}} = 0,5 * (1000\,\text{mm} + 1250\,\text{mm}) = 1125\,\text{mm} \tag{2.1}$$

$$A = H_{\text{2-Mittel}} - C = 1125\,\text{mm} - 50\,\text{mm} = 1075\,\text{mm} \tag{2.2}$$

Arbeitsanforderungen an ▪ visuelle Kontrolle ▪ Feinmotorische Koordination	Beispiele F – Frau M – Mann	Arbeitshöhe							
		H_1 (sitzend) Perzentil				H_2 (stehend) Perzentil			
		5.		95.		5.		95.	
		F	M	F	M	F	M	F	M
HOCH	Justagearbeiten, visuelle Kontrolltätigkeiten, Montieren kleinster Einzelteile	400	450	500	550	1100	1200	1250	1350
MITTEL	Verdrahtungsarbeiten, Montieren kleiner Teile mit geringem Kraftaufwand	300	350	400	450	1000	1100	1150	1250
GERING hohe Anforderungen an Bewegungsfreiheit der Arme	Sortierarbeiten, Montieren schwerer Werkstücke mit erhöhtem Kraftaufwand, Verpackungsarbeiten	250		350		900	1000	1050	1150

Abbildung 2.6.: Arbeitshöhen in Bezug zur Arbeitsaufgabe [vgl. Erg, S. 8]

In diesem Fall wird eine Höhe der Arbeitsplatte bei einem Steharbeitsplatz von 1075 mm errechnet [vgl. Erg].

2.3. Assistenzsysteme in der Montage

Während der Montage wird der Werker von einem Assistenzsystem bei dem Vorgang unterstützt. Dieser Abschnitt dient zur Einführung in die Möglichkeiten, die diese Systeme bieten. Das in dem Beispiel dieser Studienarbeit eingesetzte „ifm mate“ wird erklärt. Es zählt zu den digitalen Unterstützungsprogrammen. Die Arbeit am Montageplatz wird in zwei Schritte geteilt. Erstens die Auswahl und Bereitstellung der Komponenten und zweitens der Fügevorgang. Die Bereitstellung und Auswahl der einzelnen Komponenten gleicht der Kommissionierung von Waren. Eine ganze Lagerhalle wird durch den Arbeitsplatz ersetzt, an dem die Anzahl der zu montierenden Teile ausgewählt werden. Daher wird im Folgenden auf die verschiedenen Kommissionierverfahren eingegangen.

2.3.1. Verschiedene Kommissioniermethoden zur Auswahl von Komponenten

2.3.1.1. Pick-by-Paper

Das erste Verfahren ist Pick-by-Paper. Trotz zunehmender Digitalisierung ist es immer noch eines der am weitesten verbreiteten Verfahren. Der Kommissionierer erhält eine Liste mit Angaben zum Lagerort der Ware und der zu entnehmenden Menge und geht damit durchs Lager. Das Kommissionieren mit der Papierliste ist einfach und kostengünstig in der Anwendung. Der Nachteil dieser Methode ist die Fehleranfälligkeit, die bei hoher Stückzahl in geringer Zeit stark zunimmt. Die Gesamtperfomance nimmt dadurch ab.

2.3.1.2. Pick-by-Scan

Die moderne Erweiterung des Pick-by-Paper ist das Pick-by-Scan. Die Informationen werden in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Der Mensch greift auf mobile Scanner zurück, die direkt mit dem übergeordneten Kommissioniersystem verbunden sind. Pick-by-Scan ist ein System, das beispielsweise im Einzelhandel häufig eingesetzt wird. Der Nachteil der bei beiden genannten Methoden zum Tragen kommt, ist dass die Hände nicht für die Haupttätigkeit des Kommissionierens frei sind.

2.3.1.3. Pick-by-Light

Pick-by-Light ist eine Kommissioniermethode, die ihren Vorteil in Lagern mit einem hohen Durchlauf und großen Artikelmengen zeigt. Der Werker wird mit Lichtsignalen durch das Lager geführt. Diese sind in Displays und Tasten an den Lagerregalen angebracht. Direkt am Regalfach dokumentiert der Kommissionierer seine Aktion. Die Entnahme der Ware oder die Befüllung des Lagerplatzes beim „Put-to-Light“-Prozess. Nachteilig bei dieser Methode wirken sich die höheren Startinvestitionen und die geringe Flexibilität aus.

2.3.1.4. Pick-by-Voice

Die bisher genannten Methoden zählen zu der visuellen Erkennung. Eine weitere Möglichkeit bieten akustische Signale. Beim Pick-by-Voice erhält der Arbeiter den Auftrag direkt auf sein Ohr. Über ein Headset wird er von einer computergenerierten Stimme durch das Lager zu den Artikeln geleitet. Der Kommissionierer kommuniziert direkt mit dem übergeordneten System. Vorteil hierbei ist, dass der Kommissionierer beide Hände zur freien Verfügung hat. Dies hat einen hohen ergonomischen Stellenwert und die Konzentration wird auf die Haupttätigkeit gelegt. In der Praxis wirkt sich das ständige Zuhören und die Möglichkeit zur Verifizierung des beispielsweise korrekten Lagerplatzes als nachteilig aus.

2.3.1.5. Pick-by-Vision

Das letzte Verfahren basiert erneut auf dem visuellen Aspekt. Pick-by-Vision beschreibt das Kommissionieren mit Datenbrillen. Dadurch ermöglicht es eine visuelle Führung durch das Logistikzentrum und leitet durch den gesamten Picking-Prozess. Hierbei werden die Vorteile von Pick-by-Light und Pick-by-Voice vereint. Der Arbeiter wird visuell durch das Lager geführt, welches durch die in Echtzeit erhaltbare Daten flexibel gestaltet werden kann. Ein in die Datenbrille integrierter Barcodescanner ermöglicht zusätzlich ein unkompliziertes und entspanntes Arbeiten. Somit besteht jederzeit die Sicherheit und die Möglichkeit, Lagerplätze, Artikel oder Artikelnummern zu prüfen. Durch das erforderliche Scannen wird verifiziert, das der richtige Artikel gepickt wurde. Der Kommissionierer hat die Hände frei und erhält eine Bestätigung, wenn der Auftrag erfolgreich abgearbeitet ist [vgl. pic].

2.3.2. Das digitale Assistenzsystem „ifm mate“

Mittels „ifm mate“ wird die Lücke zum Fügevorgang geschlossen. „mate“ steht für „manual assembly training engineer“ und bedeutet übersetzt „die beim Handwerk helfende Person“. Das System gibt dem Werker die Möglichkeit die richtige Art und Anzahl der Komponente auszuwählen und im nächsten Schritt am Bauteil zu montieren. Das System verfügt über eine Kamera, mit der der Arbeitsbereich des Monteurs überwacht wird. Die Hände des Werkers werden über die 2D/3D-Erkennung identifiziert und werden in ihrer Position verfolgt und registriert. Mittels Software werden in dem erfassten Kamerabereich verschiedene Abschnitte markiert. Diese Segmente enthalten je nach Bedarf beispielsweise Kleinladungsträger, Werkzeug oder Arbeitsbereiche. Durch die Erkennung der Hände wird dem Werker auf einem Bildschirm mitgeteilt, in welchem Segment seine nächste Arbeitsaufgabe stattfindet und was er zu bewerkstelligen hat, indem der nächste Abschnitt in einer bestimmten Farbe aufleuchtet. Dies führt dazu, dass das Werkzeug eingesetzt wird oder Komponenten entnommen und montiert werden. Die Anleitung hierfür wird einmalig zu Beginn der Einrichtung für eine Anwendung in dem Programm hinterlegt. Führt der Arbeiter einen falschen Schritt aus, erkennt das System dies an der falschen Handposition im Gegensatz zum richtigen Vorgehen. Auf dem Bildschirm wird eine Warnung ausgegeben.

Beispielaufgaben die mit „ifm mate“ durchgeführt werden können, sind Verpacken, Montieren und Trainieren. Durch die Überwachung der Verpackungsaufgabe wird vermieden, dass falsche Komponenten versendet oder Teile vergessen werden. Dies führt zu einer geringeren Reklamationsquote und erhöht die Qualität. Gleiches für das Montieren. Eine falsche und unsachgemäße Montage wird verhindert. Dadurch werden Kosten für die Nacharbeit gespart. Eine weitere Tätigkeit, für die das System geeignet ist, ist das Trainieren. Das Einarbeiten von neuen Mitarbeitern ist zeit- und kostenintensiv. Mit „ifm mate“ wird die teure Trainingsperson eingespart, indem das System diese Aufgabe übernimmt [vgl. ifm].

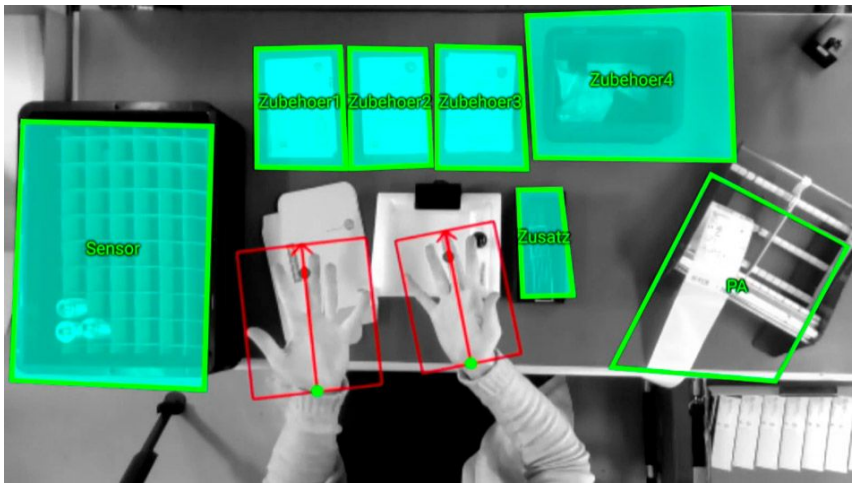


Abbildung 2.7.: Beispielbild einer „ifm mate“ Ansicht [vgl. ifm]

Für die Montage der Kamera sind ein zwei wesentliche Aspekte zu berücksichtigen. Je nach Anordnung der Behälter erfolgt die Anbringung schräg oder genau senkrecht zur Arbeitsplatte. Die einwandfreie Sicht in die Kleinladungsträger und auf das Werkzeug muss gewährleistet sein. Es darf nichts von anderen Gegenständen verdeckt sein. Die zweite Anforderung ist der Abstand der Kamera zu dem zu erfassenden Artikeln. Je weiter entfernt, desto größer ist der Bereich, der aufgenommen wird. In Tabelle 2.2 sind die dazugehörigen Werte enthalten [vgl. ifm].

Tabelle 2.2.: Abstand der Kamera und erfasster Bereich

Arbeitsabstand [cm]	**erfasster Bereich**
100	130 x 70
150	200 x 110
200	270 x 150

2.4. Lean Production am Arbeitsplatz

Der Aufbau des Arbeitsplatzes als neue Konstruktion bietet die Möglichkeit von Beginn an Aspekte des Lean-Managements zu berücksichtigen. Im Folgenden wird das Prinzip im Allgemeinen erläutert und verschiedene Methoden, die an dem Arbeitsplatz berücksichtigt werden sollen, aufgeführt.

2.4.1. Allgemeine Erklärung der Lean Production

Der Begriff Lean Management behandelt die Prozessbetrachtung im gesamten Unternehmen. Übersetzt bedeutet es „schlankes Management“. Die Lean Production konzentriert sich dabei auf den Produktionsablauf. Die Faktoren Personal, Produktionsfläche, Zeit und Lagerbestände werden sparsamer eingesetzt als in der Massenfertigung. In der Massenfertigung werden Waren und Produkte auf Vorrat produziert. Dies bedeutet hohe Lagerbestände und dementsprechender Platz wird benötigt. Beim der Lean Production fokussiert sich das Unternehmen darauf, Verschwendungen auf allen Ebenen zu beseitigen, welche beim Einsatz verschiedener Produktionsfaktoren entstehen. Dies beinhaltet, bezogen auf die Fertigung, unter anderem Planung, Personal, Werkstoffe und Betriebsmittel. Es bedeutet diese Punkte sparsam einzusetzen. Der Kunde steht mit seinen Interessen im Mittelpunkt und ist das Ziel jeder Handlung. Das richtige Produkt, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge und in der richtigen Qualität bereitzustellen ist der Kern des Prozesses [vgl. HFS21, VIIf.].

2.4.2. Methoden der Lean Production

Im Folgenden werden mehrere Methoden vorgestellt, die auf den Arbeitsplatz angewendet werden. Dabei wird das Lean Regal, die Kanban Methode und das 5S-Prinzip genauer betrachtet.

2.4.2.1. Das Lean Regal

Die erste Methode beschreibt das Lean Regal. Es ist nicht zu der typischen Theorie zu zählen. Dennoch ist es möglich bei dieser Kategorie von Organisation viele Aspekte umzusetzen. Standardregale bei der Massenfertigung haben beispielsweise folgende Probleme. Wird ein Behälter entnommen, muss der hintere Behälter von Hand nachgezogen werden. Die oberen Ebenen können je nach Konstruktion nur mittels Leiter erreicht werden. Die Bestückung der Regale erfolgt nach dem First in - Last out Prinzip. Behälter die durch die Logistik zuerst von vorne in das Regal gestellt werden, werden in der Folge als letztes wieder durch die Produktion entnommen. Logistik und Produktion kommen sich bei der Befüllung beziehungsweise Entnahme in die Quere. Ein reibungsloser Ablauf ist bei dieser Art von Regal nicht gewährleistet. Beispielhaft ist ein solches regal in der Abbildung 2.8 zu sehen.



Abbildung 2.8.: Aufbau eines Regals in der Massenfertigung [vgl. HFS21, S. 120]

Im Gegensatz zu dem Regal in der Massenfertigung wird in der Lean Production auf Aspekte der Ergonomie, der Logistik und Produktion geachtet. Auf diese Weise entsteht ein neues Regal, welches optimal an eine schlanke und flexible Produktion angepasst ist. Die Bahnen in denen die Behälter gelagert sind, werden mit einer entsprechenden Neigung versehen. Dadurch rutschen sie von allein nach, ohne dass Kraft aufgewendet werden muss. Die Bahnen werden meistens mit gleitfähigen Oberflächen oder Rollen ausgestattet. Die Tiefe des Regals wird auf mindestens zwei Behälter ausgelegt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass von jedem Erzeugnis mindestens ein Ersatz vorhanden ist. Die Konstruktion des Regals versetzt die oberen Etagen ein Stück nach hinten. Dadurch wird auf die darunterliegenden Ebenen besser eingesehen. Gleichzeitig ermöglicht es eine einfachere Entnahme der einzelnen Behälter. Bei denen einzelnen Etagen ist auf eine ergonomische Höhe zu achten, da die Gesundheit des Arbeiters eine entscheidende Rolle spielt. Die Arbeitswege der Produktion und Logistik werden voneinander getrennt. Die Befüllung des Regals wird von einer anderen Seite durchgeführt als die Entnahme. Gleichzeitig wird eine Behälterrückführung eingebaut, um leere Behälter auf kürzestem Weg wieder zur Logistik zurückzubringen. Die Befüllung und Entnahme von verschiedenen Seiten ermöglicht die Umsetzung der Fist in - First out Prinzips. Erzeugnisse, die von der Logistik zuerst in dem Regal eingelagert werden, werden von der Produktion zuerst entnommen. Auf diese Weise wird verhindert, dass die Ware an Qualität verliert. Abbildung 2.9 zeigt das neue Regal nach den Lean Prinzipien [vgl. HFS21, 119ff.].



Abbildung 2.9.: Aufbau eines Regals in der Lean Production [vgl. HFS21, S. 121]

2.4.2.2. Die Kanban Methode

Bei Kanban (japanisch für Kan = Signal; Ban = Karte) handelt es sich um eine Methode der selbststeuernden Produktion. Sie ist nach dem Pull Prinzip ausgerichtet. Der Materialfluss ist vorwärts und der Informationsfluss rückwärts gerichtet. Dies bedeutet, dass das Material von der Produktion zum Konsumort läuft und die Informationen vom Konsumort zur Produktion. Eine übergeordnete zentrale Steuerung entfällt. Kanban wird als Methode gesehen, Signale mit den notwendigen Informationen zu übermitteln.

Um den Vorteil von Kanban zu verstehen, wird zuerst auf das gegenteilige Push Prinzip eingegangen. Dabei werden Produktion und Materialfluss in einer Fertigungsanlage durch eine zentrale Einheit gesteuert. Ein vorausgelegter Plan sorgt dafür, dass Materialien, Teile und Produkte zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, am richtigen Ort in der Produktionskette vorhanden sind. Zur Steuerung werden dabei Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme verwendet, die Zugriff auf alle Produktionsprozesse und Ressourcen haben. Die Arbeitsschritte des Produktionsprozesses werden zeitlich exakt festgelegt. Die Vorteile des Push-Prinzips sind, dass alle Waren entlang der Kette in hohem Maße verfügbar sowie Maschinen und Mitarbeiter ausgelastet sind. Eine hohe Lieferfähigkeit ist gewährleistet. Nachteilig ist eine hohe Kapitalbindung durch große Lagerbestände. Dies steht im Gegensatz zum Lean Management, bei dem die Verschwendung minimiert wird. Zudem kann die Produktion nur eingeschränkt auf kurzfristige Veränderungen reagieren. Anpassungen am Produkt oder Mehrbestellungen lösen aufgrund der zentralen Steuerung einen hohen Folgeaufwand aus.

Das auf die Lean Production angepasste Pull Prinzip funktioniert auf folgende Weise. Bei Kanban wird der Produktionsauftrag nicht von einer zentralen Planung gestartet. Die Idee von Kanban besteht darin, dass ein leerer Behälter gleich selbst einen Produktionsauftrag auslöst. Wird in der Endmontage ein Behälter leer, so wird dieser in die Vormontage geschickt. Und in der Vormontage informiert die Kanban-Etikette auf dem Behälter darüber, dass dieser wieder gefüllt wird. Die Vormontage füllt den Behälter auf und reagiert damit direkt auf den Verbrauch. Es gibt Kanban-Systeme, in welchen die Karten vom leeren Behälter abgelöst werden und getrennt von diesem an den Nachfüllort transportiert werden. In anderen System klebt die Etikette fest am Behälter dran. Die Anzahl der Karten ist deshalb auch gleich der Anzahl Behälter. Wie viele Ladungsträger benötigt werden, hängt von der Verbrauchsgeschwindigkeit, Wiederbeschaffungszeit und der enthaltenen Stückzahl des Bauteils ab.

Bei der Kanban Methode werden drei Arten unterschieden. Beim Produktions Kanban löst das Signal, beispielsweise der leere Behälter, einen Fertigungsauftrag aus. Beim Transport Kanban führt das Signal zu einem Lieferauftrag. Dadurch ist die Nachversorgung gewährleistet. Die dritte Art ist das Lieferanten Kanban. Hierbei wird ein Bestellprozess generiert, der die erforderlichen Teile beim Zulieferer ordert.

Eine generelle Voraussetzung für das Kanban Prinzip ist die Eignung der einzelnen Komponenten für diese Methode. Nicht alle Teile ermöglichen die Umsetzung dieser Methode. Zur Beurteilung wird die ABC-XYZ Logik verwendet. Sie klassifiziert die Teile nach Verbrauch und Kosten. Es entsteht eine Matrix, mit der sich die Komponenten nach Push und Kanban (Pull) Prinzip einteilen lassen. Abbildung 2.10 stellt die Matrix dar [vgl. HFS21, 129ff.].

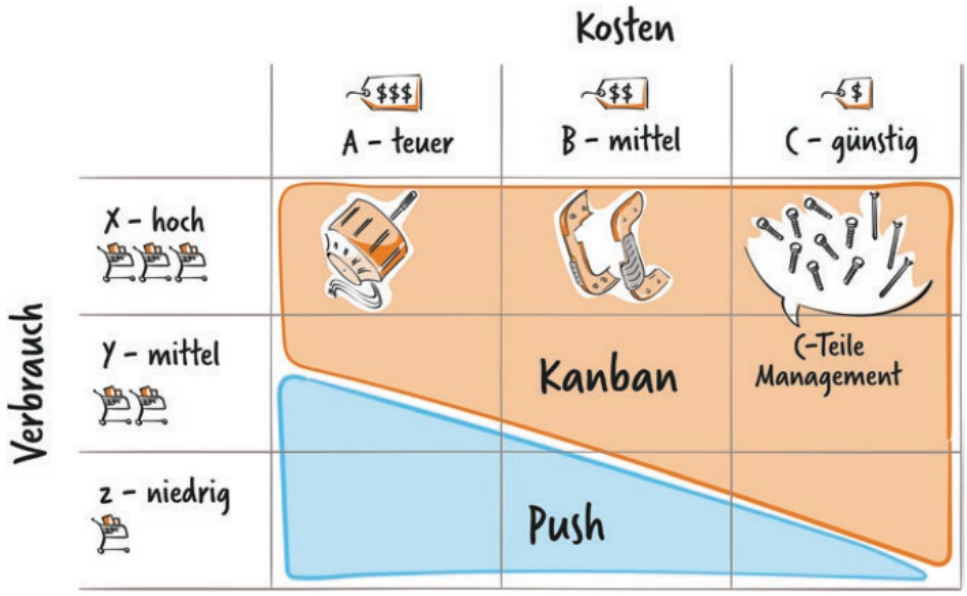


Abbildung 2.10.: Matrix der ABC-XYZ Logik [vgl. HFS21, S. 138]

2.4.2.3. Die 5S Methode

Als dritte Methode werden die 5S vorgestellt. Es beschreibt eine systematische Vorgehensweise zur Gestaltung eines standardisierten Arbeitsplatzes. Die 5S stehen dabei für die folgenden japanische Begriffe.

- Seiri (Sortieren): Durch das Sortieren werden alle Gegenstände, die nicht regelmäßig an diesem Ort benötigt werden, entfernt. Dadurch entsteht mehr Platz für die tatsächlich benötigten Arbeitsmittel und Materialen. Die Übersichtlichkeit am Arbeitsplatz nimmt zu.
- Seiso (Säubern): In diesem Arbeitsschritt werden Maschinen, Gegenstände und Werkzeuge gesäubert. Die Reinigung dient gleichzeitig der Inspektion, bei der Abweichungen vom Soll-Zustand und Mängel an Arbeitsmitteln festgestellt werden können. Nach Möglichkeit werden die Ursachen für die Entstehung von Verschmutzung dauerhaft abgestellt.

- Seiton (Systematisieren): Die Anordnung der Werkzeuge, Betriebsmittel und Materialien am Arbeitsplatz wird systematisiert. Kriterien dafür sind Ergonomie, Verwendungshäufigkeit und -reihenfolge. Dabei werden alle Arbeitsmittel und ihre Lagerorte so gekennzeichnet, dass sie eindeutig zugeordnet und Abweichungen vom Soll-Zustand schnell sichtbar werden können.

- Seiketsu (Standardisieren): Dieser Schritt verfestigt die Einhaltung der ersten drei S. Mit Hilfe einer Visualisierung des Soll-Zustandes und einer klaren Aufgabenverteilung im Team, wird sichergestellt, dass Routinen entstehen. Jeder Mitarbeiter muss wissen, wo welches Werkzeug zu finden ist und was er wann zu erledigen hat. Dadurch lassen sich auch neue Mitarbeiter besser in den Arbeitsprozess integrieren und Fehler vermeiden.

- Shitsuke (Selbstdisziplin): Dieser Schritt dient zur Erhaltung des optimalen Zustandes. Durch regelmäßige Aufnahme des Ist-Zustandes sind Abweichungen vom Standard leicht zu erkennen und zukünftig zu vermeiden. Weiterhin sind notwendige Werkzeuge auf ein Minimum zu reduzieren, was bspw. durch langfristige konstruktive Änderungen am Werkstück geschehen kann.

Nach Möglichkeit wird beim Arbeitsplatz das Lean-Regal, die Kanban Methode und die 5S Methode kombiniert. Dies soll eine effiziente, ergonomische und standardisierte Konstruktion ermöglichen [vgl. HFS21, 96ff.].

3. Konstruktion des Arbeitsplatzes

In diesem Kapitel findet die Ausarbeitung des Arbeitsplatzes statt. Wie zu Beginn der Studienarbeit aufgeführt, wird der Konstruktionsprozess in verschiedene Phasen unterteilt. Im ersten Schritt werden die Anforderungen definiert, im zweiten Teil werden Lösungen zu den einzelnen Aufgaben gesucht, im dritten Schritt entsteht Entwürfe und als letztes werden die erforderlichen Begleitdokumente erstellt. Für den Montagearbeitsplatz werden die einzelnen Phasen betrachtet und die dazugehörigen Aktionen ausgeführt.

3.1. Definition der Aufgabe

In diesem Abschnitt wird zuerst die Aufgabe erklärt, die an dem zu konstruierenden Arbeitsplatz ausgeführt wird. Anschließend wird mittels der Vorgaben eine Anforderungsliste erstellt.

3.1.1. Beschreibung der auszuführenden Aufgabe am Arbeitsplatz

An dem Arbeitsplatz wird eine Bauteil um verschiedene Komponenten ergänzt. Es ist ein Teil des gesamten Montageprozesses, der über mehrere Stationen verläuft. Diese sind mit einem Transportsystem verknüpft. Es verbindet die einzelnen Schritte mittels Förderband, welches über eine Steuerung geregelt wird. Die Aufgabe der in dieser Studienarbeit beschriebener Station ist die Verbindung der zwei Halbkörper und das Stecken zweier Bolzen. Bei Bedarf wird an die Baugruppe statt der Bolzen ein Handgriff montiert. Vor Beginn wird der erste Körper und die zwei Bolzen von dem Förderband entnommen und nach Beenden des Fügevorgangs wieder zurückgestellt. Am Arbeitsplatz selbst wird der zweite Körper, der Griff mit Zubehör und ein RFID-Chip gelagert. Sie befinden sich in Kleinladungsträger des Typs LF221 und LF211 des Herstellers Schäfer. Da der Griff aus insgesamt fünf unterschiedlichen Komponenten besteht und die Körper in drei verschiedenen Höhen verfügbar sind, werden insgesamt 9 Kisten benötigt. Abbildung 3.1 zeigt die Baugruppe in der Ausführung mit Handgriff.

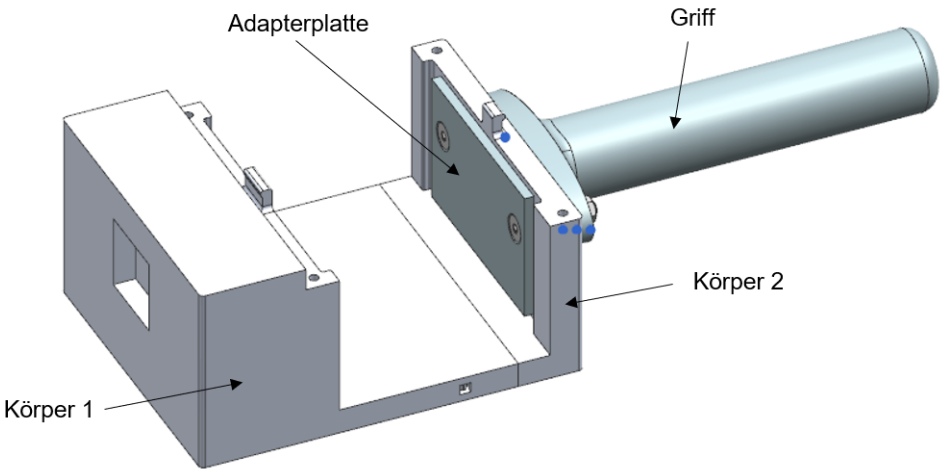


Abbildung 3.1.: Montierte Baugruppe mit Handgriff (eigene Darstellung)

3.1.2. Erstellung der Anforderungsliste

Eine Möglichkeit den ersten Schritt methodisch zu erarbeiten, ist eine Anforderungsliste. Aus dem Lastenheft, welches vom Kunden stammt, wird beim Auftragnehmer intern eine Liste erstellt. In dieser werden verschiedene Kategorien betrachtet und mit Fest-, Mindest- und Wunschanforderungen gefüllt. Eine Festanforderung bedeutet, dass der angegebene Wert eingehalten werden muss. Bei einer Mindestanforderung darf der Wert über- oder unterschritten werden. Eine Wunschanforderung kann erfüllt werden, muss aber nicht. Nachfolgend werden beispielhaft einige der Kategorien mit Beispielen in der Tabelle 3.1 dargestellt [vgl. NL20, S. 93].

Tabelle 3.1.: Kategorien in einer Anforderungsliste

Hauptmerkmal	**Beispiel**
Geometrie	Verfügbarer Raum, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung
Kräfte	Größe, Richtung, Häufigkeit, Gewicht, zul. Last, zul. Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, kritische Frequenzen
Stoff	Physikalische und chemische Eigenschaften der Hilfsstoffe und des Produktes, vorgeschriebene Werkstoffe, Materialfluss
Information	Eingangs- und Ausgangssignale, Art der Anzeige, Betriebs- und Überwachungsgeräte
Ergonomie	Mensch/Maschine-Beziehungen: Bedienungselemente, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Design
Montage	Besondere Montageanweisungen, Zusammenbau, Einbau, Montage im Werk oder auf der Baustelle, erforderliche Fundamente

Für den Arbeitsplatz ergibt sich folgende Anforderungsliste in Tabelle 3.2. Dabei gilt: Festanforderung = F, Mindestanforderung = M und Wunsch = W. Die Daten ergeben sich aus den erarbeiteten Grundlagen.

Tabelle 3.2.: Anforderungsliste Arbeitsplatz

Lfd	**F/M/W**	**Kategorie**	**Anforderung**
1	M	Geometrie	Breite $\leq$ 2000mm
2	F	Ergonomie	Höhe Arbeitsplatte = 1075mm
3	M	Ergonomie	Greifraum in X-Richtung max. 700mm aus der Mitte
4	M	Ergonomie	Greifraum in Y-Richtung max. 450mm in die Tiefe
5	M	Ergonomie	Blickfeld horizontal max. 110° aus der Mitte
6	M	Ergonomie	Blickfeld vertikal max. 75° nach oben und max. 85° nach unten
7	F	ifm mate	Behälter dürfen sich von oben gesehen nicht gegenseitig verdecken
8	F	ifm mate	Ausreichender Abstand der Kamera (siehe Tabelle 2.2)
9	F	ifm mate	Monitor Ablage wird benötigt
10	F	ifm mate	Alle verwendbaren Komponenten und Werkzeuge müssen nach Benutzung an einen festen Platz zurückkehren
11	F	Lean Production	Anbindung an ein Transportsystem (Entnahme und Rückgabe des Bauteils)
12	F	Lean Production	First in - First out Prinzip umsetzen
13	F	Lean Production	Automatisches Nachrücken der Behälter
14	F	Lean Production	Kanban Prinzip: 2 Behälter je Bauteil
15	M	Beladung	Anzahl aufgenommener Behälter $\geq$ 9 Stück
16	W	Beladung	Separate Behälterrückführung ermöglichen
17	W	Montage	Systemprofile zur einfachen und variablen Montage
18	W	Nachhaltigkeit	Erweiterungsmöglichkeiten bedenken (ggf. 3 zusätzliche Behälter)

3.2. Erarbeitung des Konzeptes

Die Konzeptphase dient zur Erarbeitung verschiedener Lösungskonzepte für die einzelnen Teilaufgaben der Konstruktion. Mittels V-Modell nach VDI wird die Baugruppe in die jeweiligen Bauteile zerlegt, für die Lösungsprinzipien gesucht werden. Dies gelingt mittels

Morphologischer Kasten. Diese Methode funktioniert mittels tabellarischem Aufbau. In der folgenden Tabelle 3.3 wird der Arbeitsplatz in seine Funktionen zerlegt und verschiedene Lösungen dargestellt. Im Voraus war bereits Creform als Systemprofil und Schäfer Kisten als Kleinladungsträger bestimmt. Um die Funktionsweise des Morphologischen Kasten darzustellen, werden jedoch weitere Alternativen aufgeführt.

Tabelle 3.3.: Morphologischer Kasten Arbeitsplatz

Funktion	**Lösung 1**	**Lösung 2**	**Lösung 3**
Profilhersteller	Bosch	Creform	Minitech
Komponentenlagerung	Feste Kisten	Entnehmbare Kisten	Schubladen
Behälterzuführung	Gleitbahnen	Rollbahnen	rutschfähige Platte
Arbeitsplatte	Holz	Metall	Lochblech
Monitorhalterung	Platte	Befestigung am Profil	
Fertigungshinweise	Papierzeichnung	Digitale Zeichnung	Assistenzsystem
Werkzeugbereitstellung	Shadow Board	Einzelhalterung	Federzugsystem

Im nächsten Schritt gilt es verschiedene Konzepte auszuwählen, um ein Gesamtkonzept zu erhalten. Dabei wird aus jeder Zeile ein Prinzip ausgewählt. Es ist möglich zwischen den Spalten zu springen. Auf diese Weise würde es bei diesem Beispiel $3 * 3 * 3 * 3 * 2 * 3 * 3 = 1458$ Kombinationsmöglichkeiten ergeben. Durch die Vorgabe von Creform Profilen, Entnehmbare Kisten von Schäfer und dem digitalen Assistenzsystem „ifm mate“ reduzieren sich die Variationen auf $1 * 1 * 3 * 3 * 2 * 1 * 3 = 54$. Nachfolgend die drei Kombinationen, die am besten bewertet wurden. Zusätzlich werden die jeweiligen Vorteile der Zusammenstellung aufgeführt.

1. Creform → Entnehmbare Kisten → Gleitbahnen → Holz → Platte → Assistenzsystem → Shadowboard
    - Vorteile:
        - Gleitbahnen sind günstiger als Rollbahnen bei Creform
        - Gleitbahnen können bei Eigenmontage einfacher zugeschnitten werden
        - Holz als Arbeitsplatte ist leichter als Metall und unkomplizierter im Zuschnitt
        - Platte als Monitorhalterung bietet den Vorteil einer zusätzlichen Ablage
        - Shadowboard ist bekannt als Werkzeugablage, auch für neue Arbeiter direkt zu erkennen
        - Eine zentrale Werkzeugablage ist übersichtlich, fehlendes Werkzeug wird einfacher erkannt

2. Creform → Entnehmbare Kisten → Rollbahnen → Lochblech → Befestigung am Profil → Assistenzsystem → Einzelhalterung & Federzug
    - Vorteile:
        - Rollbahnen funktionieren bei geringerer Steigung als Gleitbahnen
        - Befestigung am Profil benötigt weniger Platz als Platte
        - Kombination mit Federzug ermöglicht schwere Werkzeuge bei geringer Anstrengung
3. Creform → Entnehmbare Kisten → Gleitbahnen → Lochblech → Platte → Assistenzsystem → Einzelhalterung
    - Vorteile:
        - Lochblech bietet die Möglichkeit, ohne zu bohren, Teile zu befestigen
        - Lochblech vereint geringes Gewicht mit hoher Festigkeit
        - Einzelhalterungen können individuell am Arbeitsplatz positioniert werden

Aufgrund der Anforderungen wird sich bei der Ausführung für die dritte Variante entschieden. Um die Kosten zu senken, wird die Eigenmontage bevorzugt. Dementsprechend sind Gleitbahnen mit einer Bandsäge, die im PTZ vorhanden ist, problemloser zuzusägen als Rollbahnen. Sie gewährleisten im Gegensatz zu einer gleitfähigen Platte eine festgelegte Ordnung durch die seitliche Führung. Durch das Lochblech sind die Einzelhalterungen ohne weitere Bohrungen an der Arbeitsplatte zu befestigen. Das System „ifm mate“ bringt neben der Kamera eine Rechnereinheit mit. Diese kann auf der Platte, auf der der Bildschirm befestigt ist, abgelegt werden. Bei der Montage des Handgriffs werden zwei Werkzeuge benötigt. Diese werden so positioniert, dass sie mit dem Entnehmen aus der Halterung ohne Umgreifen direkt am Werkstück angesetzt werden können. Infolgedessen werden Shadow Boards ausgeschlossen und 3D-gedruckte Einzelhalterungen bevorzugt. Sie ermöglichen eine weitere Kostenersparnis.

3.3. Erstellung des Entwurfs

Nachdem die Lösungsprinzipien festgelegt wurden, entsteht in diesem Schritt eine Gestaltung der Module. Es ist ein iterativer Verbesserungsprozess, in dem maßstäbliche Vorentwürfe entstehen. Für diesen Schritt werden selbstständig ein CAD-Modell entworfen, Entwürfe von Creform angefordert und ein Cardboard Workshop durchgeführt.

3.3.1. 3D-CAD Modell

Zuerst wird das CAD-Modell entworfen, um einen Anhaltspunkt für das weitere Vorgehen zu erhalten. Hierfür müssen die in der Anforderungsliste gesammelten Punkte mit den aus dem Morphologischen Kasten entstandenen Prinzipien verknüpft werden. Folgende Abbildung 3.2 ist ein erster Entwurf. Die gekennzeichneten Maße müssen an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden. Die Anforderungen können mit diesem ersten Entwurf bereits

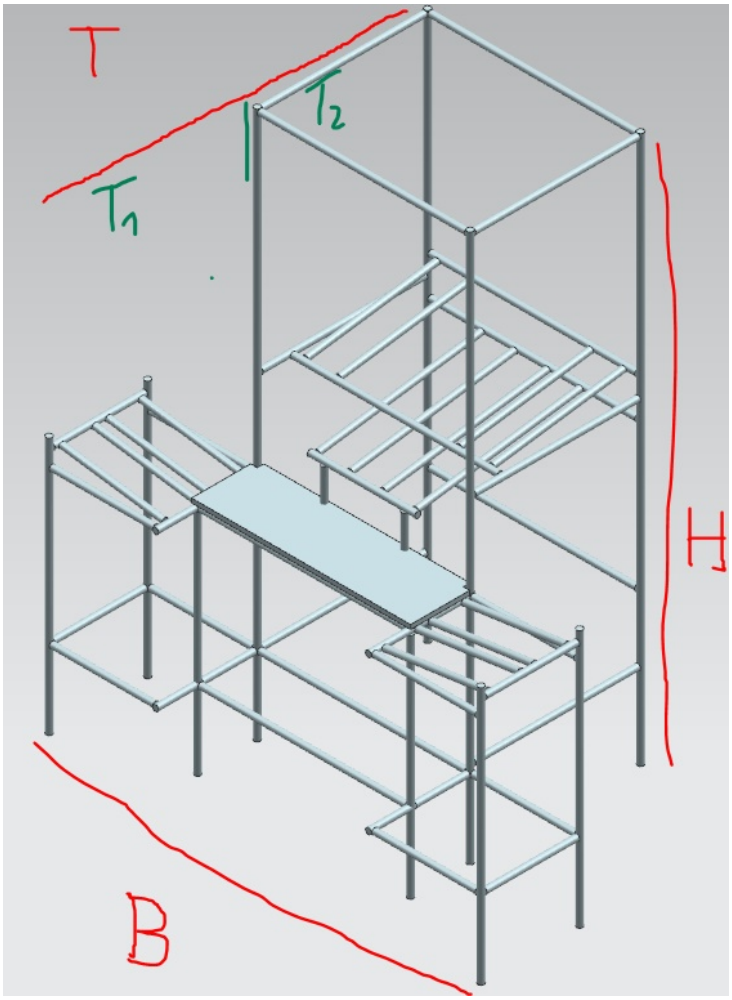


Abbildung 3.2.: Erster Entwurf des Montagearbeitsplatzes (eigene Darstellung)

nahezu vollständig abgedeckt werden. Nicht umgesetzt sind zu diesem Zeitpunkt eine separate Behälterrückführung die Einhaltung des maximalen horizontalen Blickfelds. Die Gestaltung ist bis zu diesem Punkt einfach gehalten. Es werden weder die Einzelhalterungen für Werkzeuge noch die Ablage des Monitors oder die Schäfer Kleinladungsträger abgebildet. Aufgrund des frühen Entwurfsstadiums wird auf eine detaillierte Darstellung verzichtet. Infolgedessen sind Änderungen zeitsparend umsetzbar.

3.3.2. Creform-Entwurf

Das erste CAD-Modell dient als Anhaltspunkt, mit dem bei Creform der erste Entwurf eingeholt wird. Vorteil dieser Kontaktaufnahme ist zum einen die detailliertere Darstellung des Arbeitsplatzes und zum anderen die Beratung. Es können gezielt Informationen zu einzelnen Bauteilen oder Möglichkeiten erfragt werden, die einem als unerfahrener Benutzer nicht bekannt sind. Als Endkunde wird von der langjährigen Erfahrung des Unternehmens profitiert. In Abbildung 3.3 ist der Entwurf von Creform als Zeichnung dargestellt. Die Ausführung ist in diesem Fall mit Rollschienen anstatt Gleitbahnen. Im Gegensatz zum eigenen CAD-Modell ist hier bereits die Behälterrückführung zu erkennen.

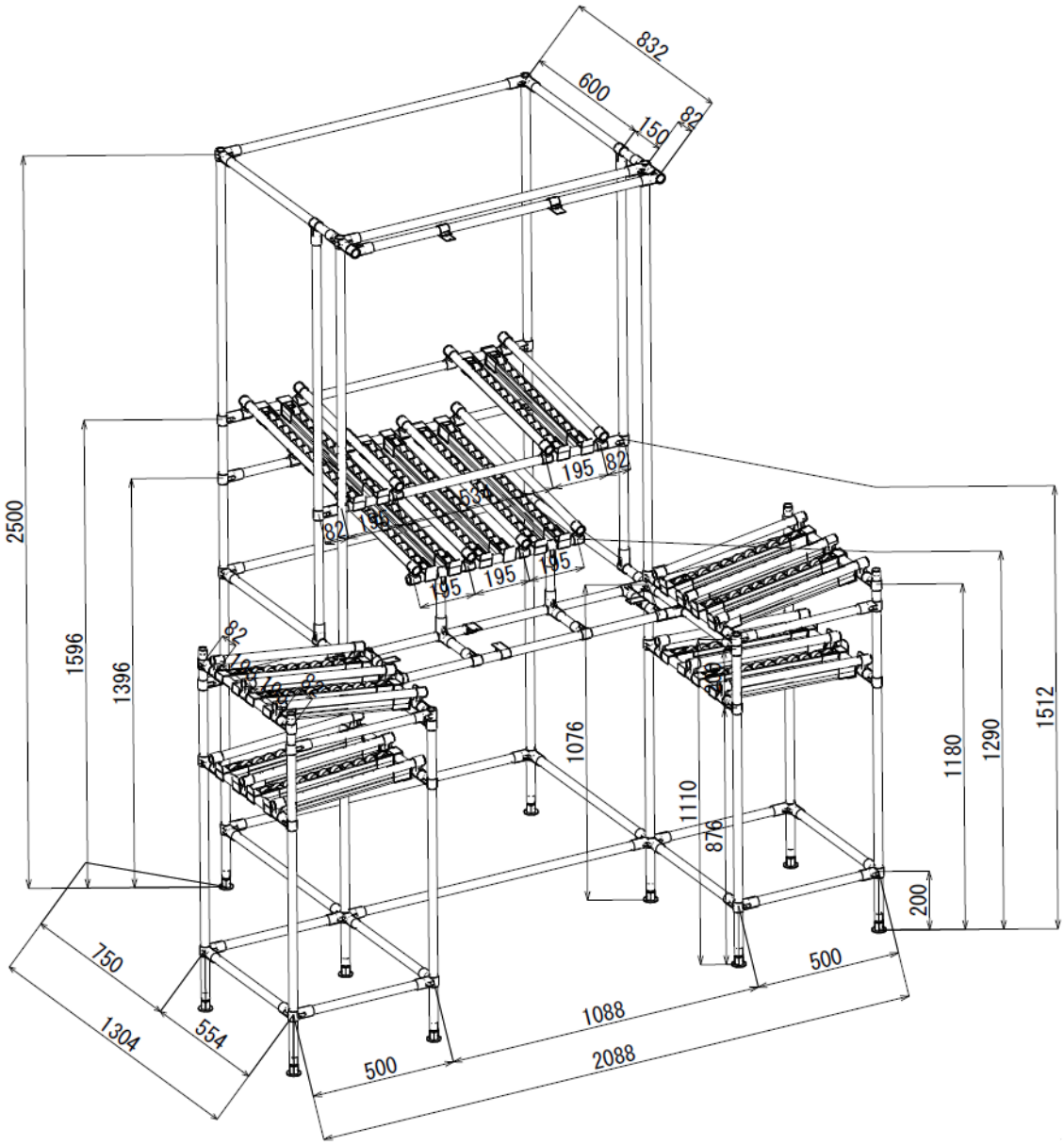


Abbildung 3.3.: Zeichnung des Creforms Entwurfs (Creform Technik GmbH)

3.3.3. Cardboard Engineering

Nachdem mit dem CAD-Modell und dem Creform Angebot das Entwurfsstadium einen fortgeschrittenen Status erreicht wurde, wird in diesem Abschnitt ein praktischer Prototyp entworfen. Eine Methode, die hierfür geeignet ist, ist das Cardboard Engineering. Dieses Vorgehen funktioniert nach dem „Trail and Error“ Prinzip. Es ist die Simulation von Arbeitssystemen mittels günstiger Materialien im Maßstab 1:1. In diesem Beispiel werden Holzlatten und Karton verwendet, um den Arbeitsplatz als Prototyp darzustellen. Der Zuschnitt und der Fügevorgang ist problemlos möglich. Folgende Vorteile bietet das Cardboard Engineering:

- Schnelle und günstige Umsetzung
- Änderungen können während dem Bau erfolgen
- Optimaler Aufbau wird im Versuch erprobt
- Keine bzw. kaum Änderungen am realen Montagesystem mehr erforderlich
- Steigerung der Motivation der Mitarbeiter durch Integration in Planung und Gestaltung

Abbildung A.1 im Anhang zeigt das Ergebnis des Cardboard Engineerings. Wie zu erkennen ist, besteht der Aufbau nur noch aus einem Seitengestell anstatt zwei. Der benötigte Platz wird durch eine diagonale Zuführung der Kleinladungsträger und durch das Erweitern der unteren Ebene bis zur linken Seite bereitgestellt. Mittels des Entwurfs aus Holz und Karton können die festgelegten Maße in der Realität überprüft werden.

3.4. Ausarbeitung

Im Abschnitt der Entwurfserstellung wurde mittels CAD-Modell, Creform Angebot und Cardboard Engineering die Genauigkeit des Modells stetig erhöht. Dabei wurde der Aufbau iterativ verbessert. Im letzten Schritt folgt die endgültige Ausarbeitung der Dokumente. Für das Beispiel des Montagearbeitsplatzes gehören hierzu die Erstellung einer endgültigen Zeichnung und die Erstellung der Zuschnittsliste (vgl. Abbildung A.2) für die bestellten Profile bei Creform. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrads des Cardboard Entwurfs wird als Zeichnung eine Handskizze (vgl. Abbildung A.3) verwendet. Sie ist ausreichend, da sie alle notwendigen Informationen für den Zusammenbau enthält. Es ist nicht nötig ein neues CAD-Modell aufzubauen, um anschließend die Zeichnung abzuleiten. Dies sorgt für eine Zeiteinsparung und eine schnelle Umsetzung des fertigen Arbeitsplatzes. Wie bereits genannt erfolgt der Zuschnitt der Rohre und Gleitbahnen mittels Bandsäge. Die Verbinder werden mit Schrauben gesichert. Auf diese Weise wird der Arbeitsplatz

systematisch aufgebaut und kann bei Bedarf erweitert werden. Folgende Abbildung 3.4 zeigt die fertige Station mit platziertem Monitor und den Kleinladungsträgern. Der



Abbildung 3.4.: Fertiger Montagearbeitsplatz (eigene Darstellung)

Monitor für das „ifm mate“ System wird zentral auf einer Holzplatte stationiert. Auf diese Weise kann der Arbeiter ohne Kopfbewegung die Anweisung sehen und mittels Touch-Funktion Eingaben tätigen. Die diagonale Zuführung ermöglicht die gesamten gelagerten Komponenten innerhalb des horizontalen Blickfelds zu halten. Die Behälterrückführung erfolgt über das rechte Seitenteil. Es sind zwei Ebenen eingesetzt. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass genügend Behälter Platz bei der Rückführung besitzen. Um den nötigen

Abstand einzuhalten, wird die Kamera erhöht über dem Arbeitsplatz angebracht. Frontal in der unteren Ebene der Schäfer Kisten wird die rechte Seite freigelassen. Dort erfolgt die Entnahme und Rückstellung auf das Transportsystem. Das Auffüllen der Behälter erfolgt von der rechten Seite bzw. von hinten. Beide Stellen liegen entlang des Fußwegs. Dies ermöglicht einen konfliktfreien Ablauf zwischen Fertigung und Logistik. Falls weitere Kleinladungsträger benötigt werden, kann das rechte Seitenteil um eine weitere Ebene in der Höhe erweitert werden. Dadurch finden zwei zusätzliche Schäfer Kisten nebeneinander Platz.

4. Montagehilfe und Werkzeughalterung als Erweiterung

Wie bereits erwähnt, wird eine Ausführung der Baugruppe mit einem Griff montiert. Um es dem Arbeiter zu erleichtern, wird eine Vorrichtung entworfen. Sie dient dazu den Griff und die Komponente „Körper 2 “ in einer ruhigen Ausgangsstellung zu halten. Zusätzlich zur Montagehilfe werden für die beiden Werkzeuge (Ringschlüssel und Schraubendreher) jeweils eine Halterung entworfen.

4.1. Beschreibung des Montagevorgangs

Die Montage läuft wie folgt ab:

1. Der Griff wird in eine hohle Aufnahme gesteckt
2. Der „Körper 2“ wird mit einem Kniehebelspanner auf einem vordefinierten Platz fixiert
3. Die Adapterplatte (Zubehör zum Griff) wird in den „Körper 2“ gesteckt
4. Zwei Schrauben werden durch die Löcher in der Adapterplatte geführt
5. Auf das überstehende Gewinde der beiden Schrauben wird jeweils eine Scheibe geschoben
6. Der Schraubendreher wird mit der rechten Hand gegriffen und die Schraube wird fixiert
7. Die Mutter wird mit der linken Hand leicht angezogen
8. Die linke Hand greift den Ringschlüssel und fixiert die Mutter
9. Mit dem Schraubendreher der rechten Hand wird die Schraube angezogen
10. Die Werkzeuge werden zurück in ihre Halterungen gesteckt
11. Der Kniehebelspanner wird gelöst
12. Die Baugruppe mit dem fertig montierten Griff wird entnommen

4.2. Ausarbeitung der Werkzeughalterung

Im Morphologischen Kasten wurde erläutert, dass die für die Werkzeuge Einzelhalterungen sinnvoll sind. Sie ermöglichen es, dass der Schraubendreher und der Ringschlüssel so angeordnet werden können, dass bei Verwendung des Werkzeugs kein weiteres Umgreifen nötig ist. Bei einem Shadow Board wäre dies nicht der Fall. Der Schraubendreher beispielsweise wird zuerst aus dem Schaumstoff entnommen und anschließend in die richtige Position für die Hand geführt. Mittels 3D-gedruckter Einzelhalterungen wird ein Arbeitsschritt eingespart. Dies entspricht der Lean Production. Auf der linken Seite der Abbildung 4.1

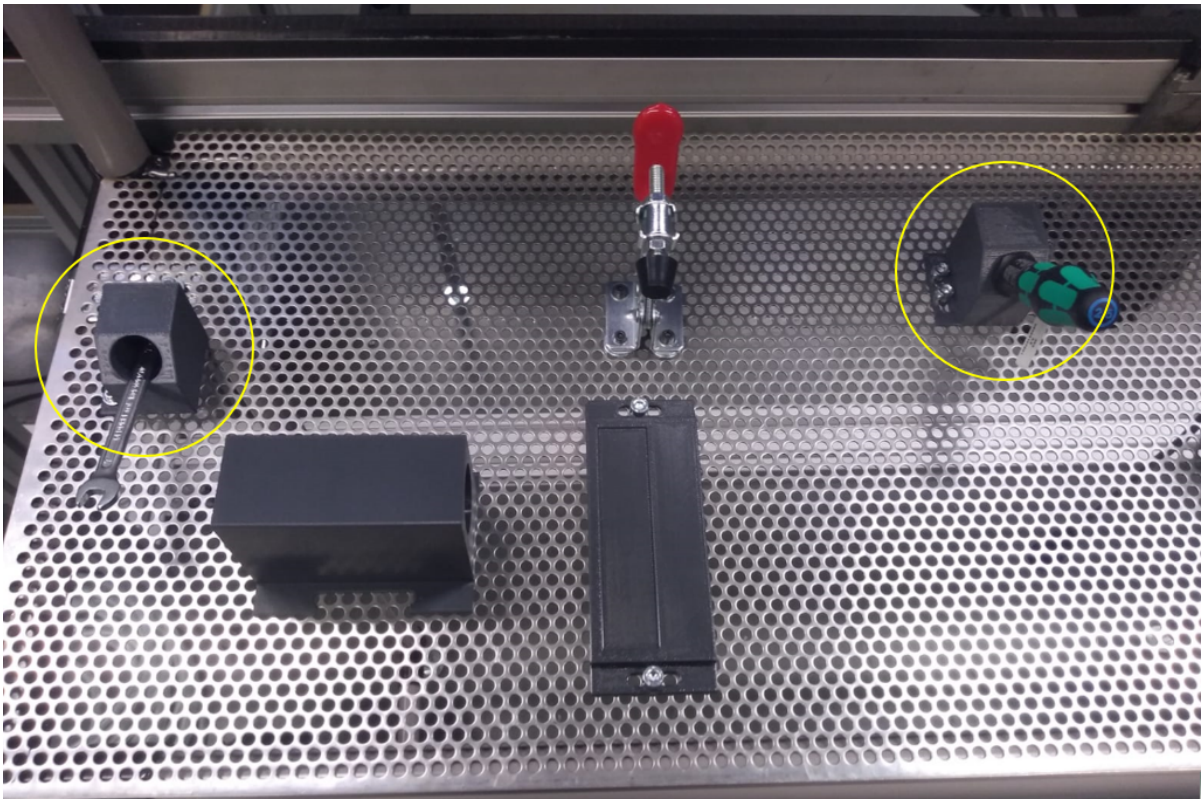
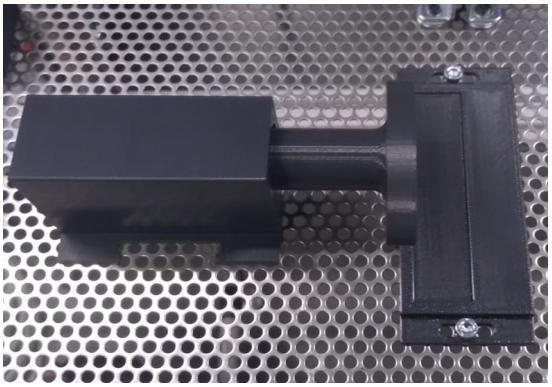


Abbildung 4.1.: Werkzeughalterung für Schraubendreher und Ringschlüssel (eigene Darstellung)

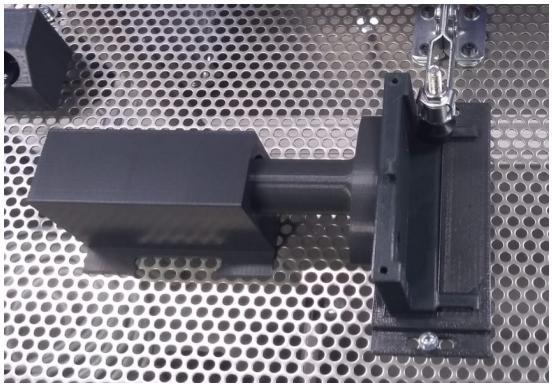
gelb eingekreist befindet sich der Halter für den Ringschlüssel. Er ist für die Aufnahme mit der linken Hand positioniert. Auf der rechten Seite gelb eingekreist befindet sich der Halter für den Schraubendreher. Er ist für die Aufnahme mit der rechten Hand positioniert. Als Aufnahme wird für beide Fälle ein Quader als Grundkörper gewählt. Eine Kante wird mit einer ausreichenden 45° Fase versehen. Eine zylindrische Aussparung dient zur Aufnahme des Werkzeugs. Am Boden wird einseitig eine Möglichkeit zur Befestigung am Lochblech geschaffen.

4.3. Ausarbeitung der Montagehilfe

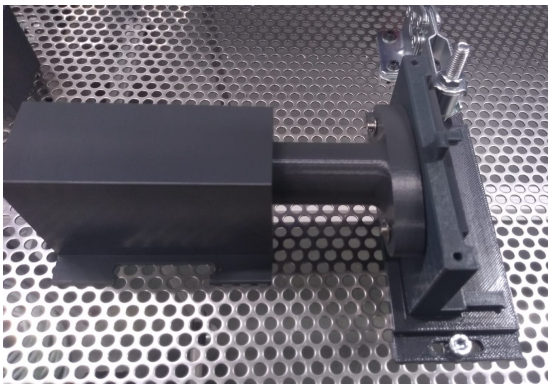
Die Montagehilfe besteht aus insgesamt drei Teilen. Bezogen auf Abbildung 4.1 ist vorne links als großer länglicher Block die Aufnahme für den Griff zu sehen. Rechts daneben ist die feste Ablage für den „Körper 2“ zu erkennen. Darüber befindet sich der Kniehebelspanner, mit dem die Komponente fixiert wird. Die folgende Bildstrecke 4.2 stellt den Montageverlauf des Handgriffs dar. Es werden die jeweiligen Bilder mit den Vorgängen aus Abschnitt 4.1 nummeriert.



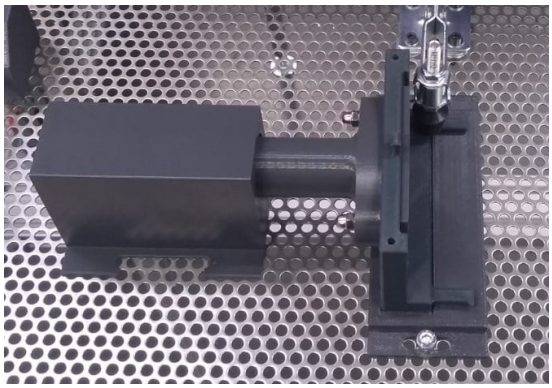
(a) Arbeitsschritt: 1



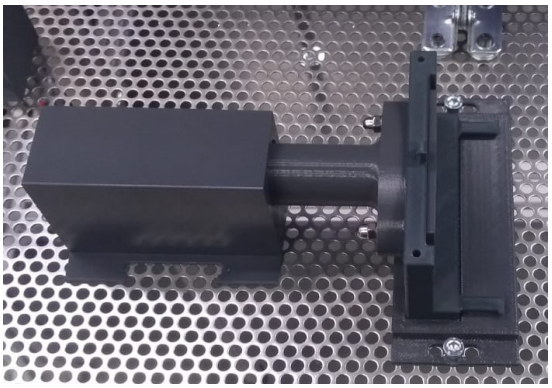
(b) Arbeitsschritt: 2



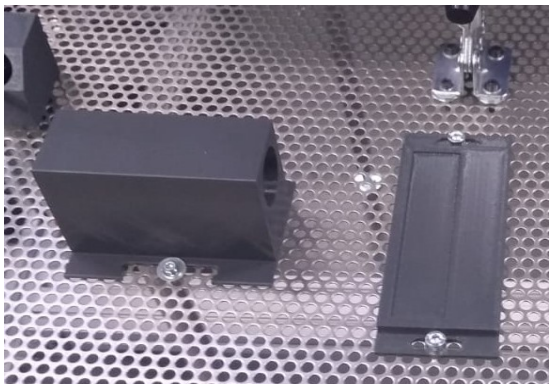
(c) Arbeitsschritt: 3,4,5



(d) Arbeitsschritt: 6,7,8,9



(e) Arbeitsschritt: 11



(f) Arbeitsschritt: 12

Abbildung 4.2.: Bilderstrecke zur Montage des Griffs (eigene Darstellung)

5. Fazit

Die Studienarbeit beschäftigt sich mit dem Thema „Konzeptionierung und Realisierung eines Montagearbeitsplatzes mit digitalem Assistenzsystem “. Das Projekt fand im Umfeld des PTZ statt, welches zur Abbildung einer realen Wertschöpfungskette mit unterschiedlichen Systemen dient. Im Mittelpunkt der gesamten Arbeit und die Verknüpfung zum Studiengang Maschinenbau mit der Vertiefung Konstruktion und Entwicklung schafft die VDI Richtlinie 2221. In ihr wird der Konstruktionsprozess in verschiedene Schritte aufgeteilt. Mit insgesamt 8 Abschnitten entstehen aus den gegebenen Anforderungen ein fertiges Produkt. Die Richtlinie umfasst nach der Einleitung das erste Kapitel der Studienarbeit. Zusätzlich wird auf die verschiedenen Konstruktionsarten eingegangen, um ein Verständnis für die anfallenden Aufgaben zu entwickeln. Diese unterscheiden sich nach Neu-, Anpassungs- oder Variantenkonstruktion.

Das zweite Kapitel behandelte Themen der Ergonomie. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der anthropometrischen Gestaltung. Sie enthält Aspekte zur Sicherheit, Erreichbarkeit, physiologisch günstiger Körperhaltung und Optimierung der Sichtgeometrie. Die Abmessungen des menschlichen Körpers führen zu sogenannten Funktionsmaßen. Diese dienen in der Konstruktion als Grenzen, die dem Arbeiter zumutbar sind und gesundheitlich zu vertreten sind. Gleichzeitig wird mit ihnen ein optimales Umfeld für effizientes Arbeiten geschaffen.

Eine weitere Erleichterung für den Arbeiter und eine qualitätssichernde Maßnahme sind Assistenzsysteme in der Montage. Die Studienarbeit stellt unterschiedliche Verfahren des Pick-by vor. Der Fokus liegt auf „ifm mate“. Dieses System wird bei dem Montagearbeitsplatz eingesetzt. Es zeigt dem Werker über einen Bildschirm seine nächsten Schritte an. Gleichzeitig erkennt es, falls der Monteur falsche Teile greift und macht dies mit einem Signal deutlich. Für die Konstruktion wird ein bestimmter Abstand der Kamera des Systems benötigt. Es fließt zusätzlich zu den ergonomischen Aspekte in die Voraussetzungen mit ein.

Die Grundlagen für eine effiziente Montage und Arbeitsabläufe legt das vierte Kapitel mit der Lean Production. Diese Art der Produktion steht im Gegensatz zur Massenfertigung. Sie ist ausgelegt auf geringe Lagerbestände und Verschwendung zu reduzieren. Als konkrete Methoden liegen hierbei das Lean Regal, Kanban und die 5S im Fokus. Die drei genannten Prinzipien wurden auf den Arbeitsplatz angewandt. Dies ermöglichte eine Konstruktion, die der Lean Production folgt.

Das entscheidende Kapitel der Studienarbeit umfasst die Konstruktion des Arbeitsplatzes. Zuerst erfolgte die Definition der Aufgabe. Hierbei wurde der Ablauf der Montage der Baugruppe erklärt. Daraus und aus den vorangegangenen Kapiteln bezüglich Ergonomie und Lean Production leitete sich eine Anforderungsliste ab. Sie galt aus Ausgangsdokument für das weitere Vorgehen. Als nächstes kam die Konzeptphase. Aus der Anforderungsliste wurde der Arbeitsplatz in seine Teilfunktionen zerlegt. Für jede Funktion wurde mehrere Lösungsprinzipien gesucht. Dies geschah mittels Morphologischer Kasten. nach der Auswahl eines Konzeptes folgte der dritte Schritt. Die Erstellung eines Entwurfs. Zuerst wurde ein 3D-CAD Modell entworfen. Mit diesem wurde Kontakt zu Creform aufgenommen, um weitere Details zu besprechen und mehr Wissen zu erlangen. Im letzten Schritt wurde ein Cardboard Workshop gemacht. Aus diesen drei Schritten entstand in Kombination der endgültige Entwurf. Im vierten Abschnitt, der Ausarbeitung, wurde der Entwurf umgesetzt. Der Zuschnitt und die Montage wurde selbst durchgeführt. Um die Montage der Baugruppe zu erleichtern, wurde zum Schluss eine Montagehilfe und eine Werkzeughalterung mittels 3D-Druck gefertigt.

Im nächsten Schritt steht die Inbetriebnahme des Arbeitsplatzes an. Dazu gehört die Einrichtung des digitalen Assistenzsystems. Es gilt zu überprüfen, ob die Montage der Baugruppe problemlos funktioniert und ob die vorgegebene Taktzeit eingehalten wird. Änderungen und Erweiterungen sind aufgrund der verwendeten Systemprofile jederzeit möglich.

Literaturverzeichnis

[BGH13] BGHM Berufsgenossenschaft Holz und Metall. *Mensch und Arbeitsplatz in der Holz- und Metallindustrie: BGHM-Information 101*. 2013. URL: https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/BGHM-I_101.pdf (besucht am 12. 11. 2022).

[Deu19] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. *DGUV Information 208-053: Mensch und Arbeitsplatz - Physische Belastungen*. 2019. URL: https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/handel-und-logistik/physische-belastungen/3499/mensch-und-arbeitsplatz-physische-belastungen (besucht am 26. 11. 2022).

[Deu20] Deutsches Institut für Normung. *DIN 33402-2: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte*. 2020.

[Erg] Ergotyping. *Anthropometrie: Hilfsmittel zur Ermittlung von Gestaltungsmaßen*. URL: https://www.ergotyping.de/index.php?title=Anthropometrie:_Hilfsmittel_zur_Ermittlung_von_Gestaltungsmaszen (besucht am 26. 11. 2022).

[Fle19] Bernhard Fleischer. *Methodisches Konstruieren in Ausbildung und Beruf: Praxisorientierte Konstruktionsentwicklung und rechnergestützte Optimierung*. 1. Auflage 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019.

[HFS21] Roman Hänggi, André Fimpel und Roland Siegenthaler. *LEAN Production - einfach und umfassend: Ein praxisorientierter Leitfaden zu schlanken Prozessen mit Bildern erklärt*. 1st ed. 2021. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg und Springer Vieweg, 2021.

[ifm] ifm. *ifm mate: Das Werkerassistenzsystem für manuelle Tätigkeiten in der Produktion – ifm mate*. URL: https://www.ifm.com/de/de/shared/produkte/ifm-mate/start (besucht am 12. 12. 2022).

[Kir20] Eckhard Kirchner. *Werkzeuge und Methoden der Produktentwicklung: Von der Idee zum erfolgreichen Produkt*. 1. Auflage 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020.

[NK22] Paul Naefe und Michael Kott. *Konstruktionslehre für: Leicht verständliches Basiswissen für Maschinenbau-Technikerinnen, -Techniker und -Studierende*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2022.

[NL20] Paul Naefe und Jörg Luderich. *Konstruktionsmethodik für die Praxis: Aktuelle Verfahren in der Produktentwicklung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.

[pic] picavi. *Kommissioniermethoden: Ein Überblick über die wichtigsten Verfahren*. URL: https://picavi.com/kommissioniermethoden/#:~:text=Pick%2Dby%2DLight%20ist%20eine,Tasten%20an%20den%20Lagerregalen%20angebracht. (besucht am 10. 12. 2022).

[Rex] Rexroth - Bosch Group. *Ergonomieberater für manuelle Produktionssysteme*. URL: https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/media-directory/-/document_library/view_document/28813301?routed=true (besucht am 13. 11. 2022).

[Sch22] Martin Schmauder. *Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation*. 2., überarbeitete Auflage. Hanser eLibrary. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2022.

[Tec15] Technische Regeln für Betriebssicherheit. *Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch - Arbeitsmittel – Ergonomische und menschliche Faktoren, Arbeitssystem –: TRBS 1151*. 2015. URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/TRBS-1151.html (besucht am 13. 11. 2022).

[VDI19] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. *VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung*. 2019.

A. Anhang

A.1. Cardboard Engineering



Abbildung A.1.: Cardboardentwurf (eigene Darstellung)

A.2. Zuschnittsliste

Progress, %	Profillänge, mm.	Schnittbreite, mm.	Min. Rest, mm.	Fertig	Profil, Stk.
100	4000	1	0	07.11.2022 18:28:53	12

Stk.	Formel	Rest+Verschnitt, mm.
1	2X1100 + 1X750 + 1X500 + 1X300 + 1X200 = 3950	50 (1)
1	1X1100 + 1X1000 + 1X750 + 2X550 = 3950	50
1	1X1100 = 1100	2900
1	1X1200 + 1X1100 + 3X550 = 3950	50
1	1X1200 + 3X750 + 1X500 = 3950	50
1	1X2500 + 1X1100 = 3600	400
1	1X750 + 2X550 + 3X500 + 1X300 + 1X200 + 1X100 = 3950	50
1	2X1100 + 1X800 + 1X750 = 3750	250
1	3X1100 + 1X550 + 1X100 = 3950	50
3	1X2500 + 1X1100 + 1X300 = 3900	100

(a) Zuschnittsliste Profile

Progress, %	Profillänge, mm.	Schnittbreite, mm.	Min. Rest, mm.	Fertig	Profil, Stk.
100	4000	1	0	13.01.2023 06:54:35	6

Stk.	Formel	Rest+Verschnitt, mm.
1	7X550 = 3850	150 (1)
1	1X550 = 550	3450
1	4X850 + 1X550 = 3950	50
1	7X550 = 3850	150
2	3X850 + 2X700 = 3950	50

(b) Zuschnittsliste Gleitbahnen

Abbildung A.2.: Zuschnittsliste der Profile und Gleitbahnen (eigene Darstellung)

A.3. Handskizze

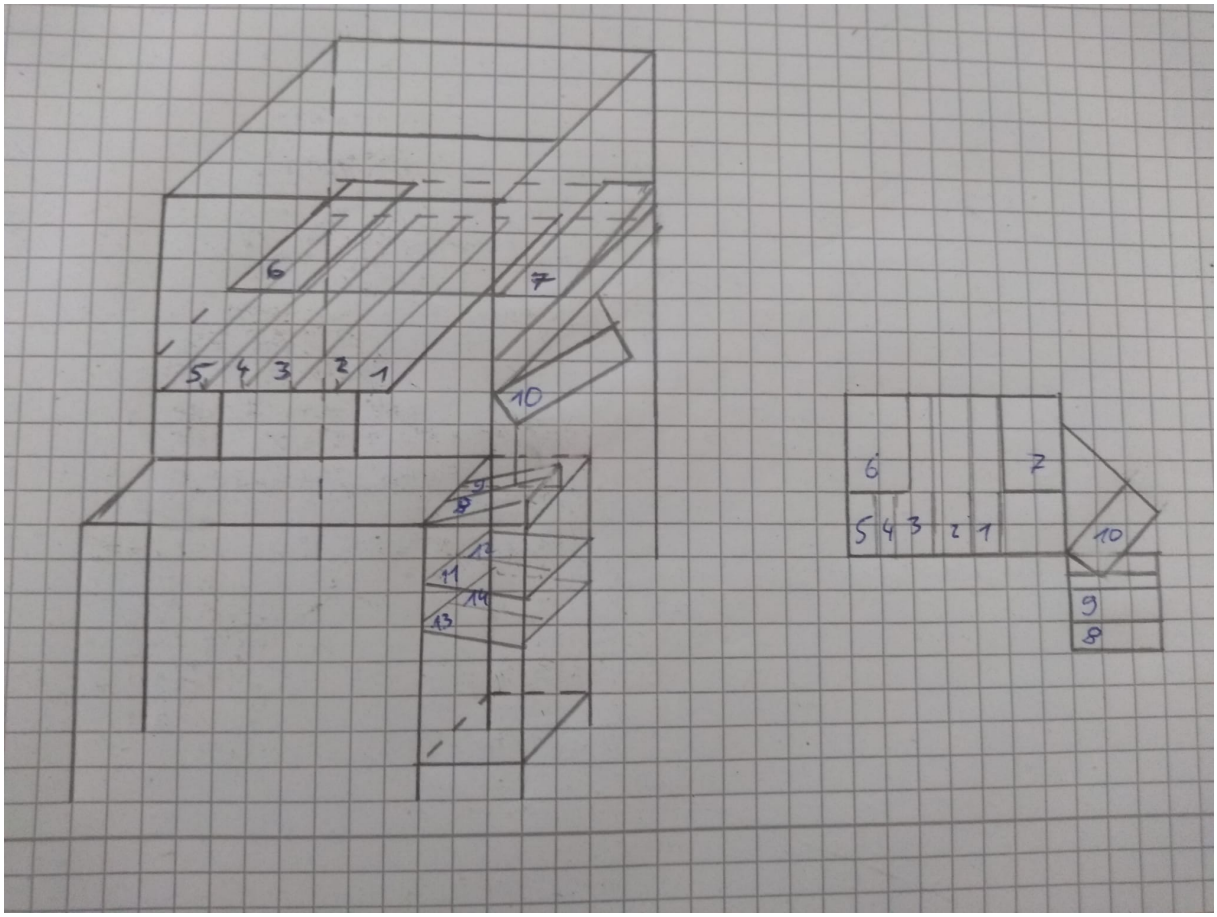


Abbildung A.3.: Handskizze (eigene Darstellung)