Konzeption und Realisierung einer sensorgestützten Arbeitsplatzüberprüfung und deren Verarbeitung

Studienarbeit T3_3100

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Luisa Teresa Theilmann und Nikolas Gross

Abgabedatum:	12. Januar 2024
Bearbeitungszeitraum:	02.10.2023 - 15.01.2024
Matrikelnummer:	6096076 / 6982337
Kurs:	TFE21-2
Betreuerin / Betreuer:	M. Sc. Florian Bulander

Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.14 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 24.07.2023.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Studienarbeit T3_3100 mit dem Thema:

> *Konzeption und Realisierung einer sensorgestützten Arbeitsplatzüberprüfung und deren Verarbeitung*

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben. Wir versichern zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 12. Januar 2024

Nikolas Gross

Signed by: Nikolas Gross
EMail: nikolas.gross@mercedes-benz.com
Signing time: 12-01-2024 12:17:37 (+01:00)
IP address: 163.116.179.126

Theilmann Luisa Teresa VWPKI AAB9F9027FD40955

Digital unterschrieben von Theilmann Luisa Teresa VWPKI AAB9F9027FD40955
Datum: 2024.01.12 13:09:21 +01'00'

Luisa Teresa Theilmann und Nikolas Gross

Kurzfassung

Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Ravensburg am Campus Friedrichshafen stellt eine kleine, funktionsfähige Produktion aus der Industrie dar. Der dort vorhandene Handarbeitsplatz steht einem Werker zur Verfügung, um nicht automatisierte Montageschritte selbstständig durchzuführen. Derzeit unterstützt das Werkerassistenzsystem den Werker, indem die einzelnen Prozessschritte angezeigt und mit Hilfe einer 2D/3D-Kamera überwacht werden. Dieses Werkerassistenzsystem stellt derzeit die einzige Kontrolle des Werkers dar.

Der Handarbeitsplatz soll um eine Zeitmessung erweitert werden, mit der der gesamte Montageprozess eines Werkstücks sowie die einzelnen Prozessschritte zeitlich verfolgt und überprüft werden können. Für die zeitliche Überprüfung der einzelnen Prozessschritte ist eine Variantenerkennung des Werkstücks notwendig. Derzeit laufen fünf verschiedene Varianten über das Band. Des weiteren soll der derzeit vorhandene Taster zum manuellen Starten des Produktionsbandes nach der Montage am Handarbeitsplatz entfallen und ein automatisiertes Verfahren zum Starten des Produktionsbandes entwickelt werden. Ziel dieser Studienarbeit ist es, ein geeignetes Konzept für die genannten Ziele zu erarbeiten, sodass dieses Konzept im Zuge einer weiteren Studienarbeit im kommenden Semester im Sommer 2024 umgesetzt werden kann.

Für die Zeitmessung des gesamten Montageprozesses eines Werkstücks werden Lichtschranken eingesetzt. Diese werden bei der Interaktion mit dem Produktionsband, d.h. bei der Entnahme und Rückgabe des Werkstücks ausgelöst. Ein optischer Sensor, der in die Arbeitsplatte integriert ist, soll zukünftig die Zeitmessung der einzelnen Prozessschritte unterstützen. Die Variantenerkennung erfolgt über einen QR-Code-

Scanner. Damit kann der QR-Code auf dem Werkstück gescannt werden, mit dem die Information über die Variante, aber auch weitere Informationen übertragen werden können.

In dieser Studienarbeit wird ein Konzept zur Zeitmessung des Montageprozesses am Handarbeitsplatz des PTZ entwickelt. Die Umsetzung erfolgt im Sommer 2024 im Rahmen einer weiteren Studienarbeit.

Abstract

The Produktionstechnische Zentrum (PTZ) at the DHBW Ravensburg on the Friedrichshafen campus is a small, functional industrial production facility. A manual workstation is available for a worker to carry out non-automated assembly steps independently. The worker assistance system currently supports the worker by displaying the individual process steps and monitoring them with the help of a 2D/3D camera. This worker assistance system is currently the only control the worker has.

A time measurement system is to be added to the manual workstation, which will allow the entire assembly process of a workpiece and the individual process steps to be tracked and checked over time. In order to check the timing of the individual process steps, it is necessary to recognise variants of the workpiece. Five different variants are currently running on the conveyor. In addition, the current button for manually starting the production line after assembly at the manual workstation is to be eliminated and an automated process for starting the production line is to be developed. The aim of this student research project is to develop a suitable concept for the above objectives, so that this concept can be implemented as part of another student research project in the next semester in the summer of 2024.

Light barriers are used to time the entire assembly process of a workpiece. They are triggered during interaction with the production line, i.e. when the workpiece is removed and returned. In the future, an optical sensor integrated into the worktop will support the time measurement of the individual process steps. A QR code scanner is used to identify variants. This scans the QR code on the workpiece, which can be used to transfer information about the variant and other information.

This student research project will develop a concept for time measurement of the assembly process at the manual workstation of the PTZ. The implementation will take place in the summer of 2024 as part of another student research project.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **1**

2. Grundlagen **2**

2.1. Handarbeitsplatz im Produktionstechnischen Zentrum 2

2.2. Sensorik 5

2.2.1. Vorhandene Sensorik 5

2.2.2. Auswahlkriterien Sensorik 10

2.3. Methoden der Zeitmessung 11

2.3.1. MTM Methode 11

2.3.2. REFA 12

2.3.3. Zeitaufnahme mit Stoppuhr 13

3. Konzept **14**

3.1. Sensorik 14

3.1.1. Kamera 15

3.1.2. Vibrationssensoren 17

3.1.3. Kraftsensoren 19

3.1.4. Optische Sensoren 22

3.1.5. Auswahl der Sensorik 23

3.2. Sollwerte Prozessschritte 26

3.3. Konzept Inbetriebnahme der Lichtschranken 31

3.3.1. Aufbau der Lichtschranken am Handarbeitsplatz 31

3.3.2. Datenaustausch der Lichtschranken mit der SPS 32

3.4. Konzept Messung der einzelnen Prozessschritte 33

3.4.1. Verwendung eines optischen Sensors 34

3.4.2. Verwendung einer Wägezelle 35
3.5. Konzept Weiterentwicklung von ifm mate 37
3.5.1. Grundlegende Idee 37
3.5.2. Konzeptionelle Umsetzung 38

4. Vorgehen **40**

5. Zusammenfassung **42**

Literaturverzeichnis **44**

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen **48**

Abbildungsverzeichnis **49**

Tabellenverzeichnis **50**

A. Anhang - Bedienungsanleitung Werkerassistenzsystem **I**

1. Einleitung

Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) der DHBW Ravensburg am Campus Friedrichshafen bildet eine funktionsfähige, industrielle Produktion ab. Wie auch in der Industrie prägt die Digitalisierung und Automatisierung das PTZ. In diesem Kontext wird insbesondere der Handarbeitsplatz betrachtet, an dem Teile manuell von einem/einer Werker/-in montiert werden.

Die vorliegende Studienarbeit setzt sich das Ziel, eine Zeitmessung für den gesamten Arbeitsprozess sowie für einzelne Prozessschritte am Handarbeitsplatz zu integrieren. Dabei soll eine Variantenerkennung implementiert werden, um eine Zeiterfassung für verschiedene Produktvarianten zu ermöglichen. Zudem soll im Zuge der Automatisierung der Produktionsablauf optimiert werden, indem der bisherige analoge Knopf zum Einschalten des Produktionsbandes durch einen automatisierten Prozess ersetzt wird.

Aktuell sind am Handarbeitsplatz Lichtschranken und das Werkerassistenzsystem ifm mate im Einsatz, wobei die Integration eines zusätzlichen Sensors in Erwägung gezogen wird. Das übergeordnete Ziel dieser Studienarbeit besteht darin, ein Konzept für die Zeitmessung zu entwickeln, das die Effizienz und eventuelle Ressourcenverschwendung überwacht.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert: Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen und die bereits vorhandene Sensorik am Handarbeitsplatz. Anschließend wird das Konzept zur Inbetriebnahme der vorhandenen Sensorik und zum Einbau des weiteren Sensors erläutert (3). Dabei wird auf Basis einer Entscheidungsmatrix der Sensor ausgewählt. Abschließend wird das weitere Vorgehen zur Umsetzung der Konzepte erläutert (4).

2. Grundlagen

Das Grundlagen Kapitel dient der späteren Verständlichkeit der in Kapitel 3 vorgestellten Konzepte. Dieses Kapitel widmet sich der Beschreibung des Handarbeitsplatzes des PTZ der DHBW Ravensburg am Campus Friedrichshafen. Außerdem wird die am Handarbeitsplatz verbaute Sensorik beschrieben sowie verschiedenen Methoden der Zeitmessung vorgestellt.

2.1. Handarbeitsplatz im Produktionstechnischen Zentrum

Das PTZ bildet zusammen mit der Lernfabrik des IWT ein Produktionsnetzwerk ab. Dabei wird in Form einer realen Wertschöpfungskette der Produktionsprozess veranschaulicht und umgesetzt. Die verschiedenen Variationen eines Bauteils werden in vier verschiedenen Stationen zusammengebaut. An der ersten Station des Produktionsprozesses wird der QR-Code des Bauteils von einem Scanner erfasst und im System hinterlegt. Die zu fertigende Variante des Bauteils wird im System gespeichert. Anschließend wird das Bauteil von einem Roboter auf das Förderband bewegt, um es zur zweiten Station zu transportieren. Dort werden, je nach Variante des Bauteils, Bolzen auf dem Werkstück platziert. Die dritte Station, an der diese Studienarbeit verfasst wird, ist ein manueller Handarbeitsplatz. Hier wird das Werkstück mithilfe eines Werkerassistenzsystems zusammengestellt. Dieser Prozess umfasst sowohl die Vormontage als auch die finale Montage des Werkstücks. Die letzte Station des Produktionsprozesses ist die Endprüfung des Werkstücks. Nach der Endprüfung wird das Produkt

über ein Transportsystem an die Lernfabrik des IWT geliefert. Das PTZ bildet somit den Produktionsprozess eines Werkstücks durch vier über ein Förderband verbundene Stationen ab.

Abbildung 2.1 zeigt den Zusammenhang des PTZ mit der Lernfabrik des IWT. Im PTZ werden Werkstückträger aufgebaut und in der Lernfabrik des IWT fertig montiert. Nach dieser Endmontage wird der Werkstückträger im Rahmen einer Endprüfung überprüft und anschließend eingelagert. Zum Schluss wird der Werkstückträger wieder demontiert und die Teile wieder zugänglich gemacht. Durch den Montage- und Demontageprozess entsteht ein vollständiger Produktionskreislauf.

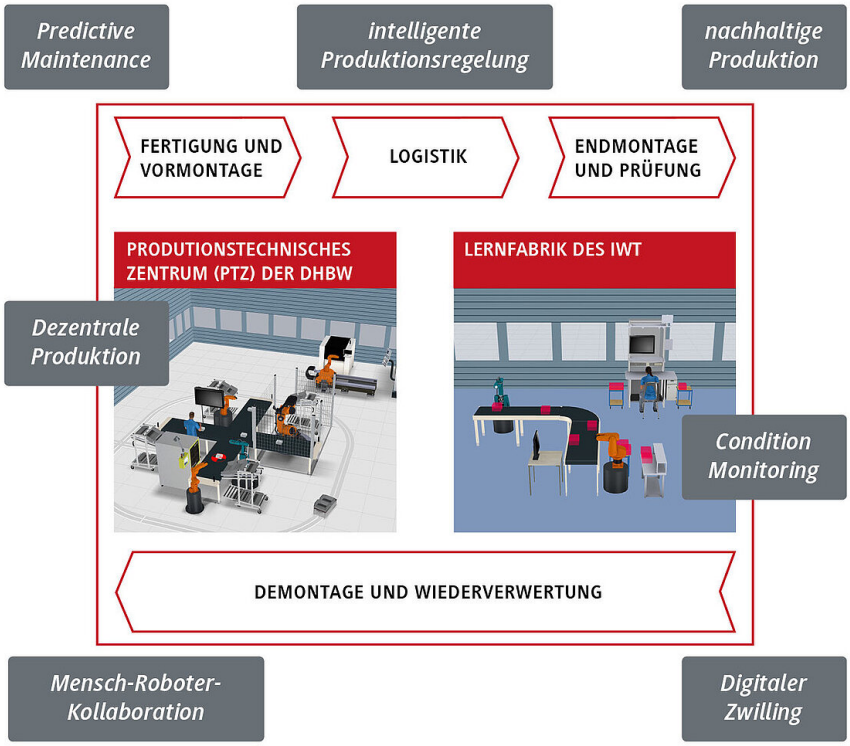


Abbildung 2.1.: Zentrum für Digitalisierung [Bad23]

Handarbeitsplatz

Im Folgenden wird der Ist-Zustand des Handarbeitsplatzes dargestellt sowie die aktuell notwendigen Arbeitsschritte.

Abbildung 2.2 zeigt den aktuellen Zustand am Handarbeitsplatz. In der Mitte der Abbildung ist die Arbeitsfläche. Darauf befinden sich das Werkzeug für die Ausführung der Arbeitsschritte sowie eine freie Fläche zum Arbeiten. Hinter der Arbeitsfläche ist das Fließband des PTZ. Darüber werden die Bauteile zwischen den verschiedenen Stationen ausgetauscht. Oberhalb des Bandes befinden sich mehrere Boxen, die mit notwendigen Materialien befüllt sind. Rechts neben dem Handarbeitsplatz sind weitere Boxen mit Materialien. Über dem Arbeitsplatz hängt der Bildschirm des ifm mate Werkerassistenzsystems. Die Arbeitsschritte am Handarbeitsplatz werden von diesem Werkerassistenzsystem vorgegeben und dargestellt.



Abbildung 2.2.: Handarbeitsplatz des PTZs

2.2. Sensorik

Mithilfe von Sensorik kann die Umwelt in vielen verschiedenen Hinsichten erfasst werden. So können elektrische Signale, aber auch Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Positionen, Abstände und viele weitere Parameter erfasst werden. Eine Produktion ohne Sensorik ist in der heutigen Zeit unvorstellbar. Vor allem dient die Sensorik der industriellen Automation. Über Sensoren kann einer Software die Umgebung digital übergeben werden. Die folgenden Kapitel beschäftigen sich zum einen mit den, schon am Handarbeitsplatz, vorhandenen Sensoren (2.2.1) sowie den Auswahlkriterien für die Bestimmung eines Sensors (2.2.2).

2.2.1. Vorhandene Sensorik

Der Handarbeitsplatz verfügt momentan über zwei verschiedene Sensoren. Diese sind zum einen zwei Lichtschranken sowie eine 2D/3D Kamera die ein Teil des Werkerassistenzsystem ifm mate darstellt. Diese beiden Sensoren werden in den folgenden Kapitel, in ihrem Aufbau und grundsätzlichen Funktion beschrieben.

Lichtschranken

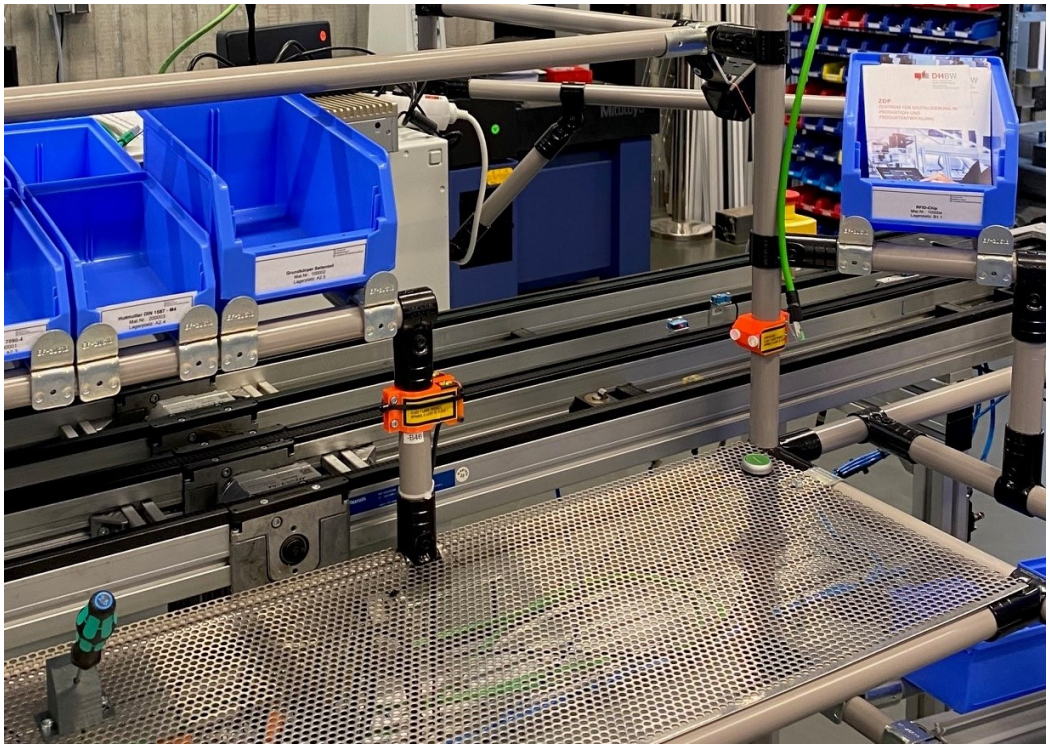


Abbildung 2.3.: Verbaute Lichtschranken am Handarbeitsplatz

Abbildung 2.3 zeigt die an dem Handarbeitsplatz verbauten zwei orangenen Lichtschranken. Diese befinden sich direkt zwischen dem Produktionsband und der Montagefläche am Handarbeitsplatz. Die Lichtschranken von ifm mit der Modellnummer O6P700 sind über einen IO Link an die SPS angeschlossen (3.3.1). Allerdings fehlt hier die Programmierung des Datenaustauschs zwischen Lichtschranke und SPS. Diese muss noch implementiert werden, damit die Lichtschranken vollständig funktionstüchtig sind.

ifm mate Werkerassistenzsystem

Ein wichtiger Bestandteil des Handarbeitsplatzes bildet das Werkerassistenzsystem (WAS) ifm mate. ifm mate, eine Abkürzung für „Manual Assembly Training Engineer“, unterstützt den/die Werker/-in beim Montieren und Demontieren von Teilen während dem gesamten Arbeitsprozess am Handarbeitsplatz [ifm24b]. Diese individuell einstellbare Echtzeitunterstützung hilft dem/der Werker/-in den genauen Arbeitsablauf einzuhalten und bei Unsicherheiten zu helfen.
Eine Anleitung zur Verwendung des ifm mate am Handarbeitsplatz ist unter Anhang A angefügt. Darin sind die zur Benutzung des ifm mate notwendigen Schritte ausführlich beschrieben.

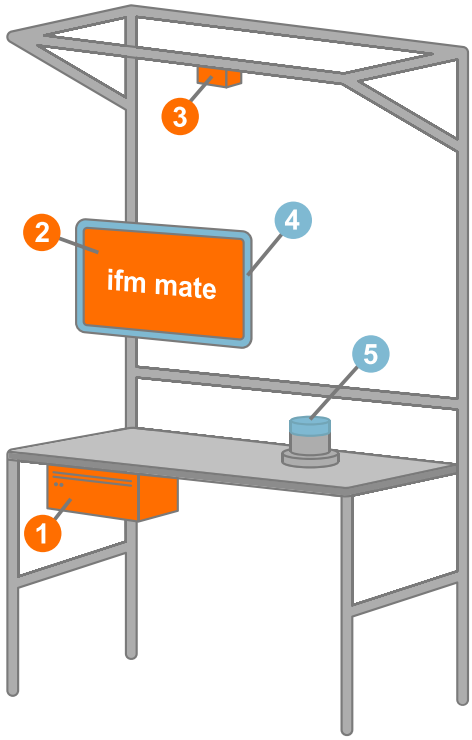


Abbildung 2.4.: Konstruktioneller Aufbau des ifm mate [ifm24a]

Der ifm mate besteht aus einer 2D/3D Kamera und einer Recheneinheit auf welcher die ifm mate Software ausgeführt wird. Außerdem ist ein Monitor am Einsatzort des WAS notwendig, um die Arbeitsanweisungen zu sehen. Diese sind in der in Abbildung 2.4 gezeigten Darstellung eines Handarbeitsplatzes zu sehen. Mit *1* markiert

ist die Recheneinheit des gesamten Systems. Nummer *2* stellt die ifm mate Software dar. Die 2D/3D Kamera *3*) hängt oberhalb des Handarbeitsplatzes und beobachtet so den gesamten Bereich. Mit *4* wird der benötigte Monitor beschrieben. Von Vorteil ist hier ein touchfähiger Monitor, damit der/die Werker/-in bei Fehlermeldungen oder gewissen vorzunehmenden Einstellungen direkt die Kontrolle übernehmen kann [ifm24c]. Nummer *5* beschreibt einen optischen und akustischen Signalgeber. Dieser ist bei dem ifm mate des PTZs nicht verbaut.

Mithilfe vom Deep Learning Ansätzen kann die Software über die Kamera die Hand des/der Werkers/Werkerin sowie die Greifposition erkennen. So kann auch die Höhe der Hand am Handarbeitsplatz erkannt werden, sodass Aktionen in verschiedenen Höhen erkannt und verarbeitet werden können.



Abbildung 2.5.: Bildschirm des ifm mate am Handarbeitsplatz

Abbildung 2.5 zeigt ein Bild des verbauten Monitors am Handarbeitsplatz. Das Live-Bild der Kamera wird groß auf dem Bildschirm dargestellt. Auf dem Bild sind mehrere farbige Felder zu sehen. Diese markieren wichtige Positionen am Handarbeitsplatz wie zum Beispiel, verschiedene Regalfächer, Werkzeug oder aber auch den Entnahme- und Rückgabeplatz des Werkstücks. Standardmäßig sind die Felder weiß hinterlegt. Der erste bzw. nächste Schritt wird gelb hinterlegt. Führt der/die Werker/-in die Hand

nun zu der auf dem Bildschirm markierten Position am Handarbeitsplatz, so wird das Feld grün und der nächste Arbeitsschritt gelb markiert. Das Feld wird allerdings nur dann grün, wenn der/die Werker/-in die Hand in der richtigen Höhe, entsprechend der auszuführenden Aufgabe, hält. So können falsche oder mutwillig falsche Griffe vermieden werden. Diese Tiefenerkennung ist vorallem bei dem Handarbeitsplatz des PTZ von großem Vorteil. Durch ein verbautes Lean-Regal und Regalboxen auf verschiedenen Höhen relativ zum eigentlichen Arbeitsplatz, kann so eine präzise Nachverfolgung der Handgriffe des/der Werkers/Werkerin vorgenommen werden. In Abbildung 2.5 ist unten links ein weiß hinterlegtes Bild zu sehen. Hier werden weitere Informationen zum Arbeitsschritt gegeben. So wird beispielsweise angegeben wie das Werkstück mit den zuvor, aus den farblich hinterlegten Regalboxen, herausgenommenen Materialien zusammengebaut werden soll.

Über das Produktionsband des PTZs laufen aktuell fünf verschiedene Varianten, die sich hinsichtlich der verbauten Komponenten unterscheiden. Die Variante des am Handarbeits ankommenden Werkstücks kann momentan lediglich über einen großen, in der Produktionshalle verbauten, Bildschirm abgelesen werden. Vor der Entnahme des Werksstücks vom Band muss diese Variante im WAS manuell eingegeben werden. Hierzu sind alle fünf Varianten und ihre Arbeitsschritte in der Software hinterlegt.

Der Vorteil des ifm mate Werkerassistenzsystem besteht darin, dass dauerhaft eine hohe, gleichbleibende Produktivität gewährleistet werden kann. Dadurch können unnötige Kosten und Arbeitsschritte wie die fehlerhafte Montage oder eine erneute Montage vermieden werden. Außerdem kann durch die einfache Handhabung des Systems und die selbsterklärende Vorgehensweise ein neuer Werker bzw. eine neue Werkerin schnell eingelernt werden. Der ifm mate benutzt lediglich die verbaute 2D/3D Kamera als Sensor. Dieser Sensor befindet sich, wie in Abbildung 2.4 zu sehen, oberhalb des Handarbeitsplatzes und ist somit nicht störend im alltäglichen Produktionsprozess [ifm24c].

2.2.2. Auswahlkriterien Sensorik

Um eine qualitative Aussage über die Auswahl der Sensoren im Rahmen dieser Studienarbeit tätigen zu können, werden verschiedene Vergleichskriterien betrachtet. In Tabelle 2.1 sind die für den Entscheidungsprozess der Sensoren relevanten Kriterien dargestellt.

Tabelle 2.1.: Vergleichskriterien für die Auswahl eines geeigneten Sensors

Kriterium	**Beschreibung**
Genauigkeit	Wie präzise ist der Sensor bei der Messung?
Empfindlichkeit	Wie gut kann der Sensor kleine Veränderungen erfassen?
Ansprechzeit	Wie schnell reagiert der Sensor auf Veränderungen?
Haltbarkeit	Wie robust ist der Sensor?
Kosten	Wie viel kostet der Sensor (Preis-Leistung)
Kalibrierung	Wie einfach ist es, den Sensor zu kalibrieren und auf die gewünschte Genauigkeit einzustellen?
Energieverbrauch	Wie viel Energie verbraucht der Sensor?
Schnittstellen	Über welche Schnittstellen kommuniziert der Sensor?
Größe	Wie groß ist der Sensor?
Einbindung und Komplexität im Projekt	Wie kompliziert ist das Einbauen und Einbinden in das Projekt?

woher stammen diese Kriterien? LT Q?

Die dargestellten Kriterien bilden die Grundlage für die gewichtete Entscheidungsmatrix, mit der die Sensoren miteinander verglichen werden sollen. Dabei wird jedes Kriterium für die Sensoren einzeln betrachtet und bewertet. Grundlegende Eigenschaften wie Genauigkeit, Empfindlichkeit, Ansprechzeit sowie Haltbarkeit sind wesentliche Kriterien für die Auswahl. Zusätzlich zu diesen Grundeigenschaften sollen u.a. die Kosten betrachtet werden, um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können. Dazu wird auch der Energieverbrauch betrachtet, d.h. wie viel Energie der Sensor verbraucht. Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl sind die Schnittstellen des Sensors. Dabei ist sowohl die Art der Kommunikation als auch die Anzahl der Daten zu berücksichtigen. Um den Sensor am Handarbeitsplatz montieren und später nutzen zu können, müssen zusätzlich die Größe und die Bauform betrachtet werden.

2.3. Methoden der Zeitmessung

Um in der Produktion Arbeitszeiten von Arbeitern oder von Prozessschritten zu erfassen, gibt es verschiedene Methoden. Diese werden angewendet, um Ressourcenverschwendung im Sinne von Zeit, Material und Geld, aufzudecken und daraus Maßnahmen zur Verbesserung abzuleiten. Die drei bekanntesten Methoden der Zeitmessung sind die Methods-Time Measurement (MTM) Methode, REFA-Methode sowie die traditionelle Zeitaufnahme mit einer Stoppuhr.

2.3.1. MTM Methode

Mittels der MTM Methode können Arbeitsabläufe analysiert und Plan- und Vorgabezeiten ermittelt werden. Mit dieser Methode können Verfahren und Methoden eines Unternehmens vereinheitlich werden. Dieses Verfahren wird weltweit verwendet und zeichnet sich vor allem durch die global einheitlichen Codierungen von Bewegungselementen aus. MTM setzt auf die Aufspaltung großer Prozessschritte in kleine, messbare Schritte. Diesen sogenannten Bewegungselemente werden Zeitwerte zugeordnet. Ein Bewegungselement kann zum Beispiel die Bewegung „heben“ sein. In

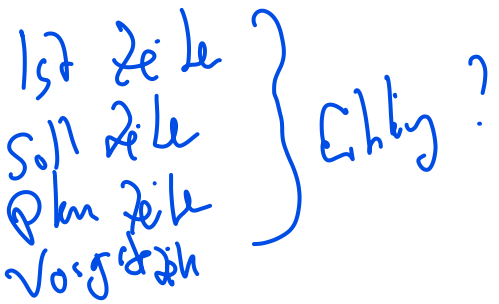
einer Tabelle werden anschließen diese Bewegungselemente zusammen mit den empirisch ermittelten Zeiten eingetragen und als Grundlage der gesammten Zeitmessung und -abschätzung eines Prozesses verwendet. Oft sind die einzelnen Zeitwerte eines Bewegungselement abhängig von weiteren Parametern, wie zum Beispiel der zurückzulegende Weg beim Bewegen eines Gegenstandes [Ber14, vgl.].

2.3.2. REFA

Mithilfe der REFA-Methode (Abkürzung für „Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung„) können Arbeitsabläufe beobachtet, erfasst und gemessen werden. Grundlage der Zeitermittlung nach REFA ist die Ermittlung von Soll-Zeiten durch Messung und Auswertung von Ist-Zeiten mit Hilfe eines Zeiterfassungsgerätes. Dieses Zeiterfassungsgerät kann eine simple Stoppuhr, aber auch ein komplexes, digitales Aufnahmegerät sein [REF24c]. Die Ermittlung der Vorgabezeiten beruht, wie die gesamte Methode, auf einer systematischen, strukturierten und standardisierten Vorgehensweise [REF24a]. Entscheidend für die Ermittlung der Vorgabezeiten ist die Festlegung des Verwendungszweck. Stark abhängig vom ausgewählten Verwendungszweck wird die anzuwendende Sorgfalt und Genauigkeit der Zeitmessungsstudie ausgewählt. Außerdem muss eine korrekte und detaillreiche Beschreibung der zu messenden Aktivität vorliegen. Diese ist maßgeblich für die Reproduzierbarkeit der Arbeitsbedingungen. Um die erfasste Situation besser beurteilen und verbessern zu können, können die Ergebnisse der Zeitmessungsstudie verwendet werden. Diese können des Weiteren auch als Kennzahlen oder Vorgabezeiten dienen, sowie zur Verbesserung der Entwicklung von REFA-Planzeitbausteinen verwendet werden [REF24b].

2.3.3. Zeitaufnahme mit Stoppuhr

Die konventionellste Methode der Zeitmessung ist die Zeitaufnahme mit einer Stoppuhr. Hier wird die Zeit eines einzelnen Arbeitsschrittes oder eines ganzen Prozesses mithilfe einer analogen oder digitalen Stoppuhr gemessen. So kann ein/eine Werker/-in selbst die Zeit des Arbeitsschrittes aufnehmen, in dem er/sie zu Beginn selbstständig den Start der Uhr betätigt und am Ende ebenfalls selbstständig die Messung beendet. Mithilfe einer analogen Uhr lassen sich lediglich einzelne Prozessschritte oder die Gesamtzeit messen, während mit einer digitalen Stoppuhr Einzelzeiten während einer Gesamtzeitmessung gespeichert werden können. Die Datenermittlung der einzelnen Prozess- oder Arbeitsschritte erfolgt meist über analoge oder digitale Zeitaufnahmebögen, in welchen der/die Werker/-in manuell die selbstständig gemessenen Zeiten erfasst. Üblich ist danach die Übertragung des Zeitaufnahmebogens in eine Tabellenkalkulation oder speziell entwickelte Software, um daraus Kennzahlen, übliche Abweichungen und andere Daten zur Prozessverbesserung zu erheben [Bun24, vgl.].





3. Konzept

Der bestehende Handarbeitsplatz soll um eine Zeitmessung ergänzt werden. Diese soll die Gesamtzeit messen, die ein/eine Werker/-in benötigt, um ein Werkstück, das auf dem Produktionsband ankommt, vollständig zu montieren. Außerdem soll versucht werden, auch die einzelnen Prozessschritte der Montage zu messen. Ein Taster, der die SPS ansteuert und so das Werkstück nach Beendigung der Montage am Handarbeitsplatz auf dem Produktionsband weiterfahren lässt, muss momentan noch manuell von dem/der Werker/-in betätigt werden. Ziel ist es, diesen analogen Taster zu entfernen und ein automatisiertes Weiterfahren des Werkstücks auf dem Produktionsband zu realisieren. Außerdem soll eine Variantenerkennung implementiert werden, sodass die gemessenen Zeiten einzelner Prozessschritte auch zu den jeweils richtigen Arbeitsschritten zugeordnet werden können. Im Folgenden werden hierfür zuerst verschiedene Sensoren vorgestellt, um anschließend die Vor- und Nachteile der einzelnen Sensoren näher zu beleuchten, sodass der für das PTZ am besten funktionierende Sensor ausgewählt werden kann (3.1). Danach werden drei verschiedene Konzepte zur Realisierung der Zeitmessung vorgestellt. Alle drei Konzepte beruhen auf der REFA-Methode der Zeiterfassung.

3.1. Sensorik

Der Handarbeitsplatz soll mithilfe von bestehender und zusätzlicher Sensorik ausgestattet werden, um den Montageprozess zeitlich zu erfassen. Im Folgenden werden verschiedene Sensoren vorgestellt und mithilfe einer Entscheidungsmatrix bewertet, um den für diese Anwendung am besten geeigneten Sensor auszuwählen.

3.1.1. Kamera

Eine Möglichkeit zur Zeitmessung und Überwachung der einzelnen Prozessschritte ist der Einsatz einer Kamera als Sensor. Dabei werden die von der Kamera aufgenommenen Daten mit Hilfe der Bildverarbeitung ausgewertet und weiterverwendet.

Funktionsweise

Mit Hilfe von Computer Vision können die von der Kamera aufgenommenen Bilder verarbeitet werden. Grundsätzlich basiert Computer Vision auf künstlicher Intelligenz und versucht damit, die Fähigkeiten des menschlichen Gehirns bestmöglich nachzubilden [Ama24]. Durch verschiedene Algorithmen werden bei dieser Technologie häufig auftretende Muster erkannt. Ausgehend von der Mustererkennung können dann Aussagen über aktuelle Zustände getroffen werden [Ama24]. Auf Basis der gelernten Daten des Netzes können auch Aussagen über neue Zustände des Systems getroffen werden, wie z.B. bei Drehung des Bauteils. Die Bilderkennung auf Basis einer künstlichen Intelligenz hat Grenzen in der Komplexität, der Anpassung und der Generalisierung. Es kann dabei zu falschen Vorhersagen auf Basis der gelernten Daten kommen, da die Intelligenz zu stark auf ganz bestimmte Muster trainiert wurde. Daher ist eine erhöhte Vielfalt in den Trainingsdaten zu verwenden [Süß14, vgl. S. 15]. Das bedeutet, dass die Anzahl an Daten extrem ansteigen würde.
Bei der Objekterkennung werden Bilder anhand verschiedener Kriterien identifiziert, sortiert und organisiert [Ama24]. Der Handarbeitsplatz im PTZ ist ein möglicher Anwendungsfall dieser Technologie. Damit kann zum einen die Zeitmessung vollständig abgedeckt werden. Zum anderen kann der genaue Status des Werkstücks, in welchem Prozessschritt es sich zum aktuellen Zeitpunkt befindet, nachvollzogen werden. Auf Basis einer Kamera und der zugehörigen Technologie des maschinellen Sehens kann die Prozesszeit gemessen und die einzelnen Prozessschritte genau überwacht werden.

Vor- und Nachteile

Ein Vorteil der Kamera gegenüber anderen Sensoren zur Zeitmessung ist die genaue Überwachung der einzelnen Arbeitsschritte am Handarbeitsplatz. Dazu gehört auch die Erfassung des aktuellen Zustands des Werkstücks. Ein weiterer Vorteil liegt in der Erkennung der verschiedenen Varianten, die auf Basis der Bildverarbeitung erkannt werden können. Durch die detaillierte Erkennung des Werkstücks und der verschiedenen Varianten können Bauteilfehler durch den Vergleich mit einem Sollwert direkt erkannt werden.
Ein wesentlicher Nachteil der Kamera gegenüber vergleichbaren Sensoren ist die starke Abhängigkeit von der Helligkeit. Ändert sich diese, können Kontraste von der Kamera nicht mehr wahrgenommen werden oder die Kamera liefert keine verwertbaren Daten an die Software. Ein weiterer Nachteil ist die sehr aufwändige Implementierung. Sowohl das Erkennen der einzelnen Varianten als auch das Hinzufügen neuer Varianten stellt einen hohen Aufwand dar. Durch die Drehung der Werkstücke kann es teilweise zu ungenauen Werten der Kamera kommen. Durch die Drehung der Bilder kann es zudem zu Fehlinterpretationen durch die Software kommen [Wut23, vgl.]. Zu den genannten Nachteilen der Kamera gegenüber anderen Sensoren kommt ein sehr hoher Rechenaufwand hinzu. Die Verarbeitung der aufgenommenen Bilder ist mit sehr großen Datenmengen und einem hohen Rechenaufwand verbunden. Die Anschaffungskosten für eine Kamera sind sehr hoch. Hinzu kommt ein im Vergleich zu anderen Sensoren erhöhter Energieverbrauch. Der Energieverbrauch einer Kamera beträgt auf das Jahr gerechnet [evo22]:

$$10\ \mathrm{W} \cdot 24\ \mathrm{h} \cdot 365\ \mathrm{d} = 87,6\ \frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{a}} \tag{3.1}$$

3.1.2. Vibrationssensoren

Vibrationssensoren sind Geräte, die Vibrationen und Erschütterungen messen können. Dabei wird die mechanische Beschleunigung in elektrische Energie umgewandelt. Die durch die Beschleunigung erzeugte Kraft führt zur Erzeugung elektrischer Signale. Diese Signale können dann von einem Computer oder einem anderen Gerät verarbeitet werden, um Informationen über die Schwingungen zu erhalten [Gmb23a].

piezoelektrische Sensoren

Die meisten Vibrationssensoren basieren auf dem piezoelektrischen Effekt. Im Inneren des Sensors befindet sich eine Piezokeramik, die durch eine so genannte seismische Masse vorgespannt wird [Con23, vgl.] [Gmb23b, vgl.]. Wenn das Objekt, an dem der Sensor befestigt ist, vibriert oder sich bewegt, schlägt die Masse auf die Piezokeramik, ähnlich wie der Hammer in einem elektrischen Feuerzeug[Gmb23a, vgl.]. Dadurch wird eine elektrische Spannung erzeugt, die proportional zur Beschleunigung des Objekts ist[Gmb23b, vgl.]. Diese Spannung wird dann durch einen Verstärker verstärkt und an einen Analog-Digital-Wandler weitergeleitet, der die Spannung in digitale Signale umwandelt[Con23, vgl.]. Diese Signale können dann von einem Computer oder einem anderen Gerät verarbeitet werden, um die Vibrationen oder Bewegungen des Objekts zu analysieren[5].

kapazitive Sensoren

Kapazitive Sensoren messen die Kapazitätsänderung zwischen zwei Platten, wenn eine Vibration auf den Sensor trifft. Wenn sich die Platten aufgrund der Vibration bewegen, ändert sich die Kapazität zwischen ihnen, was zu einer Änderung des elektrischen Signals führt. Diese Änderung kann dann von einem Computer oder einem anderen Gerät verarbeitet werden [Pat21] [Con23]. Ein kapazitiver Vibrationssensor nutzt den kapazitiven Effekt, um Vibrationen zu messen. Er besteht aus einer beweglichen Masse

zwischen zwei festen Platten. Wenn eine Vibration auf den Sensor einwirkt, ändert sich der Abstand zwischen der beweglichen Masse und den festen Platten, was zu einer Kapazitätsänderung führt [Pat21]. Diese Änderung wird von einer Elektronik erfasst und in ein elektrisches Signal umgewandelt, das proportional zur Vibrationsstärke ist. Die Messung der Kapazitätsänderung erfolgt durch Anlegen einer Wechselspannung an den Sensor und Messung des durch den Sensor fließenden Stroms. Die Strommessung erfolgt über einen Operationsverstärker, der als Spannungsfolger geschaltet ist. Der kapazitive Schwingungssensor ist neben dem piezoelektrischen Schwingungssensor eine der beiden Arten von Schwingungssensoren, die in der Industrie eingesetzt werden [Pat21].

induktive Vibrationssensoren

Ein induktiver Vibrationssensor ist ein Sensor, der die Position eines Objekts misst. Der Sensor besteht aus einem Magneten, der auf einer Grundplatte montiert ist. Um den Magneten herum befindet sich eine federbelastete Masse, die mit einer Spule umwickelt ist. Wenn sich das Objekt bewegt, ändert sich die Position der Masse und beeinflusst das Magnetfeld. Dadurch wird in der Spule eine elektrische Spannung erzeugt, die proportional zur Position des Objekts ist[Pat21] [Con23].

Vor- und Nachteile

Ein Vorteil der Verwendung von Vibrationssensoren ist die schnelle und genaue Messung von Vibrationen. Sie können in Echtzeit arbeiten und ermöglichen somit eine schnelle Reaktion auf Veränderungen. Dadurch können Veränderungen am Werkstückträger sehr schnell erkannt werden. Ein weiterer Vorteil ist die Integration einer einfachen Weiterverarbeitung der Sensordaten. Die Anzahl der Messdaten ist im Vergleich zu anderen Sensoren eher gering. Dies führt dazu, dass die benötigten Informationen mit geringem Rechenaufwand verarbeitet werden können. Ein wesentlicher Nachteil von Schwingungssensoren ist der Preis. Je nach Auswahl und Anforderungen an den Sensor können diese sehr teuer werden. Hinzu kommt die Störanfälligkeit durch an-

dere Schwingungen in der Umgebung. Dies ist vor allem bei der Integration in den PTZ problematisch, da während der Produktion diese Störsignale häufig auftreten. Ein weiterer negativer Punkt ist der Einbau von Schwingungssensoren in bestehende Anlagen. Der Einbau kann unter Umständen sehr aufwendig und mit hohem Aufwand verbunden sein. Durch die Störanfälligkeit kann es zu einer hohen Anzahl von Fehlsignalen kommen. Dies führt in diesem speziellen Anwendungsfall unter Umständen zu falschen Zeitmessungen der Arbeiten am Handarbeitsplatz. Die technischen Daten eines Vibrationssensors können variieren, aber typischerweise benötigt er eine Spannung von 15-18 V und einen konstanten Strom von 2-5 mA [Pat21]. Die Leistungsaufnahme kann dann berechnet werden, indem die Spannung mit dem Strom multipliziert und mit der Anzahl der Stunden pro Jahr multipliziert wird. Für einen Sensor mit 18 V und 5 mA beträgt die Leistungsaufnahme 788,4 Wh pro Jahr [Pat21]. Der Energieverbrauch pro Jahr der Vibratinossensoren wird in Formel 3.2 berechnet als:

$$\begin{aligned} P = U \cdot I &= 18\,\mathrm{V} \cdot 5\,\mathrm{mA} = 0,09\,\mathrm{W} \\ 0,09\,\mathrm{W} \cdot 24\,\mathrm{h} \cdot 365\,\mathrm{d} &= 788,4\,\frac{\mathrm{Wh}}{\mathrm{a}} \end{aligned} \tag{3.2}$$

3.1.3. Kraftsensoren

Mithilfe von Kraftsensoren können gemessene Kräfte in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Methoden der Kraftmessung, auf Basis von Dehnungsmessstreifen (DMS) oder piezoelektrischen Kraftaufnehmern [MTS24]. Beide Verfahren basieren auf der Änderung der Materialeigenschaften realtive magnetische Permeabilität, magnetischer Widerstand und Piezo-Messwiderstand, die durch eine Krafteinwirkung ausgelöst werden [GG06, vgl. S. 55f.]. Bei beiden Arten von Kraftaufnehmern gilt es bei der Platzierung des Sensors darauf zu achten, dass dieser direkt im Kraftfluss und somit vollständig von der auf ihn wirkenden Kraft durchflossen wird [Bau24].

Kraftsensoren mit Dehnungsmessstreifen

Das Kernstück eines Kraftsensoren mit Dehnungsmessstreifen bildet der Federkörper. Der Federkörper besitzt auf der Oberfläche einen Dehnungsmesstreifen, auf welchen eine von außen anliegende Kraft übertragen wird. Diese mechanische Dehnung wird anschließend in eine elektrische Widerstandsänderung umgewandelt [Bau24].

Durch die Krafteinwirkung auf den Sensor kommt es zu einer mechanischen Dehnung des DMS. Diese wird anschließend in eine elektrische Widerstandsänderung umgewandelt, welche wiederrum eine, zur einwirkenden Kraft, proportionale Spannungsänderung hervorruft [Bau24]. Durch Kombination mehrerer DMS in einer Wheatstone'schen Messbrücke können so auch kleinste Dehnungen erfasst werden.

Piezoelektrische Kraftaufnehmer

Bei piezoelektrischen Kraftaufnehmern ist ein piezoelektrischer Kristall zur Umwandlung der mechanischen Dehnung in ein elektrisches Signal notwendig. Piezoelektrische Materialien, wie zum Beispiel Quarz, geben unter Einwirkung einer Kraft eine Ladung ab, die proportional zur einwirkenden Kraft ist. Diese Ladung kann anschließend mithilfe eines Ladungsverstärkers in eine Spannung umgewandelt werden [GG06, vgl. S. 65f.].

Ein Piezoelektrischer Sensor besteht aus zwei piezoelektrischen Kristallelementen, welche mithilfe einer Elektrode voneinander getrennt werden. Diese Elektrode nimmt die Ladungen der Kristallelemente auf und leitet die Ladungen zum Ladungsverstärker, sodass die Spannungsumwandlung entstehen kann. Die Kristallelemente und die Elektrode werden von einem Metallgehäuse umschlossen, welche zum Schutz der Kristalle dient, aber auch mit dem Ladungsträger verbunden ist um so die zweite Kontaktstelle zu den Kristallen herzustellen [HBM21].

Wägezelle

Eine Sonderform des Kraftaufnehmers ist die Wägezelle. Mit diesem Kraftsensor lässt sich das Gewicht eines Objektes in Newton oder Kilogramm bestimmen [TR18, vgl. S. 504f.]. Federkörper und DMS bilden die Wägezelle. Analog zum Kraftsensor mit DMS wird der Federkörper bei Krafteinwirkung verformt und kommt nach der Krafteinwirkung wieder zurück in den Ausgangszustand. Die Funktionsweise des konventionellen Kraftaufnehmer und der Wägezelle ähneln sich. Die einwirkende Kraft erzeugt eine elektrische Widerstandsänderung im DMS. Neben den herkömmlichem Wägezellen können auch kraftkompensierte Wägezellen zu finden sein. Hier spricht man auch von elektromagnetisch kompensierten Messzellen. Bei dieser Form der Kraftsensoren wird das Ausgangssignal induktiv mittels eines Elektromagneten ermittelt [BOS22].

Vor- und Nachteile

Piezoelektrische Kraftsensoren und Kraftaufnehmer mit DMS haben beide die Aufgabe, eine auf die Sensoren einwirkende Kraft in elektrisches Signal umzuwandeln, um so Informationen zu übertragen und um diese weiterzuverarbeiten. Einer der größten Vorteile der Kraftsensoren liegt darin, dass Kräfte in Echtzeit gemessen werden können und gleichzeitig sehr präzise Messwerte liefern [Bau24]. Auch in diesem Projekt wäre eine Echtzeit-Messung sinnvoll, da ein realer Arbeitsprozess direkt beobachtet wird und ausgewertet werden soll. Außerdem sind die Messbereiche eines Kraftmessers sehr variable, so dass sehr kleine aber auch große Kräfte gemessen werden können [Ang24]. Ein weiterer Vorteil, vor allem der piezoelektrischen Kraftaufnehmern, besteht in flexiblen Einsatzumgebungen der Sensoren. So können sie bei normalen Temperaturen bis hin zu Extremtemperaturen und Drücken verwendet werden [Syn24].
Neben den Vorteilen, gibt es zu berücksichtigende Nachteile, wie zum Beispiel der Preis dieser Sensoren. Kraftaufnehmer, welche für eine spezielle Anwendung entwickelt werden können unter Umständen sehr teuer sein [TR18]. Außerdem müssen manche Kraftaufnehmer häufiger kalibriert werden als andere Sensoren um so Messeregbnisse mit einer hohen Genauigkeit liefern zu können. Rauschen und andere Störungen können ebenfalls die Messgenauigkeit negativ beeinflussen.

3.1.4. Optische Sensoren

Mithilfe von Licht können optische Sensoren Objekte erfassen und so Funktionen zum Steuern, Schalten oder Regeln verschiedener Funktionen auslösen [Sen24]. Grundsätzlich bestehen optische Sensoren aus zwei Teilen, Sender und Empfänger [BBS24]. Sichtbares Licht wird von Leucht- oder Laserdioden abgegeben und durch den Empfänger, oft Phototransistor, empfangen [BBS24].
Eine weitere Möglichkeit des Lichtempfängers ist die Verwendung einer Photodiode. Photodioden erzeugen einen Strom, der proportional zur Beleuchtungsstärke ist [Löf12, vgl. S. 124f.]. Dadurch ist es möglich die Beleuchtungsstärke genau zu bestimmen und damit Rückschlüsse auf die Helligkeit in der Umgebung der Photodiode zu ziehen.

Verschiedene Arten von optischen Sensoren prägen den Markt, darunter sind Reflexionstypen, Lichttaster und Lichtschranken. Momentan sind am Handarbeitsplatz zwei Lichtschranken verbaut. Diese sind für das Erkennen des Greifen in das Produktionsband verantwortlich.

Vor- und Nachteile

Die Vorteile optischer Sensoren sind vielfältig. Sie ermöglichen eine berührungslose Erfassung, sind vielseitig einsetzbar und können Materialien wie Holz, Glas, Metall, Kunstsoff oder aber auch Flüssigkeiten erkennen. Große Detektionsabstände sowie Leistungsstärke sind außerdem weitere Vorteile.
Optische Sensoren weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber hoher Luftfeuchtigkeit oder anderen Partikeln in der Luft auf, da dadurch der ausgesendete Lichtstrahl abgeschwächt oder unterbrochen werden kann. Komplettausfälle oder Fehlfunktionen können durch Verschmutzungen im Bereich der Optik hervorgerufen werden [Löf12].

3.1.5. Auswahl der Sensorik

In Tabelle 3.1 ist die gewichtete Entscheidungsmatrix zur Auswahl der Sensorik abgebildet. Sie basiert auf dem Prinzip der Nutzwertanalyse. Die Nutzwertanalyse ist eine Methode, um komplexe Entscheidungen zu strukturieren und Entscheidungen treffen zu können. Sie ist ein Instrument zur Bewertung und Entscheidungsfindung [Bei16, vgl. S. 16]. Dazu sind die in Kapitel 2.2.2 definierten Kriterien zunächst mit einer Gewichtung versehen. Dadurch kann die Bedeutung der einzelnen Kriterien für die Umsetzbarkeit und Benutzung eines Sensors mit einbezogen werden. Die wichtigsten Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Sensors sind die Genauigkeit (4) die Empfindlichkeit (5) und die Ansprechzeit (4). Für die Auswahl eines geeigneten Sensors spielen diese Kriterien eine entscheidende Rolle, da der Sensor auch kleine Veränderungen erkennen muss, um eine Erkennung der verschiedenen Arbeitsschritte innerhalb eines Prozesses zu ermöglichen. Weniger stark gewichtet ist das Kriterium der Kosten. Im Rahmen dieser Studienarbeit werden meist Sensoren von ifm verwendet und zur Verfügung gestellt. Dennoch sollen die Kosten nicht außer Acht gelassen werden. Das andere weniger stark gewichtete Kriterium ist die Größe des Sensors. Es ist nicht von entscheidender Bedeutung welche Größe der Sensor hat, da es am Handarbeitsplatz keine großen Platzprobleme gibt.

Tabelle 3.1.: Gewichtete Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines geeigneten Sensors für die Ermittlung der Prozessschrittzeiten

Kriterium	**Gewichtung**	**Kamera**	**Vibrationssensor**	**Kraftsensoren**	**Wägezellen**	**optische Sensoren**
Genauigkeit	4	7	5	8	8	6
Empfindlichkeit	5	7	5	6	6	5
Ansprechzeit	4	4	8	8	8	8
Haltbarkeit	3	8	6	5	5	6
Kosten	1	1	5	6	7	6
Kalibrierung	2	3	6	5	5	7
Energieverbrauch 2. höchste Gewicht	3	3	6	6	6	6
Schnittstellen	3	7	7	8	8	7
Größe	1	8	6	5	5	7
Einbindung in das Projekt	2	6	7	7	8	6
Ergebnis		**5,54**	**6,21**	**6,64**	**6,75**	**6,32**

Eine Kamera als Sensor bietet den Vorteil einer sehr hohen Genauigkeit, einer recht kleinen Größe sowie einer sehr hohen Haltbarkeit. Durch die Bildverarbeitung gibt es quasi keine Abnutzung und nur einen sehr geringen Wartungsaufwand. Allerdings sind die Kosten, die Kalibrierung und der Energieverbrauch Nachteile der Kamera. Aufgrund der großen Datenmenge, die von der Kamera übertragen werden muss, wird viel Speicherplatz benötigt und die Datenübertragung ist aufwändig. Die Kalibrierung der Kamera ist ein aufwändiger Prozess. Der Algorithmus benötigt viele Eingangsda-

ten für die Bildverarbeitung.
Der Kraftsensor hat seine Vorteile in der Genauigkeit, der Ansprechzeit und der Integration in das Projekt. Er lässt sich sehr gut in den Handarbeitsplatz integrieren. Durch die hohe Genauigkeit kann auch die Variantenerkennung über diesen Sensor realisiert werden. Die Nachteile liegen in der Lebensdauer und der Kalibrierung. Durch die Auflage des Werkstückträgers auf dem Sensor entsteht ein erhöhter Verschleiß und bei starken Vibrationen am Handarbeitsplatz muss der Sensor ggf. neu kalibriert werden.
Die Vorteile der Wägezelle liegen in ähnlichen Bereichen wie die des Kraftsensors. Mit der Wägezelle kann sehr kostengünstig eine genaue Messung am Handarbeitsplatz und damit die Zeitmessung der einzelnen Arbeitsschritte realisiert werden.
Optische Sensoren sind sehr gut in den Bereichen Ansprechzeit, Kalibrierung und Größe. Es handelt sich um relativ kleine Sensoren, die gut in das Projekt integriert werden können. Außerdem ist die Kalibrierung dieses Sensors vergleichsweise einfach. Die Nachteile liegen in der Empfindlichkeit und der Integration in das Projekt. Eine Variantenerkennung ist mit diesem Sensor nicht möglich und die Integration in die bestehenden Gegebenheiten ist durch den Einbau des Sensors vergleichsweise schwierig.

Anhand der dargestellten Vor- und Nachteile der Sensoren wird der zu verwendende Sensor ausgewählt. Das Ergebnis der Entscheidungsmatrix ergibt die Kraftsensoren und die Wägezellen. Da diese beiden Sensoren sehr ähnlich sind, wird im Rahmen dieser Arbeit nur das Konzept für den Einsatz einer Wägezelle ausgearbeitet. Zusätzlich wird ein Konzept für den Einsatz eines optischen Sensors erarbeitet. Dieser bietet andere Vor- und Nachteile, die im Zuge der Konzepterstellung deutlich werden. Auf Basis der Konzepte soll dann die endgültige Auswahl des zu verwendenden Sensors erfolgen.

3.2. Sollwerte Prozessschritte

Im Folgenden werden die Soll-Zeiten für die einzelnen Prozessschritte jeder Bauteilvariante am Handarbeitsplatz definiert. Die Zeiten sind auf Basis der vergangenen Studienarbeit [End23, vgl.] definiert. Tabelle 3.2 zeigt die vorgegebenen Soll-Zeiten für die einzelnen Prozessschritte der Bauteilvariante eins. Für die Variante eins sind am Handarbeitsplatz fünf Prozessschritte vorgesehen. Der/Die Werker/-in nimmt das Gehäuse vom Fließband und steckt es mit dem Seitenteil zusammen. Danach werden ein RFID-Chip sowie der Deckel für den RFID-Chip eingesetzt. Zum Schluss wird das montierte Bauteil auf das Fließband zurück gelegt.

Tabelle 3.2.: Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 1

Prozessschritt	**Beschreibung**	**Soll-Zeit [s]**
1	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) vom Fließband entnehmen	1,12
2	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) zusammenstecken	2,53
3	RFID-Chip (Matr. Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,15
4	RFID-Deckel (Matr. Nr. 100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,35
5	Montiertes Bauteil auf Fließband zurücklegen	0,71

In Tabelle 3.3 sind die Prozessschritte für Bauteilvariante zwei beschrieben. Die Prozessschritte unterscheiden sich nur geringfügig von Variante eins. Die Montage der zweiten Variante ist in sechs Schritte unterteilt. Schritt eins unterscheidet sich durch die zusätzliche Entnahme eines Bolzens vom Fließband. Die Schritte zwei bis vier sind die selben wie bei der Variante eins. Danach folgt ein weiterer Schritt fünf, bei dem der Bolzen in die vorgesehene Bohrung eingesetzt werden soll. Der letzte Schritt ist wie zuvor das zurücklegen des montierten Bauteils auf das Fließband.

Tabelle 3.3.: Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 2

Prozessschritt	**Beschreibung**	**Soll-Zeit [s]**
1	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Bolzen (Matr. Nr. 1000007) vom Fließband entnehmen	2,09
2	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) zusammenstecken	2,53
3	RFID-Chip (Matr. Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,15
4	RFID-Deckel (Matr. Nr. 100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,35
5	Bolzen (Matr. Nr. 100007) in vorgesehene Bohrung stecken	1,55
6	Montiertes Bauteil auf Fließband zurücklegen	0,71

In Tabelle 3.4 sind die Soll-Zeiten für die Schritte der Bauteilvariante drei definiert. Diese sind von den Schritten sowie den Soll-Zeiten identisch zu Variante zwei, die Variante unterscheidet sich jedoch in Geometrie und äußeren Merkmalen von Variante zwei.

Tabelle 3.4.: Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 3

Prozessschritt	**Beschreibung**	**Soll-Zeit [s]**
1	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Bolzen (Matr. Nr. 1000007) vom Fließband entnehmen	2,09
2	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) zusammenstecken	2,53
3	RFID-Chip (Matr. Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,15
4	RFID-Deckel (Matr. Nr. 100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,35
5	Bolzen (Matr. Nr. 100007) in vorgesehene Bohrung stecken	1,55
6	Montiertes Bauteil auf Fließband zurücklegen	0,71

In der Tabelle 3.5 sind die Sollzeiten für die Arbeitsschritte der Bauteilvariante vier am Handarbeitsplatz definiert. Die Arbeitsschritte sind die gleichen wie bei Variante drei, die Sollzeiten sind jedoch größer. Dies liegt daran, dass im Vergleich zu Variante drei ein weiterer Bolzen am Bauteil befestigt werden muss. Daher ändern sich die definierten Sollzeiten der Schritte eins und fünf.

Tabelle 3.5.: Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 4

Prozessschritt	**Beschreibung**	**Soll-Zeit [s]**
1	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Bolzen (Matr. Nr. 1000007) vom Fließband entnehmen	3,07
2	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) zusammenstecken	2,53
3	RFID-Chip (Matr. Nr. 100004) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,15
4	RFID-Deckel (Matr. Nr. 100003) in Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) einsetzen	2,35
5	Bolzen (Matr. Nr. 100007) in vorgesehene Bohrung stecken	2,69
6	Montiertes Bauteil auf Fließband zurücklegen	0,71

Die Tabelle 3.6 zeigt die vorgegebenen Sollzeiten für die Arbeiten der Werkstückträgervariante fünf. Diese besteht aus deutlich mehr Schritten als die vier vorangegangenen Varianten. Neben der Schrittnummer, einer Beschreibung und der Sollzeit sind bei dieser Variante auch Hilfsmittel am Handarbeitsplatz angegeben, die verwendet werden müssen. Der erste Schritt beschreibt wieder die Entnahme des Gehäuses vom Montageband. Anschließend muss mit Hilfe der Montagevorrichtung Griff, der Montagevorrichtung Seitenspanner und einem Kniehebelspanner der Griff am Seitenteil befestigt werden. Dazu werden sowohl der Griff als auch das Seitenteil gespannt und anschließend durch Schrauben miteinander verbunden. Dies geschieht in mehreren Einzelschritten, die erläutert werden. Abschließend werden Gehäuse und Seitenteil zusammengesteckt und wieder auf das Montageband gesetzt. Grundsätzlich benötigt diese Variante aufgrund der höheren Anzahl und Komplexität der Arbeitsschritte deutlich mehr Zeit als die anderen Werkstückvarianten.

Tabelle 3.6.: Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 5

Schritt	Beschreibung	Hilfsmittel	Soll-Zeit
1	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) vom Fließband entnehmen		1,12
2	Griff (Matr. Nr. 100005) in Vorrichtung schieben	Montagevorrichtung Griff	3,6
3	Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) in Vorrichtung stellen und fixieren	Montagevorrichtung Seitenteil, Kniehebelspanner	5,54
4	Adapterplatte (Matr. Nr. 1000006) in vorgesehene Bohrungen der Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) stecken		2,09
5	Senkenschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr. Nr. 200002) durch Adapterplatte (Matr. Nr. 100006) und Griff (Matr. Nr. 100005) führen		1,81
6	Scheibe ISO 7090-4 (Matr. Nr. 200001) auf Senkenschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr. Nr. 200002) stecken		2,24
7	Hutmutter DIN 1587 - M4 (Matr. Nr. 200003) mit Senkenschraube ISO 10642 - M4x25 (Matr. Nr. 200002) verschrauben	Ringmaulschlüssel SW8, Schraubendreher SW2,5	14,48

8	Grundkörper Gehäuse (Matr. Nr. 100001) und Grundkörper Seitenteil (Matr. Nr. 100002) zusammenstecken		7,25
9	montiertes Bauteil zurück auf das Fließband legen		0,71

3.3. Konzept Inbetriebnahme der Lichtschranken

In diesem Kapitel wird das Konzept für die Inbetriebnahme der am Handarbeitsplatz verbauten Lichtschranken vorgestellt. Dazu wird der aktuelle Stand der Sensorik am Handarbeitsplatz zunächst veranschaulicht und danach die Datenübertragung der Lichtschranken zur SPS aufgezeigt.

3.3.1. Aufbau der Lichtschranken am Handarbeitsplatz

Zunächst wird der aktuelle Stand der verbauten Sensorik am Handarbeitsplatz veranschaulicht. Abbildung 3.1 zeigt die bereits verbauten Lichtschranken am Handarbeitsplatz. Oben in der Abbildung ist das Band zu sehen, auf dem die Werkstücke zwischen den verschiedenen Stationen befördert werden. Darunter sind die beiden verbauten Lichtschranken mit den Indizes A und B abgebildet. Um den Werkstückträger vom Band zum Handarbeitsplatz zu transportieren, müssen beide Lichtschranken nacheinander durchquert werden. Zunächst wird die Lichtschranke B durchtrennt, gefolgt von der Lichtschranke A. Durch die Reihenfolge der Signale kann unterschieden werden, ob das Werkstück vom Band genommen oder auf das Band gelegt wird. Beim Zurücklegen des Werkstücks vom Handarbeitsplatz auf das Band werden zunächst Lichtschranke A und danach B durchtrennt. Durch die unterschiedliche Reihenfolge der Lichtschranken kann somit eine genaue Zeitmessung der Gesamtzeit der Arbeitsschritte erfolgen.

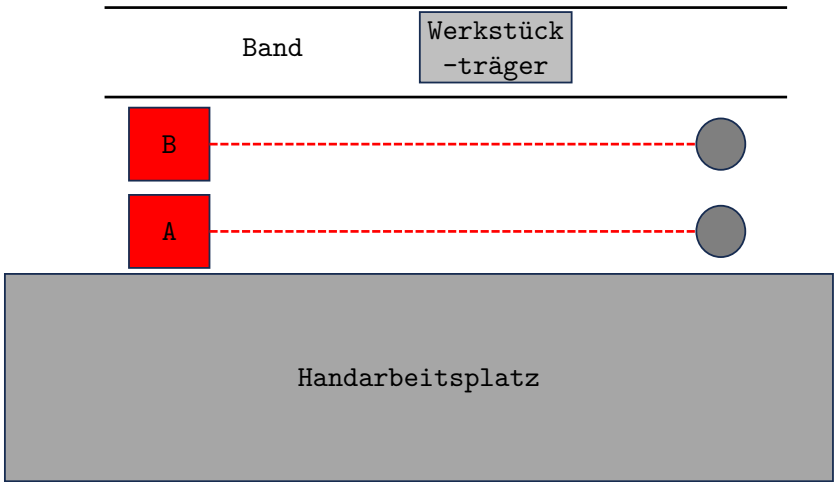


Abbildung 3.1.: Konzept für die Inbetriebnahme der Lichtschranken

Durch die Messung der Gesamtzeit des Prozesses am Handarbeitsplatz und der damit einhergehenden Kenntnis über die Beendigung des aktuellen Arbeitsprozesses kann der Taster zur Ansteuerung der SPS entfernt werden. Nach einer definierten Totzeit soll die SPS das Signal senden, dass der Werkstückträger wieder auf dem Band ist und zur nächsten Station gebracht werden soll. Um einen verbesserten Produktionablauf am Handarbeitsplatz zu erreichen wird dieser Taster zur Ansteuerung ersetzt.

3.3.2. Datenaustausch der Lichtschranken mit der SPS

In diesem Kapitel soll der Datenaustausch von den Lichtschranken mit der SPS angeschaut werden. Dieser erfolgt über einen ifm IO Link. Die Daten werden direkt von den verbauten Lichtschranken erfasst und über den IO Link an die SPS weitergeleitet. Abbildung 3.2 zeigt den Aufbau dieser Datenübertragung mit den einzelnen Komponenten. Jede der Lichtschranken ist mit dem IO Link separat verbunden. Darüber werden die Singale der Lichtschranken übertragen.

Bei einem Eingangssignal der Lichtschranken werden innerhalb der SPS die Zeiten gestoppt. Dadurch wird die Zeitmessung direkt innerhalb der SPS durchgeführt und kann somit gut erweitert werden, um die Ansteuerung des Bandes zu übernehmen. Die

Lichtschranken senden alle 2,5 ms ein zyklisches Signal an den IO-Link. Dieses enthält den Prozesswert, den Gerätestatus sowie die binäre Schalterstellung. Anhand dieser zyklischen Informationen kann in der SPS erkannt werden, sobald sich ein Objekt zwischen den Lichtschranken und dem Reflektor befindet.

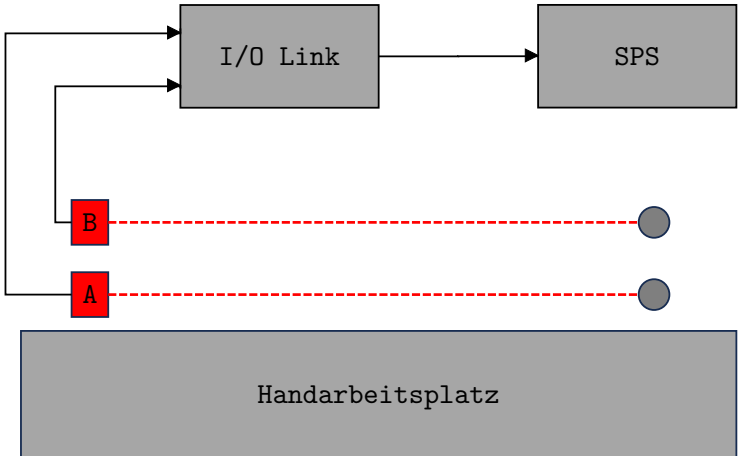


Abbildung 3.2.: Verbindung der Lichtschranken und der SPS über einen IO Link

Zusätzlich zur Messung des Anfangs- und Endzeitpunktes sollen auch die einzelnen Prozessschritte erfasst werden können. Um dies zu ermöglichen, reichen die aktuell verbauten Sensoren nicht aus. In Kapitel 3.4.2 und 3.5 werden die Konzepte zur Messung der einzelnen Prozessschritte beschrieben.

3.4. Konzept Messung der einzelnen Prozessschritte

In diesem Kapitel werden zwei Konzepte zur Messung der einzelnen Prozessschritte am Handarbeitsplatz genauer betrachtet. Zunächst gibt es die Möglichkeit der Verwendung eines optischen Sensors (3.4.1), um diese Zeiten zu bestimmen. Die andere Möglichkeit der Zeitmessung ist die Verwendung einer Wägezelle (3.4.2).

3.4.1. Verwendung eines optischen Sensors

Das erste Konzept zur Bestimmung der Prozesszeiten der einzelnen Arbeitsschritte besteht darin, einen optischen Sensor zu integrieren. In Abbildung 3.3 ist das Konzept mit einem optischen Sensor skizziert. Die Abbildung zeigt den Aufbau des Handarbeitsplatzes schematisch von oben. Die Werkzeuge des Handarbeitsplatzes sind links in der Abbildung vereinfacht dargestellt. Eine Fläche zum Ablegen des Bauteils wird in der Mitte des Handarbeitsplatzes definiert. Um eine genaue Überwachung der einzelnen Prozessschritte zu ermöglichen, muss das Bauteil innerhalb der vorgegebenen Fläche platziert werden. Wenn der Werkstückträger außerhalb der Fläche platziert wird, kann der Sensor den jeweiligen Prozessschritt nicht mehr erkennen und die Zeitmessung der Arbeitsschritte geht verloren.
Der optische Sensor ist in der Mitte dieser Ablagefläche eingebaut. Über die Veränderung der Helligkeit erkennt der Sensor, dass sich ein Bauteil direkt über ihm befindet. Jede Detektion des Bauteils signalisiert den Abschluss eines Prozessschritts.
In der Abbildung oben ist die Ein- und Ausgabe des Werkstücks zu sehen. Zunächst muss das Werkstück vom Band genommen und nach Abschluss der Arbeiten am Handarbeitsplatz wieder zurückgelegt werden. Während des Herausnehmens und Zurücklegens wird die Gesamtzeit der Arbeitsschritte anhand des in Kapitel 3.3 vorgestellten Konzepts bestimmt.

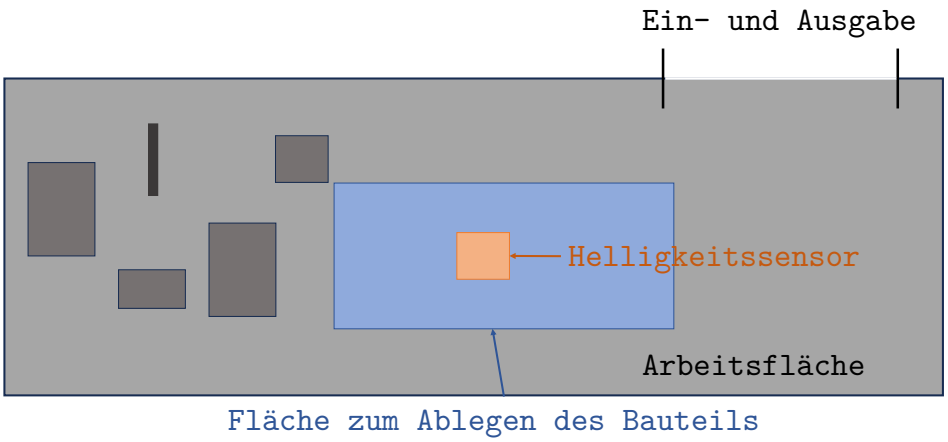


Abbildung 3.3.: Skizze Konzept optischer Sensor

Der Helligkeitssensor soll bei Detektion des Werkstücks ein Signal an die SPS senden. Über dieses Signal kann in der SPS die Zeit ausgewertet werden, die für einen Prozessschritt benötigt wurde. Mithilfe eines definierten Schwellwerts für die Helligkeitswerte des Sensors wird entschieden, ab wann das Bauteil detektiert werden soll. Durch die Umsetzung dieses Konzepts ist es möglich zusätzlich zu der Gesamtzeit des Prozesses auch die Zeiten der einzelnen Prozessschritte genau zu bestimmen.

3.4.2. Verwendung einer Wägezelle

Analog zum Konzept des optischen Sensors besteht eine Möglichkeit der Einzelzeitmessungen in der Verwendung einer Wägezelle. In Abbildung 3.4 ist der Einbau der Wägezelle am Handarbeitsplatz schematisch dargestellt. Der Aufbau der Sensorik am Handarbeitsplatz ist ähnlich zum in Kapitel 3.4.1 vorgestellten Konzept mit einem Helligkeitssensor.
Der Unterschied der beiden Konzepte besteht im Einbau des verwendeten Sensors. Die Verwendung eines Helligkeitssensors erlaubt eine größere Arbeitsfläche zur Ablage des Bauteils als die Sensorgröße. Bei der Verwendung einer Wägezelle wird die Ablagefläche für das Bauteil deutlich verkleinert und ist genauso groß wie der Sensor selbst. Durch die Verwendung einer Wägezelle ist eine Erkennung des Bauteils, der Bauteilvariante sowie dem aktuellen Prozessschritt zustätzlich zu den Prozesszeiten möglich.
Während mit einem Helligkeitssensor keine Differenzierung der Bauteilvarianten und den Arbeitsschritten möglich ist, kann diese mit einer Wägezelle gut erreicht werden. Die einzelnen Bauteilvarianten und Arbeitsschritte führen zu einem unterschiedlichen Gewicht des Werkstückträgers. Dadurch kann sowohl die Variante zu Beginn der Arbeit am Handarbeitsplatz erkannt werden, als auch der aktuelle Prozessschritt. Der Nachteil dieses Konzepts liegt in der Erkennung des Gewichts. Der Werkstückträger muss bei jedem Auflegen auf die Wägezelle genau gleich bzw. mittig auf dem Sensor plaziert werden. Ist dies nicht der Fall kann es zu falschen Messergebnissen und damit zu falschen Auswertungen in der Software kommen.

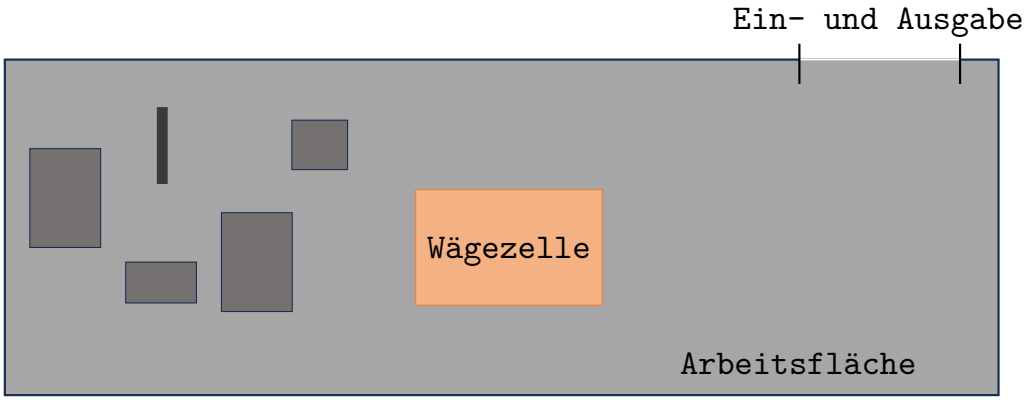


Abbildung 3.4.: Skizze Konzept Wägezelle

Das Konzept der Wägezelle bietet also deutliche Vorteile in der Erkennung der Varianten und der einzelnen Prozessschritte, ist aber in der Realisierung schwerer zu erreichen. Ein weiterer Nachteil der Wägezelle ist die hohe Sensibilität für Erschütterungen. Um verschiedene Prozessschritte und Varianten erkennen zu können, muss die Wägezelle bereits kleinste Gewichtsunterschiede des Werkstückträgers erkennen können. Damit einhergehend ist eine sehr hohe Sensibilität gegenüber kleinsten Veränderungen. Durch Erschütterungen am Handarbeitsplatz kann die Kalibrierung des Sensors verloren gehen und führt ebenfalls zu falschen Messergebnissen.

3.5. Konzept Weiterentwicklung von ifm mate

Das Werkerassistenzsystem ifm mate ist ein wichtiger Bestandteil des Handarbeitsplatzes. Mit diesem System wird der Werker während des Arbeitsprozesses am Handarbeitsplatz unterstützt, indem das WAS den/die Werker/-in schrittweise durch den Arbeitsprozess führt. Über eine verbaute 2D/3D Kamera oberhalb des Handarbeitsplatzes wird jede Handbewegung des/der Werkers/Werkerin erkannt und verarbeitet. Mithilfe von Tiefenerkennung kann die Position der Hand genau bestimmt werden. Genauer wird der ifm mate in Kapitel 2.2.1 beschrieben. Die folgenden Unterkapitel beschäftigen sich mit der grundlegenden Idee sowie mit deren Umsetzung.

3.5.1. Grundlegende Idee

Dem WAS liegen für jede Variante die einzelnen Arbeitsschritte vor. Die Bearbeitung eines Werkstücks beginnt immer mit der Entnahme des Werkstücks vom Produktionsband. Danach beginnt der erste Arbeitsschritt. Die zugehörigen Regalboxen, gefüllt mit dem Material, werden gelb hinterlegt und der/die Werker/-in führt nach der Bildbeschreibung, in der linken unteren Bildschirmecke, die Montage durch. Dadurch, dass das WAS genau erkennt, wann ein Arbeitsschritt zu Ende ist, kann so auch eine Echtzeit gemessen werden. Diese Echtzeitmessung bildet die Grundlage des Konzepts „Konzept ifm mate“.

Neben dem WAS sind am Handarbeitsplatz zwei Lichtschranken verbaut. Mithilfe der zwei Lichtschranken kann auf einfache Art und Weise die Gesamtzeit des Montageprozesses gemessen werden. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 3.3.1 näher beschrieben. An verschiedenen Stellen des gesamten Produktionsbandes sind außerdem QR-Code Scanner zu finden, so auch am Handarbeitsplatz nahe der Ein- und Ausgabe des Werkstücks. Auf dem Werkstückträger soll von nun an ein QR-Code zu finden sein mit welchem Informationen an jede Station des Produktionsbandes übermittelt werden sollen. Ziel dabei ist es die aktuelle Variante des Werkstückträgers zu hinterlegen.

Ziel ist es, mit diesem Konzept nicht nur die Gesamtzeit sondern auch die Dauer der einzelnen Arbeitsschritte mithilfe des ifm mates zu messen. Durch Integration eines QR-Codescanners soll außerdem eine automatisierte Variantenerkennung eingeführt werden, sodass kein manuelles Auswählen der Varianten durch den/die Werker/-in mehr notwendig ist.

3.5.2. Konzeptionelle Umsetzung

Zeitlich sollen sowohl der gesamte Arbeitsprozess der Montage am Handarbeitsplatz als auch die einzelnen Prozessschritte gemessen werden. Der erste Arbeitsschritt beginnt beim Ausfassen des Werkstücks vom Produktionsband. Wurde dieser Vorgang erkannt, so wird das Feld der Entnahme- und Rückgabestation auf dem Monitor des WAS grün hinterlegt und ein nächstes Feld wird gelb hinterlegt. Die Zeitmessung des ersten Arbeitsschritt beginnt. Sobald das nächste Feld grün wird, so ist der erste Prozessschritt zu Ende, die Zeit wird gestoppt und anschließend gespeichert. So wird jeder einzelne Montageschritt zeitlich überwacht. Die Gesamtzeit kann demnach über zwei Arten gemessen werden. Einmal über die in Kapitel 3.3.1 erwähnten Lichtschranken oder aber mithilfe des WAS. Die Zeit von Beginn des ersten Prozessschritt bis zum Ende des letzten Prozessschritt bildet die Gesamtzeit ab.

Die Variantenerkennung erfolgt über den QR-Scanner. Bevor der Montageprozess beginnt wird der sich auf dem Werkstück befindliche QR-Code gescannt. Dieser QR-Code übermittelt anschließend dem WAS die Versionsnummer. Mithilfe dieser Versionsnummer kann nun die richtige Montageanleitung gezeigt werden.

Der analoge Taster für den manuellen Start des Produktionsband kann entfernt werden, indem nach dem letzten Arbeitsschritt und einer Totzeit automatisch ein Signal der SPS übertragen wird. Die Totzeit ist dafür vorhanden, um dem/der Werker/-in genug Zeit zu geben, das Werkstück aufs Band zu legen und danach die Hand wieder vom Produktionsband zu nehmen, da es sonst zu Verletzungen kommen könnte.

Abbildung 3.5 stellt den Arbeitsablauf des/der Werkers/Werkerin bei der Montage

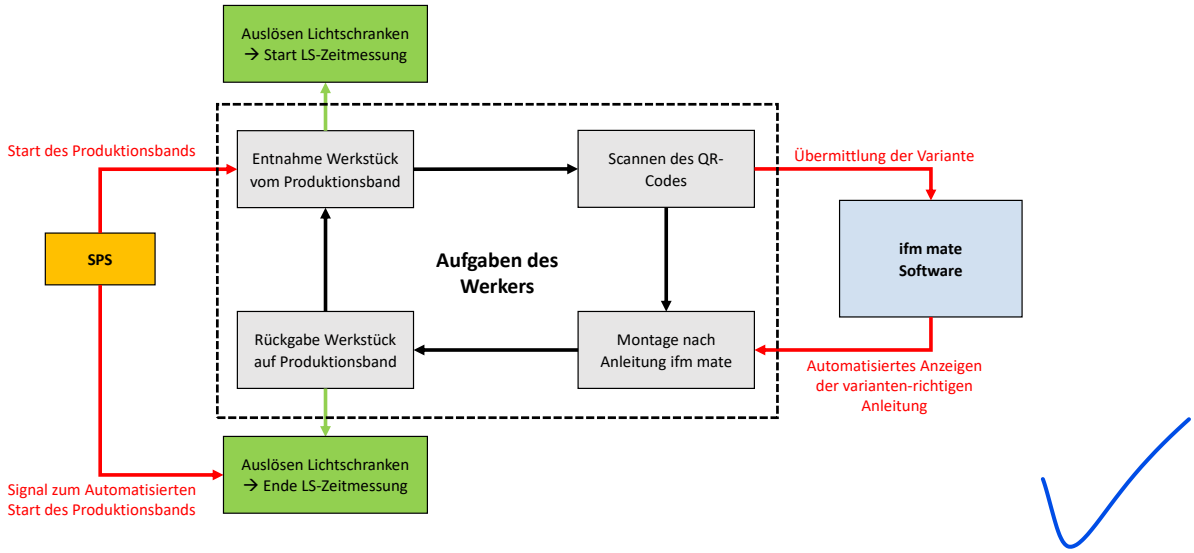


Abbildung 3.5.: Konzept Weiterentwicklung ifm mate: Arbeitsablauf von Werker und Software im Hintergrund

eines Werkstücks sowie die im Hintergrund laufende Software dar. Die physisch ausgeführten Arbeitsschritte sind in grau dargestellt und zur Verdeutlichung eingerahmt. In grün sind die Abhängigkeiten der verwendeten Lichtschranken abgebildet. Die roten Pfeile verdeutlichen die Übergabe und Weiterverarbeitung der Signale von und zu den Kompontenen ifm mate Software und SPS. Die Abbildung ist eine stark vereinfachte Skizze der eigentlichen Beziehungen der einzelnen Komponenten untereinander. Anhand dieses Flussdiagramm lässt sich erkennen, dass der/die Werker/-in weder die Varianten noch das Produktionsband manuell steuern muss. Im Hintergrund werden die Informationen bezüglich der Variante und der SPS Steuerung automatisiert weitergegeben.

4. Vorgehen

Eines der drei vorgestellten Konzepte in Kapitel 3 soll in der kommenden sechsten Theoriephase im Sommer 2024 umgesetzt werden. Die genaue Umsetzung wird eine weitere Studienarbeit beschreiben. Die nachhaltigste und kostengünstigste Lösung wäre das Konzept „Weiterentwicklung von ifm mate“. Bei diesem Vorgehen muss kein neuer Sensor angeschafft werden, da über die jetzt schon verbaute 2D/3D Kamera sowie die damit verbunden Software Zeitmessungen und Variantenerkennung lediglich mithilfe einer Softwareänderung vollzogen werden könnte. Nach einer Rücksprache mit ifm ist dieses Konzept in dieser Art leider nicht umsetzbar, da kein Zugriff auf die Software des ifm mates vorhanden ist und so keinerlei Abänderungen des Systems erfolgen kann. Aus diesem Grund muss auf eines der beiden anderen, vorgestellten Konzepte zurückgegriffen werden.

Im direkten Vergleich der beiden anderen Konzepte fällt auf, dass das Konzept der Wägezelle hinsichtlich der Variantenerkennung viel besser geeignet ist, da mithilfe eines optischen Sensors, lediglich Helligkeitsstufen voneinander unterschieden werden und so die Varianten nicht bestimmt werden können. Ein tiefgreifender Nachteil der Wägezelle ist die hohe Sensibilität für Erschütterungen (3.4.2). Leichte Erschütterungen sind am Handarbeitsplatz unvermeidbar, da durch kleinste Berührungen des Produktionsbandes, das Konstrukt leichten Bewegungen ausgesetzt ist, was die Kalibrierung dieser Wägezelle erschwert. Andere Teams des PTZ sehen an jeder Station des Produktionsbandes einen QR-Code Scanner vor, so auch am Handarbeitsplatz. Auch für die Zeitmessung ist dieser QR-Code Scanner von entscheidender Bedeutung. So kann das Konzept des optischen Sensors verwendet werden um einzelne Prozessschritte voneinander zu unterscheiden. Die Variantenerkennung erfolgt separat über Scannen des QR-Code auf dem Werkstück.

Als optischer Sensor kommen einige Modelle in Frage. Durch die Unteretützung des PTZ mit Sensorik und zugehörigen Systemen besteht der nächste Schritt in der Kontaktaufnahme mit der ifm electronic gmbh bezüglich der Beschaffung eines Sensors. Der Einbau eines Sensors von ifm wäre am Handarbeitsplatz des PTZ deutlich vereinfacht durch die Kompatibilität mit dem bereits verbauten und angeschlossenen ifm IO Link. Die Alternative zu einem Sensor von ifm besteht in der Beschaffung eines anderen Helligkeitssensors. Der Außenhelligkeitsfühler „PHOTASGARD AHKF-I Q“ (Artikelnummer: 200G-6371-2100-001) stellt dabei eine sehr gute Möglichkeit dar. Dieser Sensor kann in fünf verschiedenen Messwertbereichen die Helligkeit bestimmen und ausgeben. Das ermöglicht eine sehr genaue Einstellung des benötigten Bereichs für den Handarbeitsplatz. Durch die Änderung der Helligkeit durch das Plazieren des Werkstückträgers auf dem Sensor kann eine Messung der einzelnen Prozessschritte sehr genau durchgeführt werden.

In der nächsten Theoriephase werden demnach zuerst die jetzt schon verbauten, aber noch nicht funktionstüchtigen Lichtschranken in Betrieb genommen. Anschließend soll der optische Sensor verbaut werden. Beide Sensoren werden an die SPS, entweder direkt oder über den vorgeschalteten IO Link, angeschlossen. Die Variantenerkennung wird mithilfe des QR-Code Scanners ebenfalls in die SPS eingebettet.

5. Zusammenfassung

Braucht das? Lieber Fazit

Das Ziel dieser Studienarbeit ist die Ausarbeitung eines Konzepts für die Zeitmessung der Arbeiten am Handarbeitsplatz des PTZ. Dazu soll zunächst ein Konzept zur Inbetriebnahme der bereits vorhandenen Sensorik und ggf. eine Erweiterung der Sensorik am Handarbeitsplatz ausgearbeitet werden.

Um die Ziele erreichen zu können sind in Kapitel 2 die Grundlagen dargestellt. Dies beinhaltet eine kurze Vorstellung des PTZ, der vorhandenen Sensorik sowie der Methoden der Zeitmessung. Neben der Beschreibung der bereits vorhandenen Sensorik sind dabei Auswahlkriterien für einen weiteren Sensor definiert, mit dem die einzelnen Prozessschritte am Handarbeitsplatz aufgenommen werden können.
In Kapitel 3 sind die ausgearbeiteten Konzepte dargestellt. Im ersten Teil des Kapitels (3.1) ist die Funktionsweise sowie die Vor- und Nachteile der Benutzung der möglichen Sensoren dargestellt. In Kapitel 3.1.5 wurde auf Basis einer gewichteten Entscheidungsmatrix eine Auswahl des Sensors getroffen. Zusätzlich dazu sind in Kapitel 3.2 die Soll-Zeiten für die einzelnen Prozessschritte der verschiedenen Bauteilvarianten am Handarbeitsplatz definiert. Aufgrund der geringen Unterschiede des Helligkeitssensors und der Wägezelle und den unterschiedlichen Vor- und Nachteilen für eine Benutzung im Rahmen dieser Studienarbeit sind sowohl für den Helligkeitssensor als auch die Wägezelle ein Konzept ausgearbeitet.

Aufgrund des geplanten Einbaus eines QR-Code Scanners am Handarbeitsplatz wird das Konzept des optischen Sensors gewählt, da dieser in der Handhabung bzw. während der Montage eines Werkstücks weniger fehleranfällig ist als die Wägezelle. Das Konzept „Weiterentwicklung von ifm mate“ (3.5) kann leider in der beschriebenen Art und Weise nicht umgesetzt werden, da der Zugriff auf die ifm mate Software sei-

tens ifm noch gesperrt ist. Nach Rücksprache mit ifm soll diese Problem im Laufe des Jahres 2024 behoben werden und so ein Zugriff auf die Software möglich gemacht werden.

Die erarbeiteten Konzepte zur Erfassung der Einzelprozesszeiten sowie der Gesamtprozesszeit bieten die Möglichkeit zukünftig Verschwendungen im Produktionsprozess schneller zu erkennen und somit beheben zu können. Um diese Verschwendungen zu erkennen, werden die gemessenen Zeiten der Arbeitsschritte mit den definierten Soll-Zeiten für jeden Schritt am Handarbeitsplatz verglichen. Dadurch können Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Zeiten am Handarbeitsplatz sehr schnell erkannt und die Ursachen beseitigt werden.

Mithilfe dieser Studienarbeit wird die Grundlage der folgenden Umsetzung gelegt. Die Umsetzung des hier erarbeiteten Konzeptes erfolgt im Sommer 2024 im Rahmen der sechsten Theoriephase und wird erneut in einer Studienarbeit durchgeführt und dokumentiert.

Literaturverzeichnis

[Ama24] Amazon Web Services, Inc. *Was ist Computer Vision? – Bilderkennung KI/ML erklärt – AWS*. 5.01.2024. URL: https://aws.amazon.com/de/what-is/computer-vision/ (besucht am 11. 01. 2024).

[Ang24] Angst+Pfister Sensors and Power Deutschland GmbH. *Theorie Kraftzellen: Angst+Pfister Sensors and Power*. 11.01.2024. URL: https://sensorsandpower.angst-pfister.com/de/produkte/drucksensoren-kraftsensoren/theorie-kraftzellen/ (besucht am 11. 01. 2024).

[Bad23] Duale Hochschule Baden-Württemberg. *Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung*. Hrsg. von Duale Hochschule Baden-Württemberg. 2023. URL: https://www.ravensburg.dhbw.de/forschung-transfer/kompetenzzentren/zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklung#zukunftsfabrik-bodensee (besucht am 11. 01. 2024).

[Bau24] Baumer GmbH. *Funktionsweise von Kraftsensoren | Baumer Deutschland*. 11.01.2024. URL: https://www.baumer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-von-kraftsensoren/a/Know-how_function_force_sensor (besucht am 11. 01. 2024).

[BBS24] BBS. *Sensorik: Aufbau und Funktion von optischen Sensoren*. 11.01.2024. URL: https://www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=101 (besucht am 11. 01. 2024).

[Bei16] Andreas Beisswenger. *Anatomie strategischer Entscheidungen: Komplexität im Unternehmen verstehen, analysieren und meistern*. 1. Aufl. 2016. SpringerLink Bücher. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016. ISBN: 9783658124359. DOI: 10.1007/978-3-658-12435-9.

[Ber14] Bernd Britzke. *MTM in einer globalisierten Wirtschaft*. 2014. ISBN: ISBN 978-3-86416-129-2. URL: https://www.lehmanns.de/shop/wirtschaft/30130032-9783864161292-mtm-in-einer-globalisierten-wirtschaft.

[BOS22] BOSCHE GmbH. *Wie funktioniert eine Wägezelle? Erklärung: Aufbau & Funktion*. 8.11.2022. URL: https://www.bosche.eu/waagen/funktion-waegezelle.html (besucht am 11. 01. 2024).

[Bun24] Bundesministerium des Inneren und für Heimat. *Organisationshandbuch - 2.4.3.11.4 Zeitaufnahme*. 11.01.2024. URL: https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/OrganisationshandbuchNEU/2_Organisationsmanagement/2_4_Ressourcen/2_4_3_Leitfaden/2_4_3_11_Methoden%20der%20PBE/2_4_3_11_4_Zeitaufnahme/Zeitaufnahme-node.html (besucht am 11. 01. 2024).

[Con23] ALTHEN BV Sensors Controls. *Vibrationssensoren*. Hrsg. von ALTHEN BV Sensors Controls. 2023. URL: https://www.althensensors.com/de/sensoren/vibrationssensoren/ (besucht am 11. 01. 2024).

[End23] Marvin Endriss. „Zukunftsfabrik: Weiterentwicklung des Handarbeitsplatzes“. In: (2023).

[evo22] evoVIU Smart Camera. *Energieverbrauch der Smart Camera evoVIU als Embedded Kamera-System | evoVIU*. 2022. URL: https://www.evoviu.de/energieverbrauch-smart-camera/ (besucht am 11. 01. 2024).

[GG06] Hans-Jürgen Gevatter und Ulrich Grünhaupt, Hrsg. *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik im Automobil: Fahrzeugelektronik, Fahrzeugmechatronik*. 2., vollständig bearbeitete Auflage. SpringerLink Bücher. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. ISBN: 9783540299806. DOI: 10.1007/3-540-29980-7.

[Gmb23a] PCB Synotech GmbH. *Konstruktionsprinzipien von Vibrationssensoren*. Hrsg. von PCB Synotech GmbH. 2023. URL: https://www.pcbpiezotronics.de/produkte_skript/downloads/tn/SYN_TN053%20Konstruktionsprinzipien%20von%20Vibrationssensoren_TechNote_DEU_1007.pdf (besucht am 11. 01. 2024).

[Gmb23b] RS Components GmbH. *Vibrationssensoren*. Hrsg. von RS Components GmbH. 2023. URL: https://de.rs-online.com/web/c/automation/sensoren/vibrationssensoren/ (besucht am 11. 01. 2024).

[HBM21] HBM. *Wie funktioniert ein piezoelektrischer Kraftaufnehmer*. 2021. URL: https://www.hbm.com/de/7318/wie-funktioniert-eigentlich-ein-piezo-kraftaufnehmer/ (besucht am 11. 01. 2024).

[ifm24a] ifm. *Arbeitsabläufe individuell einrichten*. 11.01.2024. URL: https://www.ifm.com/de/de/shared/produkte/ifm-mate/produkt?_gl=1*izei54*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPMKjZ6-8TEObF_Wc75Rn5Lo3tWf0zMTwKmlZEZrc43zY8N1jS_QprhoCz9IQAvD_BwE (besucht am 11. 01. 2024).

[ifm24b] ifm. *Das Werkerassistenzsystem für manuelle Tätigkeiten*. 11.01.2024. URL: https://www.ifm.com/de/de/shared/produkte/ifm-mate/start?_gl=1*1wmoxyx*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPMKjZ6-8TEObF_Wc75Rn5Lo3tWf0zMTwKmlZEZrc43zY8N1jS_QprhoCz9IQAvD_BwE (besucht am 11. 01. 2024).

[ifm24c] ifm. *ifm mate: Die Vorteile*. 11.01.2024. URL: https://www.ifm.com/de/de/shared/produkte/ifm-mate/vorteile?_gl=1*1a99btt*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPMKjZ6-8TEObF_Wc75Rn5Lo3tWf0zMTwKmlZEZrc43zY8N1jS_QprhoCz9IQAvD_BwE (besucht am 11. 01. 2024).

[Löf12] Martin Löffler-Mang. *Optische Sensorik: Lasertechnik, Experimente, Light Barriers*. SpringerLink Bücher. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012. ISBN: 9783834883087. DOI: 10.1007/978-3-8348-8308-7.

[MTS24] MTS Messtechnik Schaffhausen GmbH. *Sensoren | Kraftsensoren | Kraftaufnehmer | Kraftmessdosen | Lastmessdosen | Load Cells | DMS-Technologie | burster*. 11.01.2024. URL: https://www.mts.ch/produkte-messtechnik-schaffhausen-gmbh/kraftsensoren/kraftsensoren.html/60 (besucht am 11. 01. 2024).

[Pat21] Mark Patrick. „Piezoelektrisch oder kapazitiv – Vibrationssensoren in der Industrie“. In: *all-electronics.de* (15.10.2021). URL: https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/piezoelektrisch-oder-ka

pazitiv-vibrationssensoren-in-der-industrie-514.html (besucht am 11. 01. 2024).

[REF24a] REFA international. *REFA-Zeitaufnahme: Transparenz schaffen | REFA International*. 11.01.2024. URL: https://refa-international.com/refa-consulting/refa-zeitaufnahme (besucht am 11. 01. 2024).

[REF24b] REFA international. *REFA-Zeitstudie Definition | REFA International*. 11.01.2024. URL: https://refa-international.com/lexikon/r/refa-zeitstudie (besucht am 11. 01. 2024).

[REF24c] REFA.de. *Was ist REFA?* 11.01.2024. URL: https://refa.de/service/refa-lexikon/was-ist-refa (besucht am 11. 01. 2024).

[Sen24] Dietz Sensortechnik. *Optische Sensoren - Dietz Sensortechnik*. 11.01.2024. URL: https://www.dietz-sensortechnik.de/produkte/optische-sensoren.html (besucht am 11. 01. 2024).

[Süß14] Herbert Süße. *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. SpringerLink Bücher. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 9783834826060. DOI: 10.1007/978-3-8348-2606-0. URL: http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-8348-2606-0.

[Syn24] Synotech. „Vorteile piezoelektrischer Kraftsensoren gegenüber DMS-Kraftsensoren (PCB_AN08)“. In: (2024). URL: https://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/PCB/Technotes/de/AN-008-Vorteile-piezoelektrischer-gegenueber-DMS-Kraftsensoren-DEU-1012-nbn.pdf (besucht am 11. 01. 2024).

[TR18] Hans-Rolf Tränkler und Leonhard M. Reindl, Hrsg. *Sensortechnik: Handbuch für Praxis und Wissenschaft*. 2., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin und Heidelberg: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 9783642299421. URL: https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=1967841.

[Wut23] Vinzent Wuttke. *Bilderkennung: Definition, Funktionsweise und Anwendungsbereiche*. Hrsg. von datasolut GmbH - Mehr Wert mit KI. 2023. URL: https://datasolut.com/bilderkennung/#DefinitionBilderkennung (besucht am 11. 01. 2024).

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
I	Strom
ifm mate	ifm Manual Assembly Training Engineer
MTM	Methods-Time Measuremen
P	Leistung
PTZ	Produktionstechnisches Zentrum
QR-Code	Quick Response Code
REFA	Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung
RFID	radio-frequency identification
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
U	Spannung
WAS	Werkerassistenzsystem

Abbildungsverzeichnis

2.1. Zentrum für Digitalisierung [Bad23] 3
2.2. Handarbeitsplatz des PTZs 4
2.3. Verbaute Lichtschranken am Handarbeitsplatz 6
2.4. Konstruktioneller Aufbau des ifm mate [ifm24a] 7
2.5. Bildschirm des ifm mate am Handarbeitsplatz 8

3.1. Konzept für die Inbetriebnahme der Lichtschranken 32
3.2. Verbindung der Lichtschranken und der SPS über einen IO Link 33
3.3. Skizze Konzept optischer Sensor 34
3.4. Skizze Konzept Wägezelle 36
3.5. Konzept Weiterentwicklung ifm mate: Arbeitsablauf von Werker und Software im Hintergrund 39

Tabellenverzeichnis

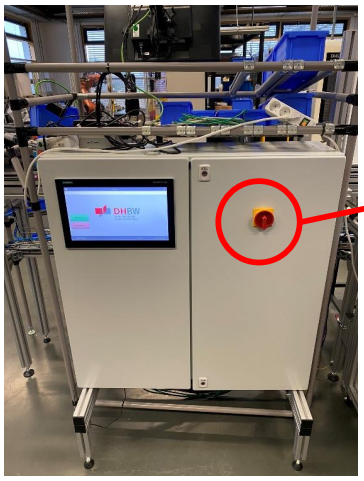
2.1. Vergleichskriterien für die Auswahl eines geeigneten Sensors 10

3.1. Gewichtete Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines geeigneten Sensors für die Ermittlung der Prozessschrittzeiten 24
3.2. Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 1 26
3.3. Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 2 27
3.4. Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 3 28
3.5. Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 4 29
3.6. Prozessschritte mit Beschreibung und Soll-Zeit der Variante 5 30

A. Anhang - Bedienungsanleitung Werkerassistenzsystem

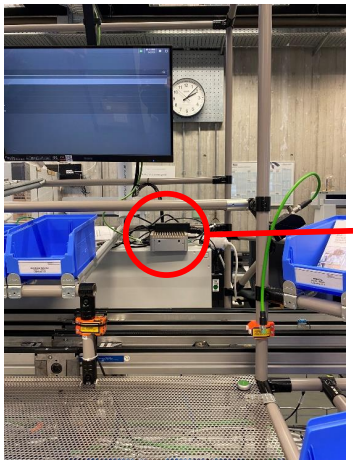
Betriebsanleitung Werkerassistenzsystem (WAS)

Schritt 1 – Strom einschalten (nur bei inaktiver Stromzufuhr)
An Sicherungskasten auf gegenüberliegender Seite des Förderbands roten Schalter nach rechts drehen, sodass im Schalter oben das Wort *on* zu sehen ist





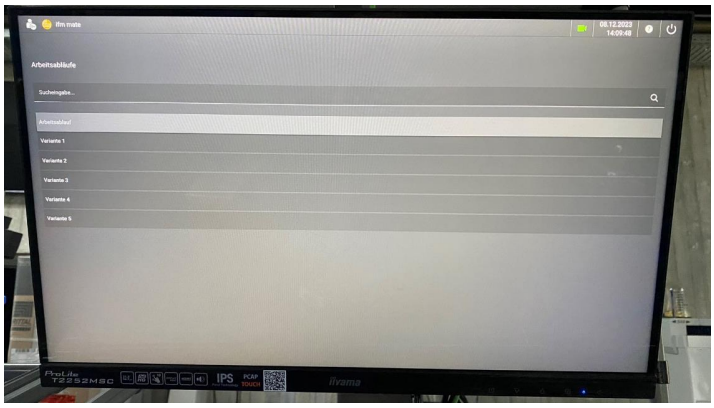
Schritt 2 – Anschalten des WAS
Auf dem Sicherungskasten befindet sich eine graue Box.
Leuchtet das Lämpchen? – Schritt überspringen
Leuchtet das Lämpchen nicht? – An/Aus Knopf drücken





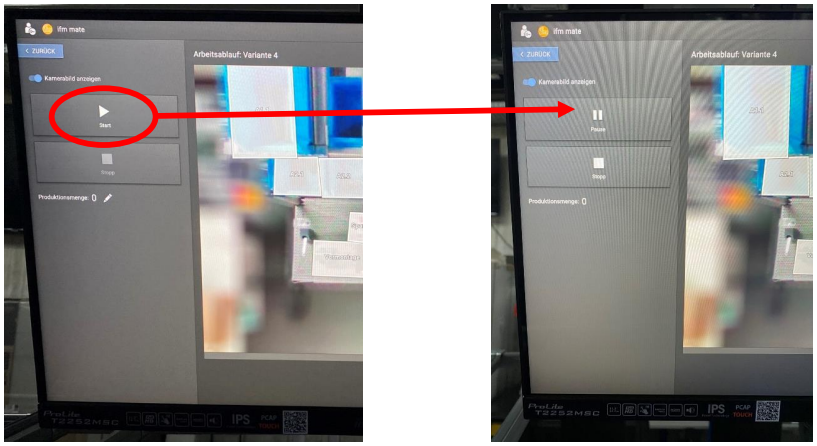
Schritt 3 – Bildschrim anschalten
Falls Bildschirm nicht an sein sollte, unten rechts bei ⏻ - Knopf unterseite berühren (kein Knopf)

Schritt 4 – Auswahl der Varianten
Auf dem Bildschrim kann nun die gewünschte Variante ausgewählt werden. Dazu einfach die Variante mit dem Finger auswählen



Schritt 5 – Start des Arbeitsprozess
Auf dem Bildschirm ist nun der komplette Handarbeitsplatz zu erkennen. In grau hinterlegt sind zum einen der Ein- und Ausgabe Platz, Regalkisten mit Materialien und auf der Arbeitsfläche verschiedene Werkzeuge.

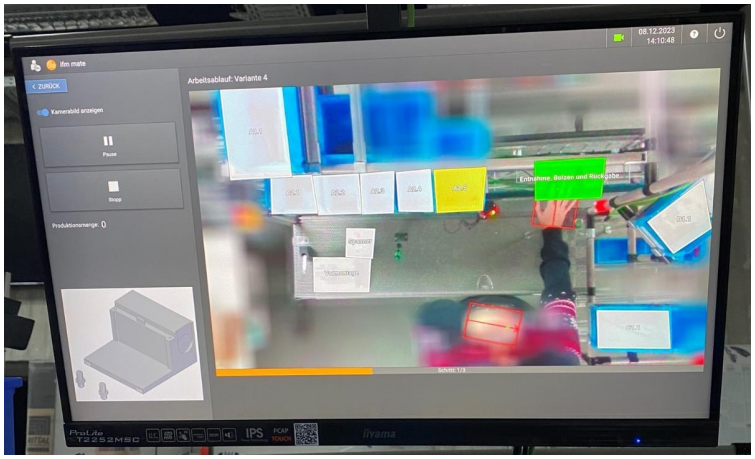
Zum Starten des Arbeitsprozesses: Start auf linker Seite drücken



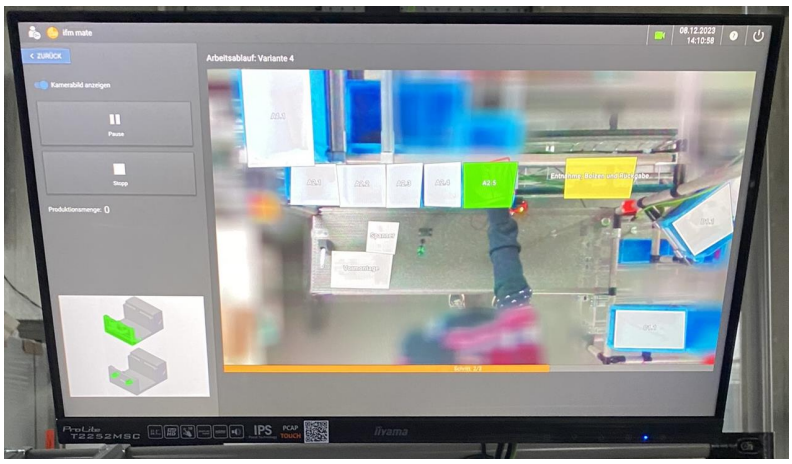
Schritt 6 – Anweisungen des WAS befolgen
Die Hand des Werkers wird erkannt und mit einem roten Rechteck dauerhaft markiert. Der erste/nächste Schritt wird gelb hinterlegt.



Zum Ausführen des Arbeitsschritts Hand Richtung gelber Fläche bewegen.
Beispiel im Bild (Variante 4): Werkstück vom Band nehmen.
Sobald der Arbeitsschritt beendet ist, leitet das WAS automatisch den nächsten Schritt ein – der vorherige, gelb markierte Bereich wird grün.



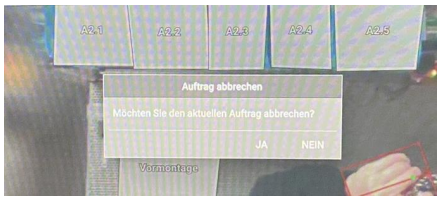
Unten links sieht man den aktuellen Stand des Werkstücks. Der nächste Schritt ist wieder in gelb markiert.



Nach dem die Teile aus dem Regalfach entnommen wurden, müssen diese nun, wie unten links beschrieben, zusammengebaut werden. So werden nun alle weiteren Anweisungen des WAS befolgt.

Schritt 7 – Wahl einer neuen Variante
Hat man beispielsweise eine falsche Variante ausgewählt oder auf dem Produktionsband wird nach Variante 1 eine Variante 2 kommen, so kann man zur Variantenauswahl zurückkehren.

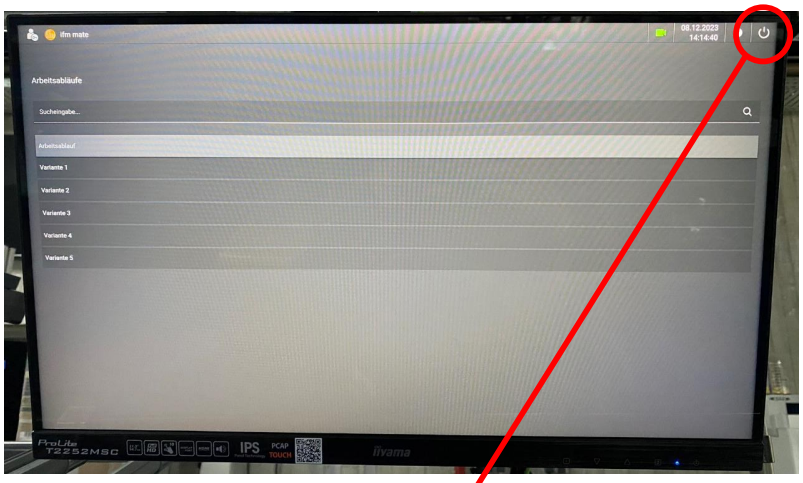
Hierfür oben links den < *zurück* Button drücken. In der Mitte erscheint nun eine Abfrage: „Möchten Sie den aktuellen Auftrag abbrechen?“. Um zur Variantenauswahl zurückzukehren *Ja* drücken.

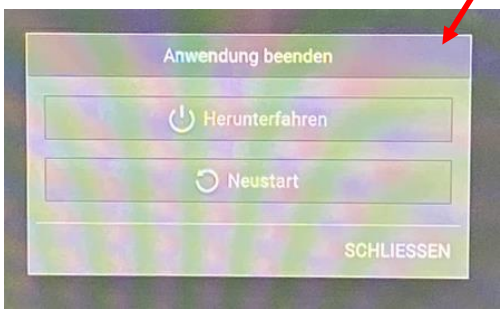


Nun kann eine neue Variante ausgewählt werden.

Schritt 8 – Ausschalten/Neustart des WAS

Um das WAS auszuschalten, auf dem Bildschrim ⏻ - Knopf oben rechts drücken. Eine Abfrage erscheint. Je nach Wunsch, WAS herunterfahren oder neu starten.





Falls danach auch das Förderband nicht mehr in Betrieb genommen wird, bitte die Stromzufuhr ausschalten. Hierfür den roten Knopf an dem Schaltschrank nach links auf *Off* drehen (siehe Schritt 1 für Position Knopf)