DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg

Z entrum für
D igitalisierung in
P roduktion & Produktentwicklung

Zukunftsfabrik: Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes

Studienarbeit

des Studienganges Wirtschaftsingenieurwesen
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

von
Marvin Endriß

Bearbeitungszeitraum	KW11 – KW23
Matrikelnummer, Kurs	5303793, TWI-20/1
Ausbildungsfirma	Gühring KG
Gutachter der Dualen Hochschule	Florian Bulander

Erklärung

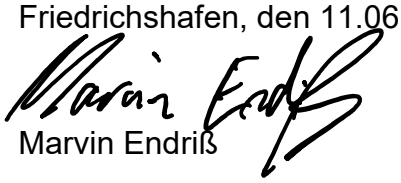
gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit (bzw. Projektarbeit oder Studienarbeit bzw. Hausarbeit) mit dem Thema:

Zukunftsfabrik: Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes

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.

Friedrichshafen, den 11.06.2023



Marvin Endriß

Anmeldung Studienarbeit

DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Ravensburg
Campus Friedrichshafen

Erfassungsbogen zur Studienarbeit

Die Anmeldung der Studienarbeit bitte ausgefüllt zur Themenausgabe per Mail an den Studiengangleiter „brath@dhbw-ravensburg.de“ zurücksenden.

Studierende(r) (Name, Vorname)	Endriß, Marvin
Kurs	TWI20-1
Anschrift (Straße, PLZ, Ort)	Antoniusstraße 4, 72474 Winterlingen
Telefon, E-Mail	01742187661, marvinendriss@gmail.com

Bearbeitungszeitraum	KW11/2023-23/2023 (13.03.23-11.06.23)

Partnerunternehmen	Gühring KG
Anschrift (Straße, PLZ, Ort)	Herderstraße 50-54, 72458 Albstadt-Ebingen
Ausbildungsleiter (Name, Vorn.)	Stricker, Kathrin
Telefon, E-Mail	07431/1721229, kathrin.stricker@guehring.de

Thema der Studienarbeit (ggf. kurze Erläuterung beifügen)
Zukunftsfabrik: Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes • Inbetriebnahme eines Werkerassistenzsystem (inkl. Konzeption der Schnittstelle zum ERP-System) • Untersuchung und Verbesserung des Arbeitsplatz auf Ergonomie und Ratio • Aufbau von Standards in der Materialbereitstellungszone • Konzeptüberlegung und -umsetzung, welches den In- und Output möglichst einfach messen kann

Der Betreuer ist ggf. von der Ausbildungsstätte zu benennen.

Betreuer (Name, Vorname, Akad. Grad / Titel)	Bulander, Florian, M.Sc
Private Anschrift (Straße, PLZ, Ort)	Fallenbrunnen 14, 88045 Friedrichshafen
Telefon, E-Mail (privat)	0152 56232206
Telefon, E-Mail (geschäftlich)	07541/ 2077150, bulander@dhbw-ravensburg.de

Inhalt

Anmeldung Studienarbeit III
Inhalt IV
Abkürzungs- und Formelzeichenverzeichnis V
Abbildungsverzeichnis VI
1 Einleitung 1
1.1 Problemstellung 1
1.2 Zielsetzung der Arbeit 2
1.3 Vorgehensweise 2
2 Stand der Technik 3
2.1 Handarbeitsplatz 3
2.2 Anforderungen an einen Handarbeitsplatz 4
2.3 Methods Time Measurement 5
2.4 Werkerassistenzsystem 6
2.5 Kanban-System 7
3 Weiterentwicklung des Handarbeitsplatz 9
3.1 Zukunftsfabrik 9
3.2 Produktionsablauf 10
3.3 IST-Zustand Handarbeitsplatz 11
3.4 Standardisierung des Handarbeitsplatz 12
3.5 Optimierung des Handarbeitsplatz 15
3.6 Arbeitsablauf 21
3.7 Implementierung ifm mate 35
3.8 Digitaler Zwilling 38
4 Fazit und Ausblick 40
5 Literaturverzeichnis 41
Anhang 43

Abkürzungs- und Formelzeichenverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
CAD	Computer Aided Design
DIN	Deutsche Institut für Normung e.V.
ERP	Enterprise Resource Planning
HDMI	High Definition Multimedia Interface
ID	Identifikationsnummer
IPC	Industrie-PC
ISO	International Organization for Standardization
IWT	Institut für Wissenschaft und Technik
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	kleines oder mittleres Unternehmen
MTM	Methods-Time Measurement
PTZ	Produktionstechnische Zentrum
QR	zweidimensionaler Code
RFID	Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen
SW	Schlüsselweite
TMU	Time Measurement Unit
ZDP	Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Basisgesten des MTM (Riedel, Brehm & Pfeifroth, 2022) 5
Abbildung 2: Vision der ZDP (ravensburg.dhbw.de, 2023)..... 11
Abbildung 3: IST-Zustand Handarbeitsplatz 12
Abbildung 4: Standardisierung (e.D.)..... 14
Abbildung 5: Schraubendreher Halteblock (e.D.) 16
Abbildung 6: Montagevorrichtung Grundkörper Seitenteil (e.D.)..... 17
Abbildung 7: Montagevorrichtung Griff (e.D.) 18
Abbildung 8: Kanban Kasten (e.D.) 19
Abbildung 9: Kanban Karte (e.D. 20
Abbildung 10: I/O Sensor-/Reflektor-Halterung (e.D.) 20
Abbildung 11: Position der I/O-Links Sensoren (e.D) 21
Abbildung 12: Variante 1 (ZDP, 2022)..... 25
Abbildung 13: Variante 2 (ZDP, 2022)..... 27
Abbildung 14: Variante 3 (ZDP, 2022)..... 29
Abbildung 15: Variante 4 (ZDP, 2022)..... 31
Abbildung 16: Variante 5 (ZDP, 2022)..... 33
Abbildung 17: Anschlussplan ifm mate (ifm electronic, 2023) 36
Abbildung 18: Digitaler Zwilling Handarbeitsplatz (e.D.)..... 39
Abbildung 19: digitale Produktionsumgebung der Zukunftsfabrik (Niere, 2023) 39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialstammsatz 15
Tabelle 2: MTM-Analyse 24

1 Einleitung

Die Industrie steht vor tiefgreifenden Veränderungen, die durch die steigende Automatisierung von Arbeitsprozessen vorangetrieben wird. In diesem Zusammenhang gewinnt die Weiterentwicklung des Montagehandarbeitsplatzes immer mehr an besonderer Bedeutung. Unternehmen streben nach ihre Produktivitätssteigerung, Fehlerquotenminimierung und eine effiziente Zusammenarbeit von Mensch und Maschine. Die kontinuierlichen Fortschritte in Robotik, künstlicher Intelligenz und digitaler Vernetzung haben zu einer Verschiebung der Arbeitsdynamik geführt und den vermehrten Einsatz von automatisierten Montagesystemen ermöglicht. Die dabei stattfindenden kontinuierlichen Entwicklungen von Technologien und die fortschreitende Automatisierung hat zu tiefgreifenden Veränderungen in der Art und Weise geführt, wie handwerkliche Tätigkeiten in industriellen Umgebungen ausgeführt werden. Während sich die Vorstellung vom Handarbeitsplatz früher auf manuelle Tätigkeiten und handwerkliches Geschick beschränkte, haben moderne Innovationen den Handarbeitsplatz in einen technologisch fortschrittlichen und effizienten Ort verwandelt.

warum?

1.1 Problemstellung

welcher ist das?

In einer vorangegangenen Projektarbeit wurde bereits ein Konzept für einen Handarbeitsplatz, welcher dem Zweck der Zukunftsfabrik Bodensee entspricht, entwickelt. Der Handarbeitsplatz wurde bereits geplant, modelliert und final aufgebaut. Der Handarbeitsplatz bietet derzeit Platz für diverse Sichtlagerboxen, hat provisorisch einen nicht angeschlossenen Touch-Monitor montiert und besitzt bereits montierte Montagevorrichtungen auf der Arbeitsplatte. Zudem wurde bereits eine ausreichende Recherche über ein passendes Werkerassistenzsystem durchgeführt und beschafft. Jedoch ist derzeit noch kein Standard für die Materialzuführung geschaffen. Die bereits montierten Montagevorrichtungen gewährleisten nicht die bestmögliche Montagepositionen für die Vormontage der Baugruppe und auch die Platzierung des Touch-Displays ist nicht ideal. Des Weiteren ist kein original getreues 3D-Modell vorhanden,

welches für einen digitalen Zwilling der gesamten Fertigungslinie genutzt werden kann.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Projektarbeit ist die Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes. Der Handarbeitsplatz soll auf Ergonomie und Ratio untersucht und ggf. verbessert werden. Es sollen Standards in der Materialbereitstellungszone und der Arbeitsabläufe entwickelt, dokumentiert und umgesetzt werden. Dabei soll das bereits beschaffte Werkerassistenzsystem in Betrieb genommen werden. Es soll auch eine Möglichkeit geschaffen werden, den In- und Output möglichst einfach messen zu können. Eine mögliche Überführung in einen digitalen Zwilling mittels CAD würde die Arbeit abrunden.

1.3 Vorgehensweise

Beginnend mit einer Literaturrecherche werden Grundlagen für die anschließenden umzusetzenden Aufgaben geschaffen. Vor Beginn der Optimierung des Handarbeitsplatzes findet eine ausführliche Analyse des bereits bestehenden Handarbeitsplatzes statt. Um festzustellen, welche Aspekte verbessert werden können, werden die auszuführende Fertigungsschritte genau untersucht. Anschließend werden möglich auftretende, zu optimierende Probleme erfasst. Dies beinhaltet unter anderem auch die Standardisierung des Handarbeitsplatzes und die Festlegung von definierten Arbeitsabläufen. Darauf folgt die Implementierung des Werkerassistenzsystem. Für das Schaffen eines digitalen Zwillings der Fertigungslinie wird abschließend ein originalgetreues 3D-Modell des Handarbeitsplatzes erstellt. Ein Fazit der Projektarbeit mit einem Ausblick bildet dann einen runden Abschluss.

2 Stand der Technik

Die folgenden Ausführungen zum Stand der Technik beschäftigen sich mit der Definition eines Handarbeitsplatzes, dessen Anforderungen, der Definition von Methods-Time-Measurement, der Definition von einem Werkerassistenzsystem und der Definition des Kanban-Prinzips. Ziel diesen Kapitels ist es, Grundlagen zu schaffen, die dem Verständnis der folgenden Kapitel dienen.

2.1 Handarbeitsplatz

Ein Handarbeitsplatz ist ein Arbeitsbereich, der für manuelle Tätigkeiten ausgelegt ist. In der Regel handelt es sich um eine Arbeitsstation, die auf die spezifischen Bedürfnisse eines Arbeitnehmers und der auszuführenden Tätigkeit zugeschnitten ist.[1] Handarbeitsplätze kommen in verschiedenen Branchen zum Einsatz, darunter die Fertigung, Logistik, Textil- und Bekleidungsindustrie, aber auch im kreativen Bereich, wie beispielsweise in der Kunsthandwerk- und Schmuckherstellung. Ein Handarbeitsplatz ist mit Werkzeugen, Hilfsmitteln und Montagevorrichtungen ausgestattet, die für die jeweilige Tätigkeit erforderlich sind. Dazu gehören beispielsweise Schraubendreher, Ringmaulschlüssel, Schrauben, Muttern, Scheiben und Bauteile. Die Arbeitsfläche sollte groß genug sein, um die erforderlichen Materialien und Werkzeuge bereit zu stellen und dem Arbeiter ausreichend Platz für die Ausführung der Tätigkeit zu bieten. Der Handarbeitsplatz ein wichtiger Arbeitsbereich, der auf die spezifischen Bedürfnisse eines Arbeiters und dessen Tätigkeit abgestimmt ist.[2]

[1] Vgl. Becker, 2023

[2] Vgl. BGHM, 2023

2.2 Anforderungen an einen Handarbeitsplatz

Ein Montage- oder Handarbeitsplatz erfordert eine sorgfältige Planung, um die Effizienz und Produktivität zu maximieren und gleichzeitig die körperliche Belastung des Arbeiters zu minimieren. Bei der Errichtung eines Handarbeitsplatzes gibt es eine Vielzahl an Anforderungen, die berücksichtigt werden. Die Kombination dieser soll eine sichere und ergonomische Arbeitsumgebung schaffen.

Die Größe des Arbeitsplatzes ist dabei von großer Bedeutung. Der Arbeitsplatz sollte groß genug sein, um die benötigten Werkzeuge, Materialien und Bauteile bereit zu stellen, ohne dabei den Arbeitsablauf zu behindern. Zudem sollte ausreichend Platz für den Arbeiter vorhanden sein, um sich frei bewegen zu können und sich in einer bequemen und ergonomischen Position zu befinden. Eine weitere Anforderung bei der Gestaltung eines Montage- oder Handarbeitsplatzes ist die Beleuchtung. Eine ausreichende Beleuchtung ist notwendig, um eine unbehinderte Sicht auf das Werkstück zu gewährleisten. Die Kombination aus natürlichem und künstlichem Licht kann Blendungen vermeiden und die Sichtbarkeit verbessern. Die Ergonomie eines Arbeitsplatzes ist ebenfalls von Bedeutung. Der Arbeiter sollten in der Lage sein, die Arbeit in einer bequemen und natürlichen Haltung auszuführen, um Muskel- und Gelenkbelastungen zu vermeiden. Der Arbeitsplatz sollte so gestaltet sein, dass der Arbeiter in einer neutralen Körperhaltung arbeiten kann, ohne sich zu strecken, zu bücken oder zu verdrehen. Eine effektive Organisation von Werkzeugen und Materialien, steigert die Effektivität und die Effizienz. Werkzeuge, Hilfsmittel und Bauteile sollten leicht zugänglich aufbewahrt werden, um eine einfache Handhabung gewährleisten und Unordnung verhindern zu können. Eine sichere Arbeitsumgebung ist notwendig, um Verletzungen oder Schäden durch Werkzeuge und Materialien zu vermeiden. Die Arbeiter sind über die notwendigen Arbeitsabläufe, Schutzmaßnahmen und Verfahren zu informieren. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein Montagehandarbeitsplatz eine sorgfältige Planung erfordert, um eine effiziente, sichere und ergonomische Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Größe, Beleuchtung, Ergono-

mie, Organisation und Sicherheit sind wichtige Faktoren, die bei der Einrichtung berücksichtigt werden müssen, um eine erfolgreiche Arbeitsumgebung zu schaffen.[3]

2.3 Methods Time Measurement

Methods Time Measurement (MTM) ist eine Methode zur Messung der Zeit, die benötigt wird, um eine bestimmte Aufgabe durchzuführen. Es wurde in den 1940er Jahren von L.H. Maynard und L.B. Stegemerten entwickelt und ist heute eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur Bestimmung von Arbeitszeiten in der industriellen Produktion. Das MTM-System basiert auf der Analyse der einzelnen Bewegungen, die ein Arbeiter durchführt, um eine Aufgabe zu erledigen. Diese Bewegungen werden in vordefinierten Einheiten gemessen, die als "Bewegungszeit" bezeichnet werden.[4] Abbildung 1 zeigt die fünf Basisgesten des MTM-Systems.

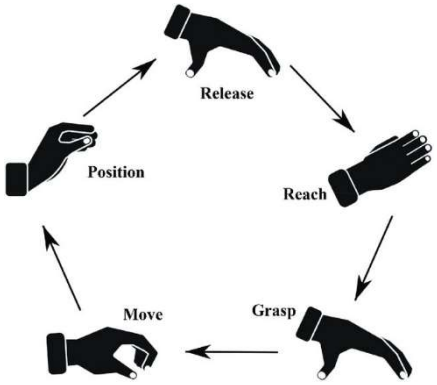


Abbildung 1: Basisgesten des MTM (Riedel, Brehm & Pfeifroth, 2022)

Jede Bewegungszeit hat eine bestimmte Standarddauer, die aufgrund empirischer Untersuchungen ermittelt wurde. Dabei werden die Arbeitsabläufe analysiert und alle erforderlichen Bewegungen identifiziert. Jede Bewegung wird einer bestimmten Bewegungszeit zugeordnet. Anschließend ergibt die Summe aller Bewegungszeiten die Gesamtarbeitszeit. Die Ergebnisse der

[3] Vgl. item, 2022

[4] Vgl. REFA Bundesverband e.V., 2015

MTM-Analyse können verwendet werden, um die Effizienz von Arbeitsabläufen zu analysieren und zu verbessern. Durch die Identifizierung unnötiger Bewegungen können Arbeitsprozesse optimiert und die benötigte Arbeitszeit reduziert werden. Dies kann dazu beitragen, die Produktivität zu steigern und Kosten zu reduzieren. Eine der Hauptanwendungen von MTM ist die Arbeitsplatzgestaltung. Durch die Identifizierung unnötiger Bewegungen können Arbeitsplätze so gestaltet werden, dass sie ergonomischer und sicherer sind. Dies kann dazu beitragen, die körperliche Belastung der Arbeiter zu reduzieren und das Risiko von Arbeitsunfällen zu minimieren. MTM-Analysen dienen ebenfalls der Planung neuer Fertigungsprozessen und der Einführung neuer Produkte. Durch die Vorhersage der benötigten Arbeitszeit können die Kosten und der Zeitplan für die Produktion spezifisch geplant werden.[5]

2.4 Werkerassistenzsystem

Werkerassistenzsysteme wurden entwickelt, um Arbeitsabläufe zu erleichtern und zu verbessern, indem sie den Arbeiter bei der Durchführung von Aufgaben unterstützen. Diese Systeme werden in verschiedenen Branchen eingesetzt, einschließlich der Fertigung, Logistik und Montage. Die Definition von Werkerassistenzsystemen variiert je nach Anwendungsbereich, aber im Allgemeinen bezieht sich der Begriff auf eine Kombination aus Hardware und Software, welche verwendet wird, um Arbeitern bei der Ausführung von Aufgaben zu helfen. Dies kann alles von einfachen Anweisungen oder Warnungen bis hin zu detaillierten Schritt-für-Schritt-Anleitungen umfassen, die auf einem Bildschirm angezeigt werden.[6] Die Hauptaufgabe von Werkerassistenzsystemen ist es, die menschliche Arbeitsleistung zu unterstützen und diese zu verbessern, indem sie deren Effizienz, Genauigkeit und Sicherheit von Arbeitsprozessen steigern soll. Werkerassistenzsysteme müssen verschiedene Anforderungen erfüllen, um eine erfolgreiche Benutzung gewährleisten zu können. Eine wichtige Anforderung ist die Benutzerfreundlichkeit, da das System für

[5] Vgl. Rast, 2022

[6] Vgl. Grobe, 2019

den Benutzer einfach und intuitiv zu bedienen sein muss. Das System sollte flexibel und in der Lage sein, sich an verschiedene Arbeitsumgebungen und Arbeitsabläufe anzupassen.[7] Eine weitere Anforderung ist die Sicherheit, da das System sicherstellen sollte, dass die Aufgaben korrekt und zuverlässig ausgeführt werden. Es gibt verschiedene Einsatzmöglichkeiten für Werkerassistenzsysteme. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Augmented-Reality-Technologie, bei der Informationen auf einem Bildschirm angezeigt werden, um dem Benutzer bei der Durchführung von Aufgaben zu helfen. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Wearables wie Armbändern oder Handschuhen, die Sensoren enthalten, um die Bewegungen des Benutzers zu verfolgen und Feedback oder Anweisungen zu geben.[8]

2.5 Kanban-System

Das Kanban-System ist eine bewährte Methode des Produktionsmanagements. Der Einsatz eines Kanban-Systems ermöglicht eine effiziente und reibungslose Arbeitsabwicklung an Montagearbeitsplätzen. Das Kanban-System basiert auf dem Konzept der Just-in-Time-Produktion und der Reduzierung von Verschwendung. Es zielt darauf ab, Materialflüsse und Arbeitsprozesse optimal zu organisieren, um Engpässe, Überproduktion und Wartezeiten zu minimieren. Im Kanban-System werden sogenannte Kanban-Karten verwendet, um den Materialfluss zu steuern und Informationen über den Arbeitsfortschritt zu kommunizieren. Jedes Produkt oder jeder Arbeitsschritt wird mit einer Kanban-Karte versehen, die Informationen wie Produktbeschreibung, Stückzahl und Anforderungen enthält. Das Kanban-System arbeitet nach dem Pull-Prinzip. Dies bedeutet, dass Materialien oder Aufgaben erst in die Bearbeitung übergehen, wenn der vorherige Arbeitsschritt abgeschlossen ist und weitere Kapazitäten verfügbar sind. Das Kanban-System unterstützt zudem das effektive Bestandsmanagement.

---

[7] Vgl. Noris-IB, 2023

[8] Vgl. Brockmann, 2023

Durch die Kontrolle der Anzahl der Kanban-Karten kann der Bestand optimiert und eine Verschwendung von Ressourcen vermieden werden. Wenn der Bestand auf einen definierten Mindestwert fällt, wird die Kanban-Karte als Signal genutzt, um Nachschub zu organisieren.

Vorteile des Kanban-Systems für einen Handarbeitsplatz sind die effiziente Nutzung von Arbeitszeit und Ressourcen, die Vermeidung von Engpässen und Wartezeiten, Reduzierung von Überproduktion und Verschwendung, klare Visualisierung des Arbeitsfortschritts und die Verbesserung der Kommunikation und des Informationsflusses.[9]

[9] Vgl. Butz & Kühner, 2022

3 Weiterentwicklung des Handarbeitsplatz

3.1 Zukunftsfabrik

Die Zukunftsfabrik Bodensee befindet sich am Campus Fallenbrunnen der DHBW Ravensburg. Die Zukunftsfabrik ist Bestandteil des Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP). Damit will die DHBW Ravensburg Unternehmen eine Möglichkeit bieten, den wachsenden Herausforderungen der Dynamisierung von Produkt- und damit auch Produktionslebenszyklen zu begegnen.[10] Die Zukunftsfabrik bildet für das ZDP und seine Forschungstätigkeiten den strategischen Mittelpunkt. Die Aufgabe der Zukunftsfabrik ist es, eine reale Wertschöpfungskette, die durch vernetzte, adaptive und selbstlernende Systeme charakterisiert ist, darzustellen. Durch die Zusammenarbeit mit der bestehenden Lernfabrik des IWT soll ein einzigartiges Produktionsnetzwerk entstehen. In diesem Netzwerk wird ein "Smart Product" in einer Vielzahl von Varianten hergestellt und im Sinne der Kreislaufwirtschaft zurückgeführt. Die Zukunftsfabrik schafft die Grundlage für eine gezielte und praxisorientierte Forschung und Lehre in den Bereichen digitaler Zwilling, KI in der Produktion, Mensch-Maschine-Interaktion, Produktionsplattformen und Kreislaufwirtschaft. Die Forschungen des Campus Fallenbrunnen sind durch die Einbeziehung regionaler KMU stets an den aktuellen Bedürfnissen der Industrie ausgerichtet.

Das Projekt besitzt aktuell ein Projektteam aus circa 29 Studierenden, vier Professoren, vier Laboringenieuren, drei wissenschaftlichen Mitarbeitern sowie drei Doktoranden in 12 Teilprojekten.[11]

[10] Vgl. DHBW Ravensburg, 2022

[11] Vgl. DHBW Ravensburg, 2022

3.2 Produktionsablauf

Das zu fertigende Universalprodukt soll über ein mit Sensoren ausgestattetes Fließband vier Stationen durchlaufen. Die Anforderung ist es, diese zur richtigen Zeit mit der jeweils richtigen Variante anfahren. Zu Beginn des Ablaufes soll mit Hilfe eines QR-Scanners die benötigte Variante bestimmt werden. Anschließend wird das Produkt von dem Bereitstellungsort mittels eines kollaborativen Roboters auf dem Werkstückträger des Bandsystems platziert. An der zweiten Station werden Bolzen für die jeweilige Variante mittels Bin Picking kommissioniert und auf den Werkstückträger gegeben. Die dritte Station ist ein manueller Handarbeitsplatz. Dieser ist ergonomisch ausgerichtet und beinhaltet einen definierten Bereich für die Vormontage, sowie einen Bereich für die finale Montage des Vorprodukts. Geführt wird der Arbeiter durch den Einsatz eines Werkerassistenzsystem. Anschließend wird das montierte Vorprodukt auf dem Fließband zur letzten Station der Zukunftsfabrik transportiert. Zum Ende des Produktionsablaufes in der Zukunftsfabrik folgt die Endprüfung des Vorprodukts und die Übergabe an das Transportsystem zur Lernfabrik des IWT. Mit dem Transportsystem wird das Produkt über den Campus vom PTZ zur Lernfabrik des IWT geliefert. Dort wird nach einer manuellen Montagetätigkeit, die Endmontage des Universalproduktes mittels einer automatisierten Schraubstation durchgeführt. Das fertig montierte Universalprodukt wird abschließend durch eine Endkontrolle auf Vollständig- und Richtigkeit geprüft, ehe das Produkt eingelagert und anschließend wieder für die Demontage bereitgestellt wird. Abbildung 2 stellt den groben Produktionsablauf der zwei beteiligten Forschungszentren der Zukunftsfabrik und der Lernfabrik dar.[12]

[12] Vgl. DHBW Ravensburg, 2022

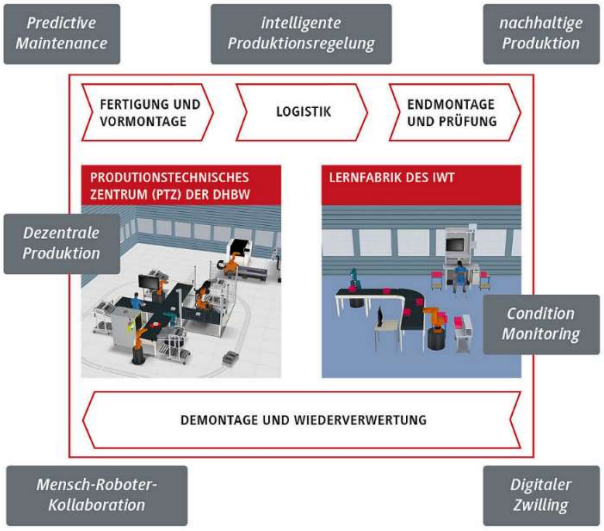


Abbildung 2: Vision der ZDP (ravensburg.dhbw.de, 2023)

3.3 IST-Zustand Handarbeitsplatz

Der Handarbeitsplatz wurde mittels Cardboard Engineering konzeptioniert. Cardboard Engineering bezieht sich auf die Gestaltung, Konstruktion und Herstellung von Produkten und Strukturen aus Karton oder Pappe.[13] Im Anschluss wurde das Konzept des Cardboard Engineering mit Hilfe des Creform Rohrstecksystems umgesetzt. Der Handarbeitsplatz besitzt eine Breite von 2,0m, eine Tiefe von 0,80m und eine Höhe von 2,5m. Der Handarbeitsplatz erfüllt folgende Anforderungen: Behälterrückführung, Werkzeug-/ Materialbereitstellung und Montagefläche. Zudem wurde im Allgemeinen auf eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung geachtet. Für den Einsatz eines Werkerassistenzsystems wurde bereits ein Touch-Monitor und die Kamera des Systems installiert.

Abbildung 3 zeigt den Ist-Zustand des Handarbeitsplatzes. Es gibt neun Materialzuführungsfächer mit passenden Sichtlagerboxen und sechs Fächer für die Rückführung der leeren Sichtlagerboxen. Der Touch-Monitor ist zentral auf Kopfhöhe auf einer Multiplex Holzplatte verschraubt. Links und Rechts davon befindet sich jeweils eine Materialzuführungsmöglichkeit. Auf der Montagefläche wurden bereits Montagevorrichtungen und Werkzeughalterungen für die Vormontage konstruiert, gefertigt und installiert.

[13] Vgl. Ulbrich, 2020



Abbildung 3: IST-Zustand Handarbeitsplatz

3.4 Standardisierung des Handarbeitsplatz

Die Standardisierung von Handarbeitsplätzen ist aus verschiedenen Gründen wichtig. Durch die Standardisierung können Arbeitsabläufe optimiert und Prozesse rationalisiert werden. Einheitliche Verfahren, Arbeitsanweisungen und Arbeitsmittel ermöglichen eine effiziente Durchführung von Aufgaben. Dies führt zu einer Steigerung der Produktivität und einer Reduzierung von Fehlern und Ausschuss. Zudem ermöglichen die standardisierten Handarbeitsplätze eine bessere Kontrolle der Produktqualität. Durch einheitliche Arbeitsvorgaben und klare Qualitätsstandards wird sichergestellt, dass das Produkt konsistent und nach definierten Qualitätskriterien montiert wird. Die Standardisierung des Handarbeitsplatzes schafft die Möglichkeit, Mitarbeiter flexibel einzusetzen und Arbeitskräfte auszutauschen. Wenn Arbeitsabläufe und -anweisungen klar definiert sind, können verschiedene Mitarbeiter leichter in verschiedenen Phasen der Produktion eingesetzt werden. Zudem trägt Standardisierung von

Handarbeitsplätzen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit bei. Einheitliche Verfahren und klare Arbeitsanweisungen ermöglichen es den Mitarbeitern, die Aufgaben sicherer und mit geringerem Verletzungsrisiko auszuführen. Zudem können Sicherheitsstandards besser implementiert und kontrolliert werden. Durch die einheitliche Dokumentation von Arbeitsabläufen können Schwachstellen und Engpässe identifiziert werden. Dies ermöglicht es, Prozesse zu optimieren, Fehler zu minimieren und kontinuierlich Verbesserungen vorzunehmen.[14]

Zu Beginn der Standardisierung des Handarbeitsplatzes der Zukunftsfabrik wurden die verschiedenen Ebenen der Materialzuführung des Handarbeitsplatz definiert. Die Materialzuführung des Handarbeitsplatzes gliedert sich in drei Greifbereiche, welche jeweils in einzelne Ebenen unterschieden werden. Der Bereich A befindet sich frontal vor der Montagearbeitsfläche. Er untergliedert sich vertikal in die Ebenen A1 und A2. Diese untergliedern sich jeweils horizontal in ihre einzelnen Zuführungsfächer, welche mit einer fortlaufenden Nummer beschrieben werden, z.B. A1.1, A1.2, usw. Der Bereich B befindet sich schräg rechts aus Sicht vor der Montagearbeitsfläche. Dieser Bereich besitzt lediglich eine Ebene, welche als B1.1 definiert wird. Rechtsseitig befindet sich der Greifbereich C. Dieser Bereich untergliedert sich vertikal in die Ebenen C1, C2 und C3. Die Ebene C1 dient ebenfalls zur Materialbereitstellung, die Ebenen C2 und C3 hingegen zur Rückführung der leeren Sichtlagerboxen. Die Ebenen untergliedern sich ebenfalls horizontal in ihre einzelnen Abführungsfächer, welche mit einer fortlaufenden Nummer beschrieben werden, z.B. C2.1, C2.2, usw. Abbildung 4 zeigt die festgelegten Greifbereiche des Handarbeitsplatz.

[14] Vgl. Butz & Kühner, 2022

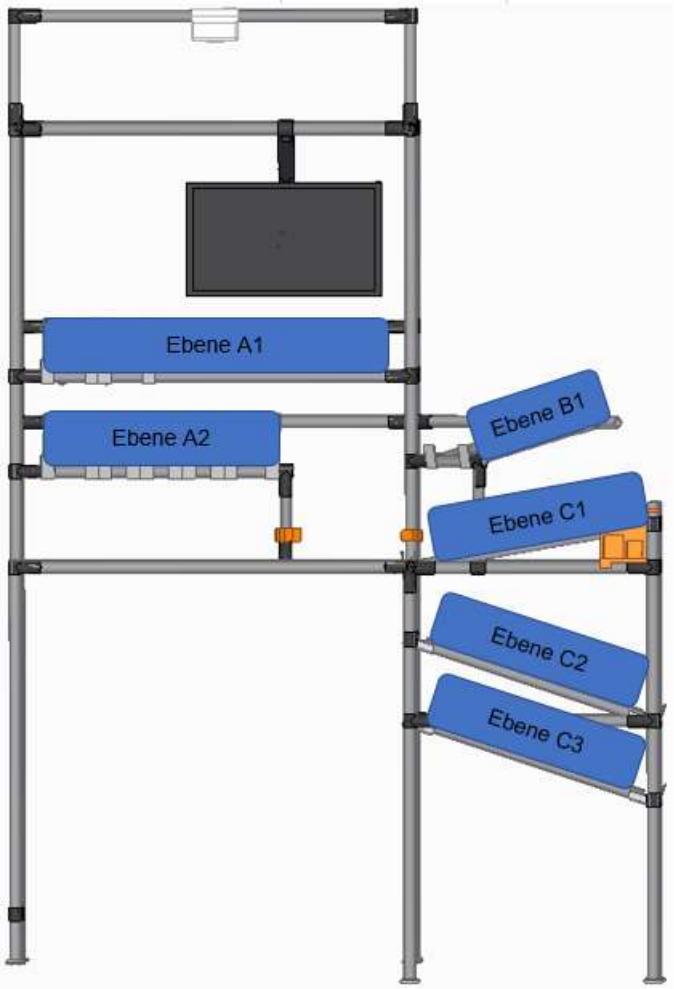


Abbildung 4: Standardisierung (e.D.)

Anschließend werden die zu verarbeitenden Bauteile und Hilfsmittel betrachtet und entsprechende Materialnummern vergeben. Die Materialnummern bestehen aus einer sechsstelligen Zahl und dienen zur eindeutigen Identifikation der einzelnen Komponenten. Die erste Zahl gibt an, ob es sich um ein zu montierendes Bauteil handelt oder um ein Hilfsmittel. Bauteile beginnen mit der Zahl 1, folgend von einer fortlaufenden Nummer. Hilfsmittel beginnen mit der Zahl 2 und enden ebenfalls mit einer fortlaufenden Nummer. Nachfolgend wurden den Bauteilen und Hilfsmittel feste Lagerplätze vergeben, sodass sich die Teile immer an einem definierten Lagerort befinden. Tabelle 1 zeigt die Materialstammsatztabelle mit Bezeichnungen der Bauteile und Hilfsmittel, deren Materialnummer und ihren definierten Lagerplatz.

Bezeichnung	Materialnummer	Lagerplatz
Grundkörper Gehäuse	100001	
Grundkörper Seitenteil	100002	A2.5
RFID Deckel	100003	C1.1
RFID Chip	100004	B1.1
Griff	100005	A1.1
Adapterplatte	100006	A2.1
Bolzen	100007	
Scheibe ISO 7090-4	200001	A2.3
Senkschraube ISO 10642 - M4x25	200002	A2.2
Hutmutter DIN 1587 - M4	200003	A2.4

Tabelle 1: Materialstammsatz

3.5 Optimierung des Handarbeitsplatz

Durch die Optimierung von Handarbeitsplätzen können Arbeitsabläufe und Prozesse verbessert werden. Dies kann durch die Eliminierung von überflüssigen Schritten, die Reduzierung von Wartezeiten oder die Einführung effizienterer Werkzeuge und Vorrichtungen erreicht werden. Eine effiziente Arbeitsplatzgestaltung ermöglicht es den Mitarbeitern, ihre Aufgaben schneller, was zu einer Steigerung der Gesamtleistung führt. Ebenfalls können durch die Optimierung von Handarbeitsplätzen Kosten gesenkt werden. Durch die Identifizierung und Beseitigung von Verschwendung, wie beispielsweise unnötigen Materialverbrauch, übermäßigen Energieverbrauch oder ineffiziente Prozesse, können Ressourcen effizienter genutzt werden. Zudem trägt die Optimierung dazu bei, die Qualität der hergestellten Produkte oder Dienstleistungen zu verbessern. Dadurch können Maßnahmen ergriffen werden, um diese zu beheben. Durch die Gestaltung von Arbeitsplätzen, die den physischen und psychischen Bedürfnissen der Mitarbeiter entsprechen, können Verletzungen, Arbeitsunfälle und gesundheitliche Probleme verringert werden.

Die Optimierung von Handarbeitsplätzen ist daher von großer Bedeutung, um die Effizienz und Qualität zu verbessern.

Um den Handarbeitsplatz wirtschaftlich und sicher zu gestalten wurden folgende sieben Optimierungsmaßnahmen am Handarbeitsplatz der Zukunftsfabrik durchgeführt.

Als erste Optimierungsmaßnahme wurde der bereits vorhandene (Touch-) Monitor von der bisherigen Befestigungsplatte demontiert und mit einem Schwenkarm, welcher mit dem Rohrstecksystem verbunden ist, ausgestattet.

Der Schwenkarm ermöglicht es dem Benutzer, den Monitor auf die ideale Höhe und Position einzustellen, um eine ergonomische Arbeitsumgebung zu schaffen. Indem der Monitor auf Augenhöhe positioniert wird, können Nacken- und Augenbelastungen reduziert werden. Der Schwenkarm lässt den Monitor in verschiedene Richtungen schwenken, neigen oder drehen. Dies ermöglicht dem Benutzer, den Blickwinkel anzupassen, um Reflexionen zu vermeiden. Der Schwenkarm bietet zudem die integrierte Funktion des Kabelmanagement, sodass die Kabel ordentlich und außer Sicht gehalten werden können. Er ist eine praktische Lösung, um den Monitor optimal anzupassen und so eine komfortable Arbeitsumgebung zu schaffen.

Die zweite Optimierungsmaßnahme war die Neuanordnung der Materialzuführungsboxen der Ebene A1.2 und der Ebene C1.1 um Greifwege zu reduzieren und optimale Nutzung des verfügbaren Arbeitsraums. Die kürzeren Greifwege bedeuten insgesamt eine schnellere Durchführung der Montageaufgaben. Diese Optimierungsmaßnahme erhöht die Produktivität der Mitarbeiter.

Die dritte Optimierungsmaßnahme war die Konstruktion eines neuen Halteblock für den Handschraubendreher SW2,5. Der vorhandene Halteblock war nach unten geöffnet, wodurch der Schraubendreher unter der Arbeitsplatte zum Vorschein kam. Aus Gründen der Arbeitssicherheit wurde der neue Halteblock so konstruiert, dass die Bohrung zur Halterung des Schraubendrehers eine Sackloch-, anstelle einer Durchgangsbohrung ist. Somit wird gewährleistet, dass der Schraubendreher nicht unterhalb der Arbeitsplatte herausragt und keine potenzielle Gefahr mehr darstellt. Abbildung 5 zeigt das 3D-Modell des neuen Halteblocks.

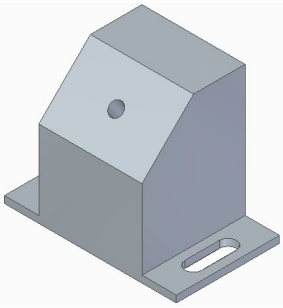


Abbildung 5: Schraubendreher Halteblock (e.D.)

Die vierte Optimierungsmaßnahme ist die Neugestaltung der Montagevorrichtung für die Vormontage des Griffs. Die bisherige Montagevorrichtung gewährleistet nur die axiale Sicherung der Position des Bauteil Grundkörper Seitenteil. Der zu montierende Griff lässt sich jedoch radial bewegen, wodurch dessen Positionshaltigkeit nicht gewährleistet ist. Durch die neue Montagevorrichtung wird der Griff passgenau ausgerichtet, sodass dieser nur noch mit dem Seitenteil verschraubt werden muss. Durch die Optimierung der Montagevorrichtung wird der Produktionsablauf effizienter gestaltet. Die passgenaue Ausrichtung ermöglicht eine schnellere und genauere Montage der Bauteile. Zudem werden durch die genaue Positionierung und Fixierung der Bauteile Montagefehler minimiert. Abbildung 6 zeigt die neue und optimierte Montagevorrichtung für die Vormontage im 3D-Modell.

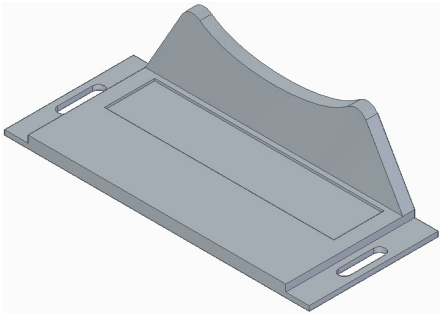


Abbildung 6: Montagevorrichtung Grundkörper Seitenteil (e.D.)

Die fünfte Optimierungsmaßnahme ist die Neugestaltung der Montagevorrichtung des Griffs. Diese Optimierung resultiert aus der Neugestaltung der Montagevorrichtung Grundkörper Seitenteil. Um eine passgenaue Montage des Griffs zu gewährleisten, wurde diese Montagevorrichtung neu konstruiert. Im Vordergrund steht hierbei die Passgenauigkeit der zu montierenden Bauteile in Verbindung mit der Montagevorrichtung Grundkörper Seitenteil. Angepasst wurde die Position und Tiefe der Bohrung. Die Tiefe wurde von 100mm auf 50mm reduziert. Dies bietet eine zusätzliche Zeitersparnis bei der Bestückung der Montagevorrichtung, was eine geeignete Arbeitsweise zur Folge hat. Ebenfalls wurde die zuvor rechteckigen Kanten der Montagevorrichtung auf Grund der Arbeitssicherheit mit einem Radius verrundet. Dies verhindert, dass

die Montagevorrichtung dem Arbeiter die Möglichkeit bietet, sich an den scharfen Kanten und Ecken zu verletzen. Abbildung 7 zeigt das 3D-Modell der Montagevorrichtung Griff.

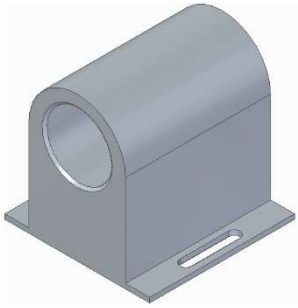


Abbildung 7: Montagevorrichtung Griff (e.D.)

Die sechste Optimierungsmaßnahme des Handarbeitsplatzes war die Einführung eines Kanban System zum Bestandsmanagement. Voraussetzung war die Standardisierung des Handarbeitsplatzes, die Erstellung von Labels und Kanban Karten, sowie die Konstruktion und die Einführung eines Kanban Kasten. Der Kanban Kasten wurde so konstruiert, dass er ohne zusätzlichen Montageaufwand in das vorhandene Rohrstecksystem integriert werden kann. Dieser Kanban Kasten wird auf das Rohrende des Greifbereichs C gesteckt und ist so in unmittelbarer Nähe zu den Rückführplätzen der Sichtlagerkästen. Zudem besitzt der Kanban Kasten an der Unterseite einen Radius, welcher eine passgenaue Montage auf das Rohrstecksystem ermöglicht, wodurch dessen Position radial gesichert wird. Der Kasten bietet die Möglichkeit zur Bereitstellung von zwei Label Größen. Abbildung 8 zeigt das 3D Modell des verwendeten Kanban Kasten.

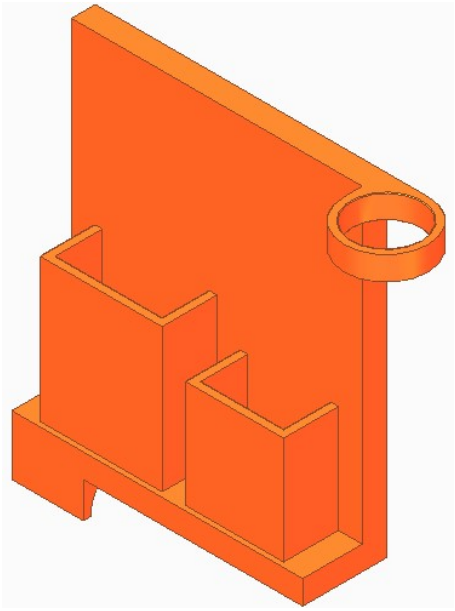


Abbildung 8: Kanban Kasten (e.D.)

Das Kanban-System für das Bestandsmanagement des Handarbeitsplatzes lässt sich wie folgt beschreiben: Alle Sichtlagerboxen in den Greifbereichen A, B und C1.1 sind mit den Kanban Karten, ausgestattet. Die Karten enthalten Informationen über die Bezeichnung des Materials, welches sich in dem Sichtlagerkasten befindet, dessen Materialnummer und den fest vergebenen Lagerplatz. In jeder Ebene der Greifbereiche befinden sich jeweils mindestens zwei gefüllte Sichtlagerboxen mit dem entsprechenden Material. Ist das zur Verfügung gestellte Material einer Sichtlagerbox leer, so wird die leere Box vom Arbeiter aus der Ebene entnommen und die zweite, bereits gefüllte Box rückt nach. Das Label der leeren Box wird herausgezogen und in das entsprechende Fach im Kanban Kasten gesteckt und im Anschluss wird die leere Box in einen der Bereiche C2 oder C3 gestellt. So kann die Logistik feststellen, welches der Materialien bereitgestellt werden muss. Der Arbeiter der Logistik entnimmt die leere Box der Ebene C2 und/ oder C3, zieht die vorhandenen Kanban Karten, füllt die Sichtlagerbox wieder mit dem benötigten Material und stellt es wieder an den definierten Lagerplätzen zur Verfügung. Durch das Pull-Prinzip des Kanban Systems kann die dauerhafte Materialverfügbarkeit am Handarbeitsplatz gewährleistet werden. Abbildung 9 zeigt eine der verwendeten Kanban Karten.



Abbildung 9: Kanban Karte (e.D.

Die siebte Optimierungsmaßnahme war die Konstruktion und Anbringung von Halterungen für die I/O-Link Sensoren. Die Halterungen wurden so konstruiert, dass die Sensoreinheiten direkt mit den Halterungen verschraubt werden können. Die Halterungen werden am Handarbeitsplatz an der Entnahme- und Rückgabestelle montiert. Abbildung 10 zeigt die 3D-Modelle der verwendeten Halter.

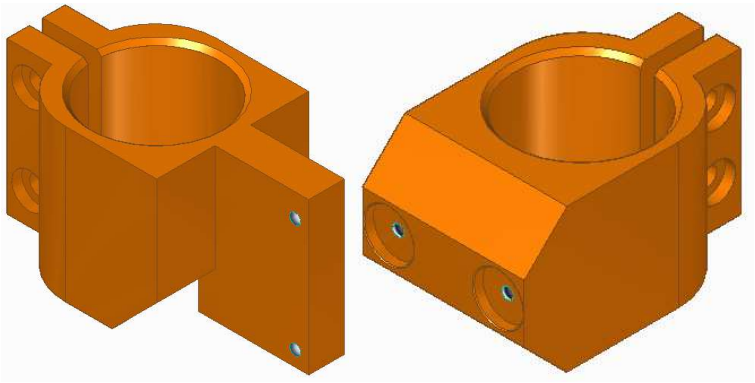


Abbildung 10: I/O Sensor-/Reflektor-Halterung (e.D.)

Die Halter müssen so montiert werden, dass sich die Sensoren und deren Reflektoren direkt gegenüber befinden. Die Funktion der I/O-Link-Sensoren besteht darin, Informationen über den Zustand von Objekten oder Prozessen zu erfassen und diese Informationen über eine digitale Schnittstelle an ein Steuerungssystem zu übertragen. Im Fall des Handarbeitsplatzes der Zukunftsfabrik sollen die Sensoreinheiten dazu dienen, die benötigte Prozesszeit der Montage zu überwachen. Hierzu werden zwei I/O-Link Sensoren von ifm electronic verwendet. Dabei soll der vordere Sensor ein Signal übermitteln, wenn eine Handbewegung zum Fließband geschieht, der zweite Sensor meldet die rückläufige Bewegung. Durch genaues erfassen der benötigten Zeit kann die Montagezeit exakt ermittelt und überwacht werden. Abbildung 11 zeigt die Montageposition der Sensoren am Handarbeitsplatz der Zukunftsfabrik.



Abbildung 11: Position der I/O-Links Sensoren (e.D)

3.6 Arbeitsablauf

Die Standardisierung des Handarbeitsplatz unterstützt die Definition der genauen Arbeitsabläufe für die zu fertigenden Varianten. Eingehend werden die einzelnen Arbeitsabläufe der fünf zu fertigenden Varianten genau betrachtet, um Soll-Arbeitszeiten für diese zu ermitteln. Für die Ermittlung der Soll-Arbeitszeiten wird die Methode der MTM-Analyse verwendet. Beginnend werden die einzelnen Bewegungen der Arbeitsschritte analysiert. Für die Fertigung des Universalprodukts werden die Bewegungsabläufe Körper-, Bein- und Fußbewegung, Hinlangen, Bringen, Greifen, Fügen, Blickfunktionen und Loslassen bewertet. Bei der MTM-Analyse werden die Bewegungswege der einzelnen Arbeitsschritte identifiziert und analysiert. Je nach Bewegungslänge wird ein Kode für die entsprechende Bewegung vergeben, welcher sich wiederum einer definierten TMU-Kennzahl zuordnen lässt. 1 TMU entspricht 0,036 Sekunden.[15] Durch Aufsummieren der einzelnen TMU-Ergebnisse ergibt sich die Soll-Arbeitszeit pro Variante. Die Multiplikation des TMU mit dem Sekundenfaktor gibt das ermittele Ergebnis in Sekunden aus. Daraus resultieren festgelegte Soll-Arbeitszeiten für die einzelnen Arbeitsschritte. Die nachfolgende Tabelle zeigt Zuordnung der einzelnen Arbeitsschritte der verschiedenen Varianten, deren Kodes, die daraus resultierende TMU und die ermittelte Soll-Arbeitszeit in Sekunden. Die MTM-Analyse dient als Grundlage zur Erstellung der folgend dargestellten und beschriebenen Arbeitspläne.

[15] Vgl. Rast, 2022

MTM Analyse

Arbeitsschritte	Körper-, Bein- und Fußbewegung		Hinlangen - R		Bringen - M		Greifen - G		Fügen - P		Blickfunktionen		Loslassen - RL		Summe TMU	Summe in s	Zeit/Zykl. Gesamt
	Kode	TMU	Kode	TMU	Kode	TMU	Kode	TMU	Kode	TMU	Kode	TMU	Kode	TMU			
Variante 1																	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) vom Fließband entnehmen			R-A 40	11,30	M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	31,10	1,1196	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	70,20	2,5272	
RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	59,60	2,1456	8,856
RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 30 R-A 10	15,60	M-A 30 M-A 10	18,70	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	65,30	2,3508	
Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen					M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	19,80	0,7128	
Variante 2																	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen			R-A 40 R-A 40	22,60	M-A 40 M-A 40	31,60	G1A	2,00					RL1	2,00	58,20	2,0952	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	70,20	2,5272	
RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	59,60	2,1456	
RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 30 R-A 10	15,60	M-A 30 M-A 10	18,70	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	65,30	2,3508	11,3832
Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken			R-A 10	6,10	M-A 10	6,00	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	43,10	1,5516	
Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen					M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	19,80	0,7128	

Variante 3																
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen			R-A 40 R-A 40	22,60	M-A 40 M-A 40	31,60	G1A	2,00					RL1	2,00	58,20	2,0952	11,3832
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	70,20	2,5272	
RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	59,60	2,1456	
RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 30 R-A 10	15,60	M-A 30 M-A 10	18,70	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	65,30	2,3508	
Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken			R-A 10	6,10	M-A 10	6,00	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	43,10	1,5516	
Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen					M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	19,80	0,7128	
Variante 4																
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen			R-A 40 R-A 40 R-A 40	33,90	M-A 40 M-A 40 M-A 40	47,40	G1A	2,00					RL1	2,00	85,30	3,0708	13,5036
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	70,20	2,5272	
RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 40 R-A 10	17,40	M-A 40 M-A 10	21,80	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	59,60	2,1456	
RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen			R-A 30 R-A 10	15,60	M-A 30 M-A 10	18,70	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	65,30	2,3508	
Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken			R-A 10 R-A 10	12,20	M-A 10 M-A 10	12,00	G1A	2,00	P2 P2	39,40	EF	7,30	RL1	2,00	74,90	2,6964	
Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen					M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	19,80	0,7128	

Variante 5																	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) vom Fließband entnehmen			R-A 40	11,30	M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	31,10	1,1196	
Griff (Matr.Nr.100005) in Vorrichtung schieben	SS-C2	42,10	R-A 40 R-A 6	15,80	M-A 40 M-A 6	21,80	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	100,10	3,6036	
Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) in Vorrichtung stellen und fixieren			R-A 40	11,30	M-A 60	22,10	G1A	2,00	P1 A-FMA	109,10	EF	7,30	RL1	2,00	153,80	5,5368	
Adapterplatte (Matr.Nr.100006) in vorgesehne Bohrungen der Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) stecken			R-A 40	11,30	M-A 40	15,80	G1A	2,00	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	58,10	2,0916	
Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) durch Adapterplatte (Matr.Nr.100006) und Griff (Matr.Nr.100005) führen			R-C 40	11,30	M-C 40	18,50	G1A	2,00	P1	9,10	EF	7,30	RL1	2,00	50,20	1,8072	38,844
Scheibe ISO 7090-4 (Matr.Nr.200001) auf Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) stecken			R-C 40	11,30	M-C 40	18,50	G1B	3,50	P2	19,70	EF	7,30	RL1	2,00	62,30	2,2428	
Hutmutter DIN 1587 - M4 (Matr.Nr.200003) mit Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) verschrauben			R-C 40	11,30	M-C 40	18,50	G1B	3,50	P2 A-SAB A-SZA	359,70	EF	7,30	RL1	2,00	402,30	14,4828	
Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken	SS-C2	42,10	R-C 10	6,10	M-A 60	22,10	G1A	2,00	P2 A-FMA	119,70	EF	7,30	RL1	2,00	201,30	7,2468	
Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen					M-A 40	15,80	G1A	2,00					RL1	2,00	19,80	0,7128	

Tabelle 2: MTM-Analyse

Folgend werden die Arbeitsabläufe, die für die Montage der jeweiligen Variante notwendig sind, beschieben.

Die Montage der ersten Variante gliedert sich in fünf Einzelmontageschritte auf. Als erstes wird der Grundkörper vom Fließband aus der Materialbereitstellungsbox entnommen und auf die Montagearbeitsfläche gelegt. Anschließend wird das Bauteil Grundkörper Seitenteil aus der Sichtlagerbox der Greifebene A2.5 entnommen und in das Grundkörper Gehäuse gesteckt. Die Montage muss mit leichtem Kraftaufwand erfolgen, um die ordnungsgemäße Position zu gewährleisten. Nach dem zusammenfügen der Grundkörperkomponenten, wird der RFID-Chip aus der Sichtlagerbox der Greifebene B1.1 entnommen, in die vorhergesehene Aussparung am Grundkörper Gehäuse eingelegt und mit dem RFID-Deckel aus der Sichtlagerbox der Greifebene C1.1 in seiner Position gesichert. Abschließend wird das fertig montierte Bauteil wieder zurück in die Materialbereitstellungsbox auf das Fließband gelegt. Abbildung 12 zeigt die Darstellung des Bauteils der Variante 1 im 3D-Modell.

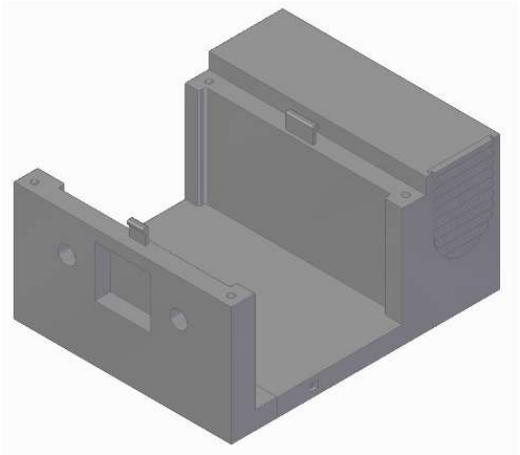
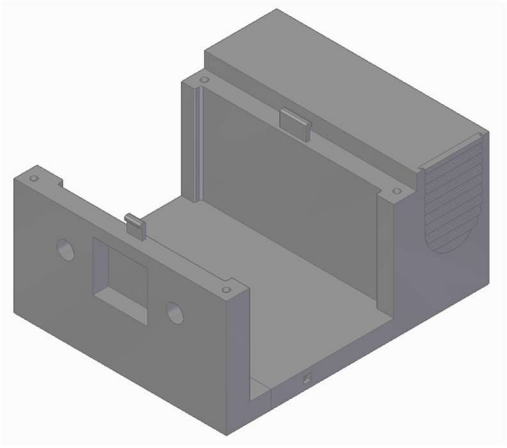


Abbildung 12: Variante 1 (ZDP, 2022)

Folgend wird der Arbeitsplan dargestellt, welcher dem Arbeiter am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wird. Auf dem Arbeitsplan werden die einzelnen Arbeitsschritte, die benötigten Arbeits- und Hilfsmittel und die vorgegebene Soll-Zeit dargestellt.

Montagearbeitsplan Universalprodukt				Z entrum für D igitalisierung in P roduktion & Produktentwicklung
Variante:	1	Blatt-Nr.: 1	Anzahl Blätter: 1	

Lfd Nr.	Arbeitsschritt	Arbeitsmittel/ Hilfsmittel	Soll-Zeit
10	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) vom Fließband entnehmen		*1,12 s*
20	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken		*2,53 s*
30	RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,15 s*
40	RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,35 s*
50	Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		*0,71 s*



erstellt:	geprüft:	genehmigt:	
Datum:	Datum:	Datum:	Rev. 1

Die Montage der zweiten Variante untergliedert sich in sechs Einzelmontageschritte. Als erstes wird der Grundkörper und der mitgelieferte Bolzen aus der Materialbereitstellungsbox vom Fließband entnommen und auf die Montagearbeitsfläche gelegt. Wichtig dabei ist es, darauf zu achten, welche Stelle der Bolzen in der Materialbereitstellungsbox belegt. Diese Position gibt Aussage, auf welcher Position der Bolzen später montiert werden soll. Anschließend wird das Bauteil Grundkörper Seitenteil aus der Sichtlagerbox der Greifebene A2.5 entnommen und in das Grundkörper Gehäuse gesteckt. Die Montage muss mit leichtem Kraftaufwand erfolgen, um die genaue Position der Komponenten sicherzustellen. Nach dem zusammenfügen der Grundkörperkomponenten, wird der RFID-Chip aus der Sichtlagerbox der Greifebene B1.1 entnommen, in die vorhergesehene Aussparung am Grundkörper Gehäuse eingelegt und mit dem RFID-Deckel aus der Sichtlagerbox der Greifebene C1.1 in seiner Position gesichert. Im Anschluss wird der Bolzen an der vorhergesehenen Stelle, hier: links, in die Bohrung gesteckt. Abschließend wird das fertig montierte Bauteil wieder zurück in die Materialbereitstellungsbox auf das Fließband gelegt. Abbildung 13 zeigt die Darstellung des Bauteils der Variante 2 im 3D-Modell.

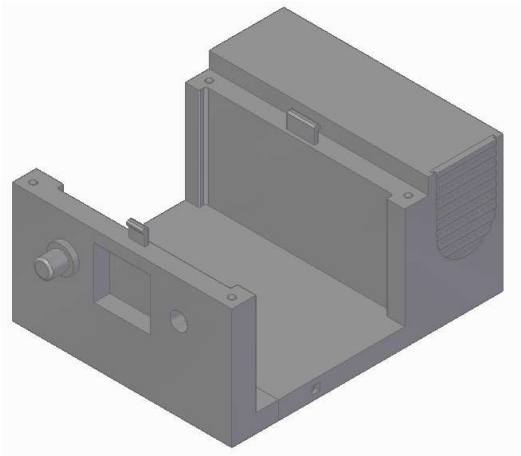
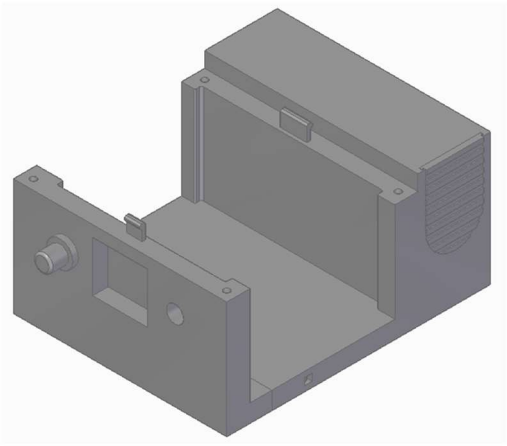


Abbildung 13: Variante 2 (ZDP, 2022)

Folgend wird der Arbeitsplan dargestellt, welcher dem Arbeiter am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wird. Auf dem Arbeitsplan werden die einzelnen Arbeitsschritte, die benötigten Arbeits- und Hilfsmittel und die vorgegebene Soll-Zeit dargestellt.

Montagearbeitsplan Universalprodukt				Z entrum für D igitalisierung in P roduktion & Produktentwicklung
Variante:	2	Blatt-Nr.: 1	Anzahl Blätter: 1	

Lfd Nr.	Arbeitsschritt	Arbeitsmittel/ Hilfsmittel	Soll-Zeit
10	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen		*2,09 s*
20	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken		*2,53 s*
30	RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,15 s*
40	RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,35 s*
50	Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken		*1,55 s*
60	Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		*0,71 s*



erstellt:	geprüft:	genehmigt:	
Datum:	Datum:	Datum:	Rev. 1

Die Montage der dritten Variante unterscheidet sich minimal der vorherigen zweiten Variante. Sie untergliedert sich ebenfalls in sechs Einzelmontageschritte. Zuerst wird der Grundkörper und der mitgelieferte Bolzen aus der Materialbereitstellungsbox vom Fließband entnommen und auf die Montagearbeitsfläche abgelegt. Die Position des Bolzen auf der Materialbereitstellungsbox gibt Aussage, an welcher Position der Bolzen später montiert wird. Anschließend wird das Bauteil Grundkörper Seitenteil aus der Sichtlagerbox der Greifebene A2.5 entnommen und in das Grundkörper Gehäuse gesteckt. Die Montage erfordert einen leichten Kraftaufwand, um die exakte Position garantieren zu können. Nach dem Zusammenfügen wird der RFID-Chip aus der Sichtlagerbox der Greifebene B1.1 entnommen, in die vorhergesehene Aussparung am Grundkörper Gehäuse eingelegt und mit dem RFID-Deckel aus der Sichtlagerbox der Greifebene C1.1 in seiner Position gesichert. Im Anschluss wird der Bolzen an der vorhergesehenen Stelle, hier: rechts, montiert. Abschließend wird das fertig gestellte Bauteil wieder zurück in die Materialbereitstellungsbox auf das Fließband gelegt. Abbildung 14 zeigt die Darstellung des Bauteils der Variante 3 im 3D-Modell.

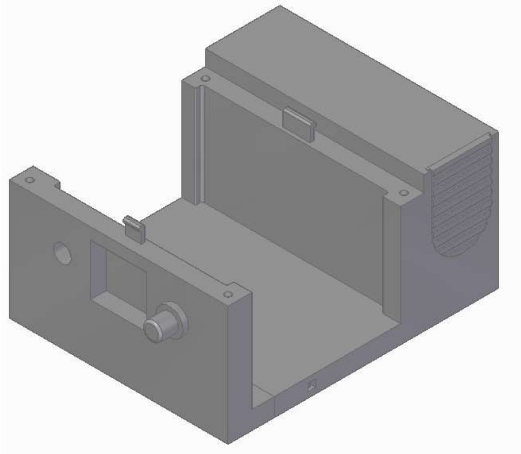
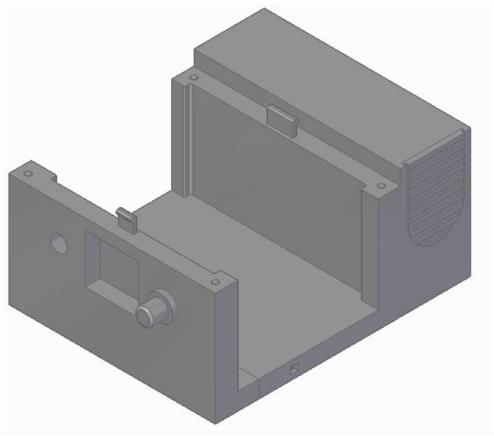


Abbildung 14: Variante 3 (ZDP, 2022)

Folgend wird der Arbeitsplan dargestellt, welcher dem Arbeiter am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wird. Auf dem Arbeitsplan werden die einzelnen Arbeitsschritte, die benötigten Arbeits- und Hilfsmittel und die vorgegebene Soll-Zeit dargestellt.

Montagearbeitsplan Universalprodukt				Z entrum für D igitalisierung in P roduktion & Produktentwicklung
Variante:	3	Blatt-Nr.: 1	Anzahl Blätter: 1	

Lfd Nr.	Arbeitsschritt	Arbeitsmittel/ Hilfsmittel	Soll-Zeit
10	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen		*2,09 s*
20	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken		*2,53 s*
30	RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,15 s*
40	RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,35 s*
50	Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken		*1,55 s*
60	Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		*0,71 s*



erstellt:	geprüft:	genehmigt:	
Datum:	Datum:	Datum:	Rev. 1

Die Montage der vierten Variante umfasst ebenfalls sechs Einzelmontageschritte. Zuerst wird der Grundkörper und die mitgelieferten Bolzen aus der Materialbereitstellungsbox vom Fließband entnommen und auf der Montagearbeitsfläche abgelegt. Anschließend wird das Bauteil Grundkörper Seitenteil aus der Sichtlagerbox der Greifebene A2.5 entnommen und mit dem Grundkörper Gehäuse verbunden. Die Montage erfordert einen leichten Kraftaufwand, um die ordnungsgemäße Position gewährleisten zu können. Nach dem zusammenfügen der Grundkörperkomponenten, wird der RFID-Chip aus der Sichtlagerbox der Greifebene B1.1 entnommen, in die vorhergesehene Aussparung am Grundkörper Gehäuse eingelegt und mit dem RFID-Deckel aus der Sichtlagerbox der Greifebene C1.1 in seiner Position gesichert. Im Anschluss werden die Bolzen an den vorhergesehenen Stellen in die Bohrungen gesteckt. Abschließend wird das fertig montierte Bauteil wieder zurück in die Materialbereitstellungsbox auf das Fließband gelegt. Abbildung 15 zeigt die Darstellung des Bauteils der Variante 4 im 3D-Modell.

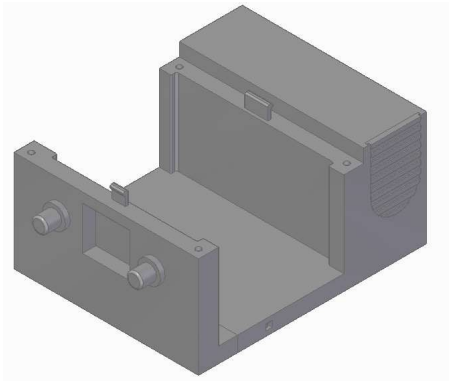
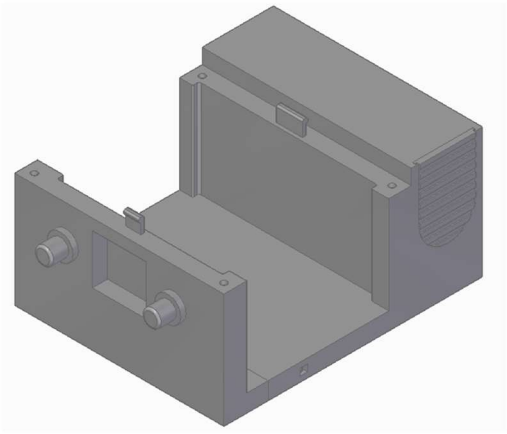


Abbildung 15: Variante 4 (ZDP, 2022)

Folgend wird der Arbeitsplan dargestellt, welcher dem Arbeiter am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wird. Auf dem Arbeitsplan werden die einzelnen Arbeitsschritte, die benötigten Arbeits- und Hilfsmittel und die vorgegebene Soll-Zeit dargestellt.

Montagearbeitsplan Universalprodukt				Z entrum für D igitalisierung in P roduktion & Produktentwicklung
Variante:	4	Blatt-Nr.: 1	Anzahl Blätter: 1	

Lfd Nr.	Arbeitsschritt	Arbeitsmittel/ Hilfsmittel	Soll-Zeit
10	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Bolzen (Mar.Nr.100007) vom Fließband entnehmen		*3,07 s*
20	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken		*2,53 s*
30	RFID-Chip (Matr.Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,15 s*
40	RFID-Deckel (Matr.Nr.100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) einsetzen		*2,35 s*
50	Bolzen (Mar.Nr.100007) in vorgesehene Bohrung stecken		*2,69 s*
60	Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		*0,71 s*



erstellt:	geprüft:	genehmigt:

Die Montage der fünften Variante unterteilt sich in neun Einzelmontageschritte. Im ersten Schritt wird der Grundkörper aus der Materialbereitstellungsbox vom Fließband genommen und auf die Montagearbeitsfläche abgelegt. Anschließend wird das Bauteil Griff aus der Sichtlagerbox der Greifebene A1.1 entnommen und in die Montagevorrichtung Griff gesteckt. Als Nächstes wird das Bauteil Grundkörper Seitenteil der Greifebene A2.5 entnommen und mit Hilfe eines Schnellhebelspanners auf die Montagevorrichtung Seitenteil gespannt. Im Nachfolgenden Arbeitsschritt wird die Adapterplatte von Lagerplatz A2.1 entnommen und in das Seitenteil Grundkörper gesteckt. Darauffolgend werden zwei Senkschrauben ISO10642 – M4x25 aus der Sichtlagerbox der Greifebene A2.2 entnommen und durch die Bohrungen der Adapterplatte geführt. Danach folgt die Sicherung der Senkschrauben durch Anbringen von Scheibe ISO7090-4 und Hutmutter DIN1587-M4. Hierzu wird die Benutzung der Arbeitsmittel Ringmaulschlüssel SW8 und Schraubendreher SW2,5 empfohlen. Nach der Vormontage kann die Positionssicherung durch den Schnellhebelspanner gelöst werden. Die vormontierte Baugruppe kann nun mit dem Grundkörper verbunden werden. Dieser Arbeitsschritt erfordert einen leichtem Kraftaufwand, um die ordnungsgemäße Position zu gewährleisten. Abschließend wird das fertig montierte Bauteil wieder zurück in die Materialbereitstellungsbox auf das Fließband gelegt. Abbildung 16 zeigt die Darstellung des Bauteils der Variante 5 im 3D-Modell.

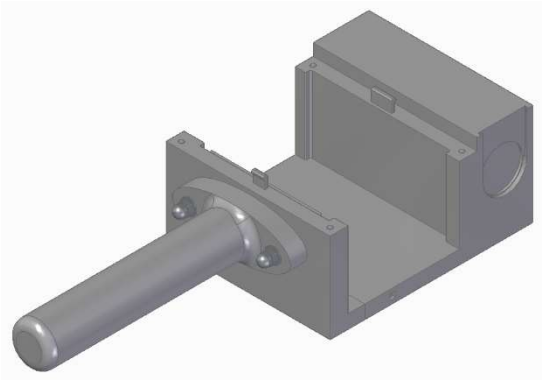
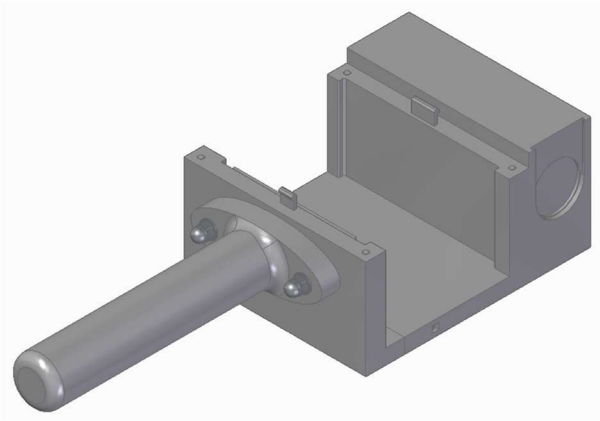


Abbildung 16: Variante 5 (ZDP, 2022)

Folgend wird der Arbeitsplan dargestellt, welcher dem Arbeiter am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wird. Der Arbeitsplan zeigt die einzelnen Arbeitsschritte, die Arbeits- und Hilfsmittel und die vorgegebene Soll-Zeit.

Montagearbeitsplan Universalprodukt				Z entrum für D igitalisierung in P roduktion & Produktentwicklung
Variante:	5	Blatt-Nr.: 1	Anzahl Blätter: 1	

Lfd Nr.	Arbeitsschritt	Arbeitsmittel/ Hilfsmittel	Soll-Zeit
10	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) vom Fließband entnehmen		*1,12 s*
20	Griff (Matr.Nr.100005) in Vorrichtung schieben	Montagevorrichtung Griff	*3,60 s*
30	Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) in Vorrichtung stellen und fixieren	Montagevorrichtung Seitenteil Kniehebelspanner	*5,54 s*
40	Adapterplatte (Matr.Nr.100006) in vorgesehne Bohrungen der Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) stecken		*2,09 s*
50	Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) durch Adapterplatte (Matr.Nr.100006) und Griff (Matr.Nr.100005) führen		*1,81 s*
60	Scheibe ISO 7090-4 (Matr.Nr.200001) auf Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) stecken		*2,24 s*
70	Hutmutter DIN 1587 - M4 (Matr.Nr.200003) mit Senkschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr.Nr.200002) verschrauben	Ringmaulschlüssel SW8 Schraubendreher SW2,5	*14,48 s*
80	Grundkörper Gehäuse (Matr.Nr.100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr.Nr.100002) zusammenstecken		*7,25 s*
90	Montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		*0,71 s*



erstellt:	geprüft:	genehmigt:	
Datum:	Datum:	Datum:	Rev: 1

3.7 Implementierung ifm mate

Durch eine umfassende Recherche einer vorhergegangenen Studienarbeit wurde die Verwendung des Werkerassistenzsystem „ifm mate“ der Firma ifm electronic GmbH festgelegt. Das System ist bereits beschafft und liegt zur Montage bereit.

Im ersten Schritt wird der enthaltene Lieferumfang des Pakets überprüft. Der Lieferumfang umfasst:

- E21334 ifm mate 2D/3D-Kamera
- ZJF026 IPC inkl. Netzteil, Anschlusskabel, vorinstallierter Software
- E12632 Ethernet-Verbindungskabel[16]

Im Anschluss werden alle Komponenten des Systems passend positioniert. Die benötigte Kamera für die Visualisierung und Verarbeitung der Handbewegungen ist bereits im Rahmen der vorhergehenden Studienarbeit angebracht worden. Bei der Position der Kamera, welche mit einem Abstand von 1,5m zur Arbeitsplatte montiert ist, kann eine zu erfassende Bildfeldgröße von 2,0x1,1m erfasst werden. Ein schwenkbarer Bildschirm mit Touch-Funktion wurde ebenfalls im Zuge der Optimierungsmaßnahmen montiert und angeschlossen, sodass nur die IPC-Konsole des Systems sicher angebracht werden muss. Sind die einzelnen Komponenten an ihrer Stelle, so können diese miteinander nach Plan verbunden werden. Der Anschlussplan, dargestellt in Abbildung 17 zeigt das detaillierte Vorgehen. Vor Beginn der Montage muss sichergestellt werden, dass die Anlage spannungsfrei geschalten ist. Anschließend kann der (Touch-)Monitor und der IPC mit einem HDMI-Kabel verbunden werden. Danach wird die Kamera und der IPC per Ethernet-Verbindungskabel verbunden. Abschließend werden die Netzkabel des IPC und des (Touch-) Monitors an die Stromversorgung angeschlossen und das System wird gestartet.

[16] Vgl. ifm, 2023

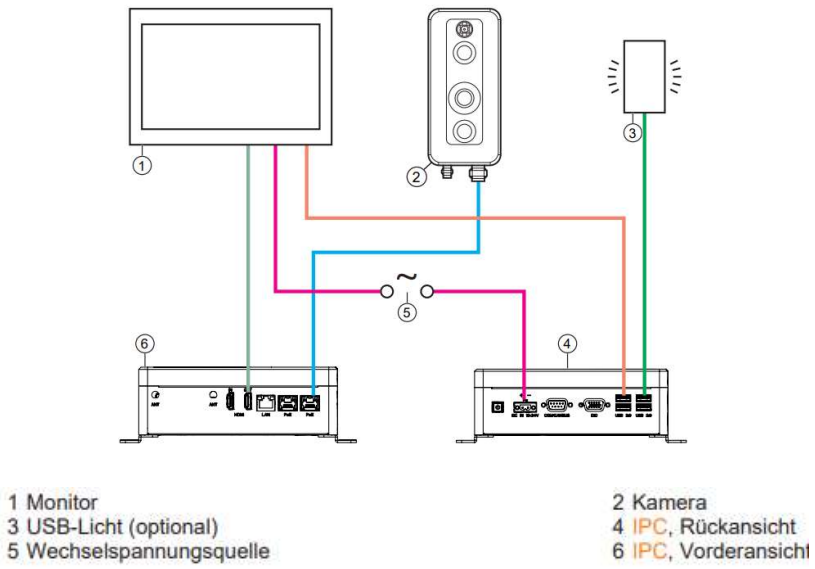


Abbildung 17: Anschlussplan ifm mate (ifm electronic, 2023)

Bei der erstmaligen Inbetriebnahme des IPC startet sich automatisch das Einrichtungsmenü des Werkerassistenzsystems. Erst wird die Sprache, Datum und Uhrzeit festgelegt, den Lizenz- und Datenschutzvereinbarungen zugestimmt und anschließend besteht die Möglichkeit der Kameraausrichtung. Dabei ist zu überprüfen, ob das montierte System die vorgegebenen Anforderungen erfüllt. Die Anforderungen an die Kameraperspektive und deren -position lauten:

- Die Kamera ist parallel zum Arbeitsbereich montiert.
- Der gesamte Arbeitsbereich wird von der Kamera erfasst.
- Die Hände des Bedieners sind bei Tätigkeiten für die Kamera vollständig sichtbar.
- Der Bediener darf die Greifbereiche nicht verdecken.[17]

Sind die Kameraeinstellung vorgenommen, so wird im nächsten Schritt ein Super Admin angelegt. Dieser ist berechtigt für das Anlegen von weiteren, Anpassung von Systemeinstellungen, Updateverwaltung, Backup- und Systemwiederherstellung, Anlegen und Bearbeiten von Arbeitsabläufen und das Verwalten von Mediendateien.

[17] Vgl. ifm, 2021

Optional kann ein zusätzlicher Admin angelegt werden. Dieser besitzt jedoch nur beschränkte Funktionen, wie das Anlegen und Bearbeiten von Arbeitsabläufen und das Verwalten von Mediendateien.[18]

Nach Erstellen des Super Admins sind in den Systemeinstellungen Parameter, wie beispielsweise die Hintergrundfarben für die durchzulaufenden Arbeitsschritte festzulegen. Je nach Status wird den Arbeitsschritten eine andere beliebige Farbe zugeteilt werden.

Für die Erstellung eines neues Workflows, wird die Schaltfläche „Hinzufügen“ ausgewählt. Dabei werden im ersten Schritt die benötigten Greifbereiche per Touchauswahl, mit einer Bezeichnung und optional einer ID bezeichnet. Im zweiten Schritt wird die Reihenfolge der zu greifenden Bereiche festgelegt. Hierbei besteht auch die Möglichkeit für das Hinzufügen und Zuordnen von Mediendateien zum jeweiligen Arbeitsschritt. Im dritten Schritt wird das Verhalten im Fehlerfall festgelegt. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder soll der Workflow neu gestartet werden oder der Workflow muss beim fehlerhaften Arbeitsschritt fortgesetzt werden. Das abschließende Drücken des „Speichern“ Button sichert den Ablauf im System. Dieser Prozess der Neuanlage wird für alle fünf Varianten durchgeführt.

Die Arbeitsabläufe können anschließend auf verschiedenen Wegen im Startmenü ausgewählt werden. Die erste Möglichkeit ist das Anklicken des Arbeitsablauf, die zweite Möglichkeit über das Suchfeld und die dritte ist die Verknüpfung mit einem Barcodescanner über die zugeteilte ID.

Abschließend wird ein Update zur Version V1.3.0 durchgeführt. Dadurch werden die Möglichkeiten für eine integrierte Qualitätskontrolle und die Nutzung von Stückzahlmanagement eingeführt. Zudem wird die Anbindung an ein ERP-System erleichtert.[19]

---

[18] Vgl. ifm, 2021

[19] Vgl. ifm, 2023

3.8 Digitaler Zwilling

Der digitaler Zwilling ermöglicht die Erstellung einer virtuellen Darstellung des realen Produktionssystems und Prozesses. Die Arbeit mit einem digitalen Zwilling ermöglicht es, verschiedene Szenarien zu simulieren und zu testen, ohne physische Prototypen oder reale Ressourcen zu benötigen. Dadurch werden beispielsweise Entwicklungszeiten verkürzt und potenzielle Probleme können im Voraus erkannt werden. Durch Analyse des digitalen Prozesses können Schwachstellen, Engpässe und Optimierungspotenziale identifiziert werden. Dies ermöglicht das Testen der geplanten Verbesserungsmaßnahmen am digitalen Handarbeitsplatz, bevor diese implementiert werden. Die virtuelle Simulation bietet die Möglichkeit, verschiedene Parameter anzupassen, um die bestmögliche Funktion zu gewährleisten. Zudem kann ein digitaler Zwilling zur Überwachung und Diagnose des Systems eingesetzt werden. Durch den Vergleich der Echtzeitdaten mit den Daten des digitalen Zwilling können Abweichungen oder Probleme frühzeitig erkannt werden, wodurch rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden können. Dadurch können Ausfälle vermieden werden. Der Einsatz des digitalen Zwillings ermöglicht eine verbesserte Planung, Entwicklung, Überwachung und Optimierung von Prozessen und des Systems. Um einen digitalen Zwilling des Handarbeitsplatzes zu erstellen, wurde zunächst der bestehende Arbeitsplatz vermessen. Anschließend konnte der Arbeitsplatz mittels dem CAD-Programm Siemens Solid Edge konstruiert werden. Abbildung 17 zeigt das 3D-Modell des digitalen Zwilling „Handarbeitsplatz“.



Abbildung 18: Digitaler Zwilling Handarbeitsplatz(e.D.)

Der digitale Zwilling des Handarbeitsplatzes wird in die gesamte digitale Produktionsumgebung der Zukunftsfabrik eingebettet, welcher in Abbildung 18 dargestellt wird.

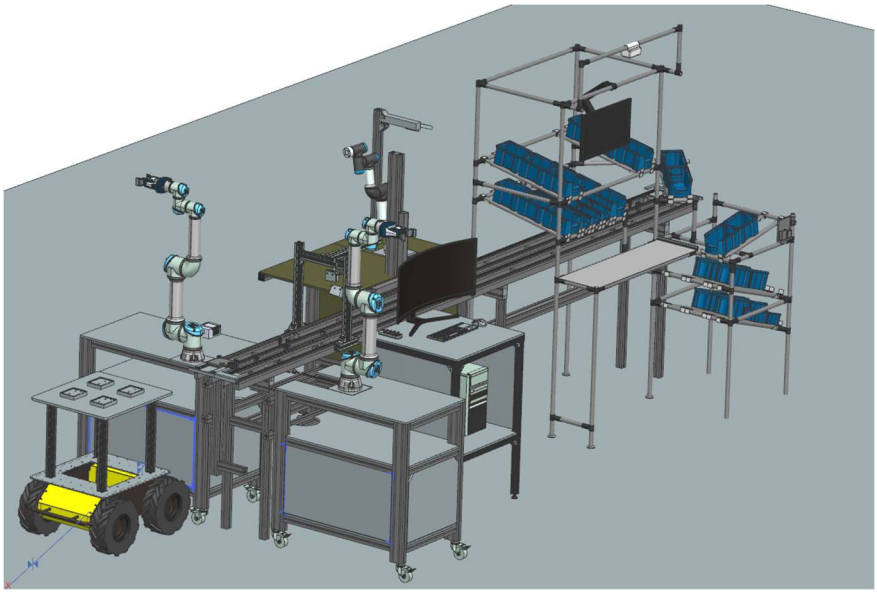


Abbildung 19: digitale Produktionsumgebung der Zukunftsfabrik (Niere, 2023)

4 Fazit und Ausblick

Die Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes ist ein ständig stattfindender Prozess, der dazu dient die Effizienz, Sicherheit und das Wohlbefinden der Mitarbeiter zu verbessern. Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung transformiert die Art und Weise des Arbeitens. Durch die Integration neuer Technologien, ergonomischer Designs und einer ganzheitlichen Herangehensweise kann den ständig wachsenden Anforderungen erfüllt werden. Gleichzeitig gilt es, den menschlichen Aspekt nicht zu vernachlässigen. Die Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden am Arbeitsplatz sollte immer ein zentrales Anliegen sein. Maßnahmen wie ergonomische Gestaltung und passende Schulungen unterstützen das Wohlergehen der Mitarbeiter.

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde untersucht, wie der Handarbeitsplatz der Zukunftsfabrik Bodensee durch Standardisierung der Abläufe, Optimierung der vorhandenen Gegebenheiten und prozessuale Optimierungsmaßnahmen verbessert werden kann. Die Analyse der aktuellen Situation hat gezeigt, dass der bereits bestehende Handarbeitsplatz Verbesserungspotenzial aufweist. Durch Standardisierung der Arbeitsbereiche, Definition der Arbeitsabläufe und Integration von digitalen Hilfsmitteln wie einem Werkerassistenzsystems werden die Aufgaben vereinfacht.

wiederholung

Abschließend lässt sich erwähnen, dass die Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes ein dynamischer Prozess ist, der kontinuierliche Aufmerksamkeit und Investition erfordert. Es ist wichtig, dass in Zukunft regelmäßig Maßnahmen ermittelt werden, um den Handarbeitsplatz den Anforderungen anzupassen. Durch die Umsetzung der daraus resultierenden Optimierungsmaßnahmen wird die Zuverlässigkeit und Produktivität des Fertigungsprozess gesteigert.

5 Literaturverzeichnis

Becker, P. D. (2023). *Definition: Was ist "Arbeitsplatz"*. Von https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/arbeitsplatz-27828 abgerufen

BGHM. (2023). *Sitz- und Steharbeitsplätze*. Abgerufen am 1. Juni 2023 von https://www.bghm.de/arbeitsschuetzer/fach-themen/ergonomie-und-arbeitsgestaltung/sitz-und-steharbeitsplaetze

Brockmann, B. (2023). *Werkerführung: Vier Schlüsselfaktoren für den erfolgreichen Einsatz von Assistenzsystemen*. Abgerufen am 11. Mai 2023 von https://www.digital-manufacturing-magazin.de/werkerfuehrung-vier-schluesselfaktoren-fuer-den-erfolgreichen-einsatz-von-assistenzsystemen/

Butz , S., & Kühner, D. (2022). Vorlesung Fabrik-und Produktionsplanung. Friedrichshafen.

DHBW Ravensburg. (2022). *Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP*. Abgerufen am 24. Mai 2023 von https://www.ravensburg.dhbw.de/forschung-transfer/kompetenzzentren/zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklung#zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklun

DHBW Ravensburg. (2022). *Zukunftsfabrik Bodensee*. Abgerufen am 2023. Mai 26 von https://www.ravensburg.dhbw.de/forschung-transfer/kompetenzzentren/zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklung#zukunftsfabrik-bodensee

Grobe, D. (2019). *Was versteht man unter Werkerführung, Werkerassistenzsystem und Werkerinformationssystem?* Abgerufen am Mai. 11 2023 von https://operations1.com/de/blog/werkerassistenzsystem-4-schluesselfaktoren-fuer-den-erfolg

ifm. (2021). *Inbetriebnahmeanleitung OXZ100.*

ifm. (2023). *Softwarehandbuch OXZ100.*

item. (11. Mai 2022). *Greifraum am Arbeitsplatz: Ergonomie einfach erklärt*. Von https://blog.item24.com/montagearbeitsplatz/greifraum-am-arbeitsplatz-ergonomie-einfach-erklaert/ abgerufen

Noris-IB. (2023). *Wie funktionieren digitale Werkerassistenzsysteme?* Abgerufen am 11. Mai 2023 von https://www.noris-ib.de/Blog-Werkerassistenzsysteme.aspx

Rast, D. S. (22. Februar 2022). Die MTM-Methode: Definition und Anwendungsmöglichkeiten. (item, Interviewer) Von https://blog.item24.com/montagearbeitsplatz/die-mtm-methode-definition-und-anwendungsmoeglichkeiten/ abgerufen

REFA Bundesverband e.V. (2015). *Industrial Engineering.* Darmstadt: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. doi:ISBN 978-3-446-44787-5

Ulbrich, R. (13. Februar 2020). *Cardboard Engineering*. Von LeanMagazin: https://leanbase.de/publishing/post/cardboard-engineering abgerufen

Anhang

Drehen – T (Turn)

Kode	Kraftaufwand/Gewicht (daN/kg)	Normzeitwerte in **TMU** für Drehwinkel										
		30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
T-S	klein: ≤ 1	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4
T-M	mittel: > 1 bis ≤ 5	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6	12,7	13,7	14,8
T-L	groß: > 5 bis ≤ 16	8,4	10,5	12,3	14,4	16,2	18,3	20,4	22,2	24,3	26,1	28,2

Körper-, Bein- und Fußbewegungen

Kode	TMU	Bewegungslänge	Beschreibung der Bewegungen
FM	8,5	bis 10 cm	**Fußbewegung** Drehachse: Knöchel
FMP	19,1		Fußbewegung mit starkem Druck
LM-	7,1 0,5	bis 15 cm jeder weitere cm	**Beinbewegung** Drehachse: Knie– oder Hüftgelenk in beliebige Richtung
			Seitenschritt: seitliche Verschiebung der Körperachse
		< 30 cm	**Hinlangen** oder **Bringen** analysieren
SS-C1	17,0 0,2	30 cm jeder weitere cm	Fall I: Der Seitenschritt ist beendet, wenn das bewegte Bein wieder auf dem Boden steht.
SS-C2	34,1 0,4	30 cm jeder weitere cm	Fall II: Das nachgezogene Bein muss den Boden wieder berühren, bevor die folgende Bewegung ausgeführt werden kann.
			Körperdrehung nach links oder rechts um 45° bis 90°
TBC1	18,6		Fall I: Die Körperdrehung ist beendet, wenn das bewegte Bein wieder auf dem Boden steht.
TBC2	37,2		Fall II: Das nachgezogene Bein muss den Boden wieder berühren, bevor die folgende Bewegung ausgeführt werden kann.
B, S, KOK AB, AS, AKOK	29,0 31,9		**Beugen, Bücken** oder **Knien auf ein Knie** **Aufrichten** vom **Beugen, Bücken, Knien auf ein Knie**
KBK AKBK	69,4 76,7		**Knien auf beide Knie** **Aufrichten** vom **Knien auf beiden Knien**
SIT STD	34,7 43,4		**Setzen** **Aufstehen**
W - P W - PO	15,0 17,0	pro Schritt pro Schritt	**Gehen** **Gehen** behindert und /oder mit Last > 23 kg

Original MTM-Karte 101 A von 1955 – Urheberrechte bei der U.S. MTM Association for Standards and Research
Urheberrechtlich geschützt – Nachdruck verboten – Copyright © 1955 ... © 2008
Eingetragen in die Urheberrolle des Deutschen Patentamtes unter Nr. 59

MTM ASSOCIATION e. V.
Elbchaussee 352, 22609 Hamburg
Telefon: +49 40 822779-0
Telefax: +49 40 822779-79
contact@mtm.org

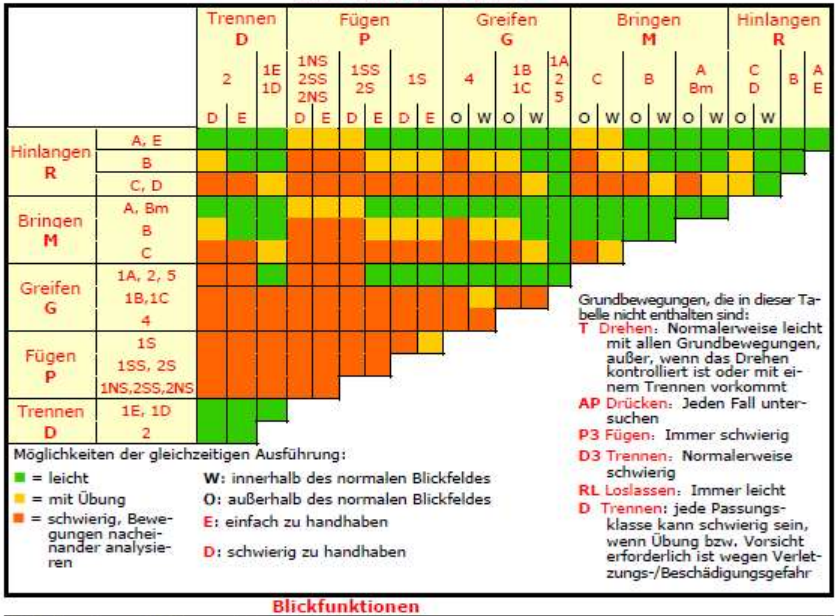
MTM-1® Datenkarte

Ohne gründliche Ausbildung können der Gebrauch dieser MTM-Normzeitwertkarte und jede andere Anwendung von MTM zu falschen Resultaten führen

Die Normzeitwerte dieser Karte entsprechen einer Leistung von 100 % nach LMS

Zeiteinheiten			
TMU	Sekunden	Minuten	Stunden
1	0,036	0,0006	0,00001
27,8	1		
1 666,7		1	
100 000			1

Gleichzeitige Bewegungen



Blickfunktionen

Kode	TMU	Beschreibung
ET	15,2 × T/D max. 20,0	**Blickverschieben (Eye Travel)** T = Abstand zwischen den Blickpunkten D = Abstand der Augen von der Verbindungslinie der Blickpunkte
EF	7,3	**Prüfen (Eye Focus)**

Hinlangen - R (Reach)

Bewegungslänge in cm	Normzeitwerte in TMU: R-A	R-B	R-C R-D	R-E	mR-A R-Am	mR-B R-Bm	m-Wert für B
bis 2	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6	0,4
4	3,4	3,4	5,1	3,2	3,0	2,4	1,0
6	4,5	4,5	6,5	4,4	3,9	3,1	1,4
8	5,5	5,5	7,5	5,5	4,6	3,7	1,8
10	6,1	6,3	8,4	6,8	4,9	4,3	2,0
12	6,4	7,4	9,1	7,3	5,2	4,8	2,6
14	6,8	8,2	9,7	7,8	5,5	5,4	2,8
16	7,1	8,8	10,3	8,2	5,8	5,9	2,9
18	7,5	9,4	10,8	8,7	6,1	6,5	2,9
20	7,8	10,0	11,4	9,2	6,5	7,1	2,9
22	8,1	10,5	11,9	9,7	6,8	7,7	2,8
24	8,5	11,1	12,5	10,2	7,1	8,2	2,9
26	8,8	11,7	13,0	10,7	7,4	8,8	2,9
28	9,2	12,2	13,6	11,2	7,7	9,4	2,8
30	9,5	12,8	14,1	11,7	8,0	9,9	2,9
35	10,4	14,2	15,5	12,9	8,8	11,4	2,8
40	11,3	15,6	16,8	14,1	9,6	12,8	2,8
45	12,1	17,0	18,2	15,3	10,4	14,2	2,8
50	13,0	18,4	19,6	16,5	11,2	15,7	2,7
55	13,9	19,8	20,9	17,8	12,0	17,1	2,7
60	14,7	21,2	22,3	19,0	12,8	18,5	2,7
65	15,6	22,6	23,6	20,2	13,5	19,9	2,7
70	16,5	24,1	25,0	21,4	14,3	21,4	2,7
75	17,3	25,5	26,4	22,6	15,1	22,8	2,7
80	18,2	26,9	27,7	23,9	15,9	24,2	2,7

Beschreibung der Fälle

A Hinlangen zu einem Gegenstand, der sich immer an einem genau bestimmten Ort befindet, in der anderen Hand liegt oder auf dem die andere Hand ruht.

B Hinlangen zu einem alleinstehenden Gegenstand, der sich an einem von Arbeitszyklus zu Arbeitszyklus veränderten Ort befindet.

C Hinlangen zu einem Gegenstand, der mit gleichen oder ähnlichen Gegenständen so vermischt ist, dass er ausgewählt werden muss.

D Hinlangen zu einem Gegenstand, der klein ist oder sehr genau oder mit Vorsicht gegriffen werden muss.

E Verlegen der Hand in eine nicht bestimmte Lage, sei es zur Erlangung des Gleichgewichtes, zur Vorbereitung der folgenden Bewegung oder um die Hand aus der Arbeitszone zu entfernen.

Greifen - G (Grasp)

Kode	TMU	Beschreibung der Fälle
G1A	2,0	**Zufassungsgriff:** Greifen eines leicht zu fassenden, allein liegenden Gegenstandes.
G1B	3,5	**Ankantgriff:** Greifen eines sehr kleinen Gegenstandes oder eines Gegenstandes, der flach auf einer Ebene liegt.
G1C1	7,3	Ø > 12 bis ≤ 25 mm — **Abrollgriff:** Greifen eines ungefähr zylindrischen Gegenstandes, wobei dies durch Hindernisse von einer Seite und von unten erschwert wird.
G1C2	8,7	Ø ≥ 6 bis ≤ 12 mm
G1C3	10,8	Ø < 6 mm
G2	5,6	**Nachgreifen:** Verlegen des Kontrollpunktes an einen Gegenstand, ohne die Kontrolle über diesen zu verlieren.
G3	5,6	**Übergabegriff:** Eine Hand übernimmt die Kontrolle über einen Gegenstand, während die andere Hand diese aufgibt.
G4A	7,3	> 25×25×25 mm — **Auswählgriff:** Greifen eines mit anderen vermischten Gegenstandes, so dass er ausgesucht und ausgewählt werden muss.
G4B	9,1	≥ 6×6×3 bis ≤ 25×25×25 mm
G4C	12,9	< 6×6×3 mm
G5	0,0	**Berührungsgriff:** Durch Berührung genügend Kontrolle über einen Gegenstand erhalten, so dass die nachfolgende Grundbewegung ausgeführt werden kann.

Loslassen - RL (Release)

Kode	TMU	Beschreibung	Kode	TMU	Beschreibung
RL1	2,0	Durch Öffnen der Finger	RL2	0,0	Durch Aufheben des Kontaktes

Bringen – M (Move)

Bewegungslänge in cm	Normzeitwerte in TMU: M-A	M-B	M-C	mM-B M-Bm	m-Wert für B	Mit Kraftaufwand/Gewicht: in daN/kg	stat. Konst. SC in TMU	dynam. Faktor
bis 2	2,0	2,0	2,0	1,7	0,3	1	0,0	1,00
4	3,1	4,0	4,5	2,8	1,2			
6	4,1	5,0	5,8	3,1	1,9	2	1,6	1,04
8	5,1	5,9	6,9	3,7	2,2			
10	6,0	6,8	7,9	4,3	2,5	4	2,8	1,07
12	6,9	7,7	8,8	4,9	2,8			
14	7,7	8,5	9,8	5,4	3,1	6	4,3	1,12
16	8,3	9,2	10,5	6,0	3,2			
18	9,0	9,8	11,1	6,5	3,3	8	5,8	1,17
20	9,6	10,5	11,7	7,1	3,4			
22	10,2	11,2	12,4	7,6	3,6	10	7,3	1,22
24	10,8	11,8	13,0	8,2	3,6			
26	11,5	12,3	13,7	8,7	3,6	12	8,8	1,27
28	12,1	12,8	14,4	9,3	3,5			
30	12,7	13,3	15,1	9,8	3,5	14	10,4	1,32
35	14,3	14,5	16,8	11,2	3,3			
40	15,8	15,6	18,5	12,6	3,0	16	11,9	1,36
45	17,4	16,8	20,1	14,0	2,8			
50	19,0	18,0	21,8	15,4	2,6	18	13,4	1,41
55	20,5	19,2	23,5	16,8	2,4			
60	22,1	20,4	25,2	18,2	2,2	20	14,9	1,46
65	23,6	21,6	26,9	19,5	2,1			
70	25,2	22,8	28,6	20,9	1,9	22	16,4	1,51
75	26,7	24,0	30,3	22,3	1,7			
80	28,3	25,2	32,0	23,7	1,5			

Beschreibung der Fälle

A Einen Gegenstand zur anderen Hand oder gegen einen Anschlag bringen.

B Einen Gegenstand in eine ungefähre oder unbestimmte Lage bringen.
Spiel: > 25 mm

C Einen Gegenstand in eine genau bestimmte Lage bringen.
Spiel:
> 12 bis ≤ 25 mm

Fügen - P (Position)

Kode	Passung	Einfügen	Anfügetoleranz	Symmetrie-fall	Handhabung E	Handhabung D
P1	lose	Kein Druck notwendig	> ±1,5 bis ≤ ± 6,0 mm	S	5,6	11,2
				SS	9,1	14,7
				NS	10,4	16,0
P2	eng	Leichter Druck notwendig	> ±0,4 bis ≤ ± 1,5 mm	S	16,2	21,8
				SS	19,7	25,3
				NS	21,0	26,6
P3	fest	Starker Druck notwendig	> 0 bis ≤ ± 0,4 mm	S	43,0	48,6
				SS	46,5	52,1
				NS	47,8	53,4

Drücken – AP (Apply Pressure)

Kode	TMU	Beschreibung	Komponenten
APA	10,6	Ohne Nachgreifen	AF+DM+RLF
APB	16,2	Mit Nachgreifen	G2+APA

Kode	TMU	Beschreibung
AF	3,4	Kraftaufbau
DM	4,2	Minimale Festhaltezeit
RLF	3,0	Kraftabbau

Trennen– D (Disengage)

Kode	Passung	Beschreibung	E	D
D1	lose	Sehr kleine Kraft – geringer Rückschlag (bis ca. 2,5 cm)	4,0	5,7
D2	eng	Mittlere Kraft – leichter Rückschlag (bis ca. 12 cm)	7,5	11,8
D3	fest	Große Kraft – starker Rückschlag (bis ca. 30 cm)	22,9	34,7

MTM ASSOCIATION e. V.
Elbchaussee 352, D-22609 Hamburg
Telefon: +49 40 822779-0
Telefax: +49 40 822779-79
contact@mtm.org

MTM-MEK

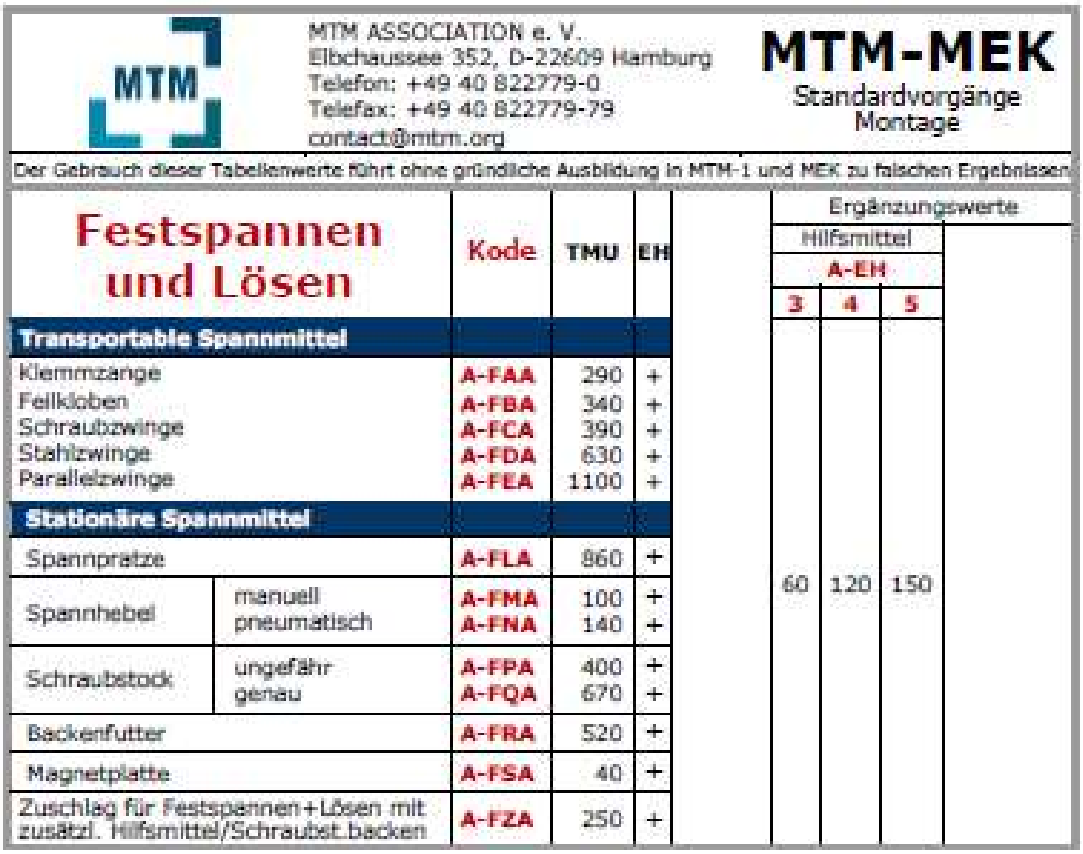
Standardvorgänge
Montage

Der Gebrauch dieser Tabellenwerte führt ohne gründliche Ausbildung in MTM-1 und MEK zu falschen Ergebnissen

Schrauben
- 1 -

		Kode	TMU	EH	ET	Ergänzungswerte Hilfsmittel A-EH 3	4	5	Teile A-ET 4	5
ohne Werkzeug										
	≤ M10	A-SAA	260		+					
	> M10 ≤ M20	A-SBA	280		+					
mit Werkzeug leicht zugänglich / leichtgängig										
ohne Umsetzen Schraubendreher, Werkzeug rundum, Ratsche	≤ M10	A-SAB	300	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBB	370	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCB	640	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDB	740	+	+					
	> M52 ≤ M68	A-SEB	800	+	+					
mit Umsetzen Gabelschlüssel, Ringschlüssel, Innensechskant-schlüssel	≤ M10	A-SAC	400	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBC	590	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCC	1050	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDC	1350	+	+					
	> M52 ≤ M68	A-SEC	1500	+	+					
mit Prozesszeit Maschinen-schrauber	≤ M10	A-SAD	190	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBD	220	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCD	310	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDD	360	+	+	60	120	150	70	100
	> M52 ≤ M68	A-SED	490	+	+					
mit Werkzeug schwer zugänglich / schwergängig										
ohne Umsetzen Schraubendreher, Werkzeug rundum, Ratsche	≤ M10	A-SAE	370	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBE	530	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCE	1000	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDE	1200	+	+					
	> M52 ≤ M68	A-SEE	1300	+	+					
mit Umsetzen Gabelschlüssel, Ringschlüssel, Innensechskant-schlüssel	≤ M10	A-SAF	890	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBF	1150	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCF	2550	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDF	3150	+	+					
	> M52 ≤ M68	A-SEF	3400	+	+					
mit Prozesszeit Maschinen-schrauber	≤ M10	A-SAG	220	+	+					
	> M10 ≤ M20	A-SBG	250	+	+					
	> M20 ≤ M36	A-SCG	370	+	+					
	> M36 ≤ M52	A-SDG	440	+	+					
	> M52 ≤ M68	A-SEG	590	+	+					

© MTM ASSOCIATION e. V., 2012
Urheberrechtlich geschützt! - Nachdruck verboten!



MTM ASSOCIATION e. V.
Elbchaussee 352, D-22609 Hamburg
Telefon: +49 40 822779-0
Telefax: +49 40 822779-79
contact@mtm.org

MTM-MEK
Standardvorgänge
Montage

Der Gebrauch dieser Tabellenwerte führt ohne gründliche Ausbildung in MTM-1 und MEK zu falschen Ergebnissen

Festspannen und Lösen

		Kode	TMU	EH	Ergänzungswerte Hilfsmittel A-EH 3	4	5
Transportable Spannmittel							
Klemmzange		A-FAA	290	+			
Feilkloben		A-FBA	340	+			
Schraubzwinge		A-FCA	390	+			
Stahlzwinge		A-FDA	630	+			
Parallelzwinge		A-FEA	1100	+			
Stationäre Spannmittel							
Spannpratze		A-FLA	860	+			
Spannhebel	manuell	A-FMA	100	+	60	120	150
	pneumatisch	A-FNA	140	+			
Schraubstock	ungefähr	A-FPA	400	+			
	genau	A-FQA	670	+			
Backenfutter		A-FRA	520	+			
Magnetplatte		A-FSA	40	+			
Zuschlag für Festspannen+Lösen mit zusätzl. Hilfsmittel/Schraubst.backen		A-FZA	250	+			