

Bachelorarbeit

Low Cost iIoT Assistenzsystem zur Mitarbeiterunterstützung und Mensch-Maschine Interaktion

Autoren

Michael Huber

und

Alexander Maier

Referent

Prof. Dr. Matthias Scholer

Korreferent

Prof. Dr. Frieder Loch

EMS Institut für Entwicklung Mechatronischer Systeme

Abgabedatum

25.08.2023

Zusammenfassung

Es wurde ein Mitarbeiterassistenzsystem entwickelt, das Unterstützung bei der Handmontage eines Produktes bietet. Das System ist als kostengünstiger Stand-Alone Arbeitstisch realisiert, das auch Retrofit tauglich ist. Zur Unterstützung der Arbeitskraft sind nach Schwierigkeitsgrad unterteilte selbsterklärende Montagepläne, die im Benutzerinterface visualisiert sind, für den Zusammenbau des Produkts vorhanden. Damit bietet der Arbeitstisch durch seine einfache und intuitive Bedienung ein unkompliziertes Anlernen von ungeübten Montagemitarbeitern. Für erfahrene Mitarbeiter bietet das Assistenzsystem den Vorteil, dass im Falle von häufig ändernden Montageanleitungen und Produktvarianten der Überblick bewahrt wird. Zur Unterstützung der Arbeitskraft ist eine Kameraprüfung integriert, die bei der Produktmontage die korrekte Durchführung der Arbeitsschritte überprüft. Dadurch entstehen bei komplexeren Montagen weniger Fehler und die Qualitätssicherung wird erhöht.

Die Umsetzung des Systems umfasst drei Teilbereiche: die mechanische Konstruktion, die elektrische Auslegung und die Programmierung der Steuerungstechnik und der Arbeitsvisualisierung. Um der Anforderung an geringe Kosten gerecht zu werden, wurde ausschliesslich des RFID-Schreib-/Lesegerätes und der Kamera, Low-Cost Produkte verwendet. Das Herzstück des Systems bildet ein Raspberry Pi 4b der als Soft-SPS fungiert. Dieser verwendet das CODESYS Laufzeitsystem, mit dem die Steuerung der Sensorik und Aktorik programmiert wurde. Als Kommunikationsprotokoll wird PROFINET verwendet. Die Sensorik besteht aus Reflexionslichtschranken, einem Taster, einer Kamera mit Merkmalerkennungssoftware und einem RFID-Schreib-/Lesekopf. Als Aktorik werden Leuchtstreifen angesteuert, die unter den Warenbehältern angebracht sind und so die korrekte Entnahme signalisieren. Die Einbindung der Sensorik ins System wurde mit einem PROFINET Buskoppler realisiert. Die Ansteuerung der Kamera, sowie des RFID-Sensors geschieht über PROFINET. Zur Visualisierung der Montageanleitungen wurde ein Touchscreen verwendet. Die Darstellung der Dashboards wurde in Node-RED programmiert. Mit iterativem Vorgehen wurde das System fortlaufend mechanisch sowie softwaretechnisch angepasst und verbessert.

Das erstellte Assistenzsystem wurde einer Nutzerstudie unterzogen. Dabei wurde der Nutzergruppe die Verwendung des Arbeitsplans zur Montage des OST-Gadgets vorgeschrieben und anschliessend Fragen zu unterschiedlichen Aspekten, wie Gestaltung der Visualisierung, oder Benutzerfreundlichkeit des Systems gestellt. Das Feedback der Teilnehmer war überwiegend positiv und das Mitarbeiterassistenzsystem erfreute sich über eine hohe Benutzerakzeptanz.

Das Ergebnis ist ein funktionsfähiges IoT-System, das durch die Kombination von Kameraprüfung, Raspberry Pi und Pick-by-Light System mit intuitiver Benutzeroberfläche einzigartig ist und die gestellten Anforderungen in einem erfüllt. Ein weiterer Nutzen des Arbeitstisches bietet die einfache und schnelle Möglichkeit neue Arbeitspläne für andere Produkte zu realisieren. Schlussendlich zeigt ein Vergleich mit Systemen gleicher Art, dass durch den Einsatz von Low-Cost Betriebsmitteln eine Kostenreduktion um den Faktor vier erreicht wurde, was das System vor allem für industrielle Anwendungen interessant macht.

Abstract

An employee assistance system was developed that offers support during the manual assembly of a product. The system is realised as a cost-effective stand-alone workbench that is also suitable for retrofitting. To support the worker, self-explanatory assembly plans, which are visualised in the user interface, are available for the assembly of the product, subdivided according to the degree of difficulty. With its simple and intuitive operation, the workbench thus offers uncomplicated training for inexperienced assembly workers. For experienced workers, the assistance system offers the advantage of maintaining an overview in the event of frequently changing assembly instructions and product variants. To support the worker, a camera check is integrated, which checks the correct execution of the work steps during product assembly. As a result, fewer errors occur during more complex assemblies and quality assurance is increased.

The implementation of the system comprises three sub-areas: the mechanical design, the electrical design and the programming of the control technology and the work visualisation. To meet the requirement for low costs, only low-cost products were used, excluding the RFID reader/writer and the camera. The heart of the system is a Raspberry Pi 4b that functions as a soft PLC. This uses the CODESYS runtime system, with which the control of the sensors and actuators was programmed. PROFINET is used as the communication protocol. The sensors consist of retro-reflective sensors, a push button, a camera with feature recognition software and an RFID read/write head. As actuators, light strips are controlled that are mounted under the goods containers and thus signal the correct removal. The integration of the sensors into the system was realised with a PROFINET bus coupler. The camera and the RFID sensor are controlled via PROFINET.

A touch monitor was used to visualise the assembly instructions. The display of the dashboards was programmed in Node-RED. With an iterative approach, the system was continuously adapted and improved both mechanically and in terms of software.

The created assistance system was subjected to a user study. In the process, the user group was prescribed the use of the work plan for assembling the OST gadget and then asked questions about various aspects, such as the design of the visualisation or the user-friendliness of the system. The feedback from the participants was predominantly positive and the employee assistance system enjoyed a high level of user acceptance.

The result is a functional IIoT system that is unique due to the combination of camera inspection, Raspberry Pi and pick-by-light system with intuitive user interface and fulfils the set requirements in one.

Another benefit of the workbench is the simple and quick possibility to implement new work plans for other products. Finally, a comparison with systems of the same type shows that a cost reduction by a factor of four was achieved by using low-cost resources, which makes the system particularly interesting for industrial applications.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Stand der Wissenschaft/Technik.....	2
2.1 Industrie 4.0 und die Rolle des Menschen	2
2.2 Arten von Mitarbeiterassistenzsystemen	2
2.3 Mitarbeiterassistenzsysteme in der Produktion.....	3
2.4 Relevanz von Mitarbeiterassistenzsystemen	3
2.5 Vergleichbare Systeme auf dem Markt	4
3 Anforderungen	6
3.1 Interaktion mit Hybrider Lernfabrik und Stand-Alone-Lösung.....	6
3.2 Kameraprüfung	7
3.3 Montageanleitungen	7
3.4 Erweiterbarkeit.....	7
3.5 Kostengünstiges System	7
3.6 Bedienerfreundlichkeit	8
4 Vorgehensweise	8
4.1 Produktanalyse	9
4.2 Prozess	10
4.3 Betriebsmittel	11
5 Umsetzung	14
5.1 Mechanischer Aufbau.....	15
5.2 Elektronischer Aufbau.....	16
5.3 Eingesetzte Betriebsmittel	18
5.4 3D-Druckteile.....	22
5.5 Flow-Chart	24
5.6 Stückliste.....	27
5.7 Software.....	27
5.8 CODESYS	27
5.9 Node-RED Dashboard.....	33
5.10 Qualitätskontrolle mit «VeriSens»	37

6	Nutzerstudie und Anpassungen	38
6.1	Erkenntnisse aus der Nutzerstudie	39
6.2	Anpassungen aus Nutzerstudie	39
7	Schlussfolgerung und Ausblick.....	41
8	Zeitplan und Erfahrungen	41
	Eidesstattliche Erklärung.....	44
	Quellenverzeichnis.....	45
	Anhangsverzeichnis	47
	Abbildungsverzeichnis	47
	Abkürzungsverzeichnis	48
	Glossar	48
Anhang A	Arbeitsanweisung zum OST-Gadget	49
Anhang B	Schema.....	51
Anhang C	Stückliste.....	56
Anhang D	Nutzerstudie.....	57

1 Einleitung und Problemstellung

In einer sich ständig ändernden Welt streben Unternehmen danach, Menschen und ihre Arbeitsumgebung effizienter zu gestalten. Ein Konzept davon sind Mitarbeiterassistenzsysteme, welche Arbeitsabläufe optimieren, die Fehleranzahl minimieren und die Arbeitssicherheit erhöhen. Diese Systeme sind in der aufkommenden Industrie 4.0 unverzichtbar, da sie die industrielle Produktion mit moderner Informations- und Kommunikationstechnologie verbinden. Intelligente und digital vernetzte Systeme bilden die Grundlage für diese Entwicklung. Durch die Verbindung von physischen und digitalen Komponenten schaffen diese Systeme eine nahtlose Integration von Mensch mit Maschine.

Ein Beispiel einer modernen Produktion besitzt die OST – Ostschweizer Fachhochschule in Buchs mit der Hybriden Lernfabrik. In dieser Bachelorarbeit werden Alexander Maier und Michael Huber aufzeigen, wie sie einen smarten Handarbeitsplatz entwickelt haben, der in die besagte Lernfabrik eingegliedert werden kann und als Demonstrations-Beispiel wirkt. Dort soll mittels Mensch-Maschine-Interaktion das aktuelle Produkt «OST-Gadget» möglichst effizient montiert werden können. Das Assistenzsystem soll die Arbeitskraft durch den Montageprozess führen und gleichzeitig die Prüfung jedes Montageschritts durchführen. Es wurde das Ziel gesetzt, dass der Handarbeitsplatz für die Montage von individuellen Produkten konzipiert wird und somit leicht erweiterbar sein soll. Solche Montageplätze mit umfangreichen Funktionen könnten in einem hochpreisigen Gesamtpaket bestellt werden. Bei dieser Arbeit möchte jedoch ein leicht zu implementierendes System entwickelt werden, das kostengünstige Komponenten verwendet und Retrofit tauglich ist.

Um ein Mitarbeiterassistenzsystem eigenständig herstellen zu können musste zuerst Wissen über die digitale Produktion, Mitarbeiterassistenzsysteme und der benötigten Betriebsmittel einer solchen Anlage erarbeitet werden. Dazu wurde vor allem online nach Literatur gesucht, Einblick in Fachbücher genommen, aber auch Prof. Dr. Scholer befragt.

Im kommenden Abschnitt «Stand der Wissenschaft» wird betrachtet, was Mitarbeiterassistenzsysteme sind und wie die Industrie 4.0 aussehen wird. Anschliessend wird im Abschnitt «Anforderungen» näher auf die spezifischen Anforderungen eingegangen, die an das zu entwickelnde Assistenzsystem gestellt werden. Was genau am Handarbeitsplatz gefertigt werden soll und wie der Workflow für die Montage aussieht ist im Abschnitt «Vorgehensweise» thematisiert. Die benötigten Bauteile und Materialien zur Realisierung des Arbeitsplatzes werden unter «Umsetzung» aufgezeigt. Nach dem Zusammenbau des Arbeitstisches und der Montage der elektrischen Komponenten wurde die Unterstützung programmiert. Um die Wirksamkeit und Benutzerfreundlichkeit des erstellten Mitarbeiterassistenzsystem zu bewerten wurde anschliessend eine Nutzerstudie durchgeführt. Zuletzt wird ein Fazit zu den Ergebnissen der erstellten Arbeit gezogen und ein Ausblick auf mögliche Erweiterungen gestellt.

Auftraggeber dieser Arbeit ist das EMS Institut für Entwicklung Mechatronischer Systeme an der OST – Ostschweizer Fachhochschule. Dieses Mitarbeiterassistenzsystem soll als Grundlage für eine mögliche weiterführende Bachelorarbeit dienen.

2 Stand der Wissenschaft/Technik

Zunächst wird der Begriff Industrie 4.0 erklärt, da Mitarbeiterassistenzsysteme ein grundlegender Bestandteil davon sind. Anschliessend werden verschiedene Varianten von Mitarbeiterassistenzsystemen vorgestellt, um zu verdeutlichen, wie sie bereits heute Menschen bei der Arbeitstätigkeit unterstützen. Danach wird die Relevanz und die Aufgaben von Mitarbeiterassistenzsystemen in der Produktion erläutert. Zum Abschluss dieses Kapitels erfolgt eine Analyse von zwei am Markt verfügbaren Mitarbeiterassistenzsystemen.

2.1 Industrie 4.0 und die Rolle des Menschen

Die Kommunikation zwischen Menschen verändert sich aufgrund der Digitalisierung fortlaufend. Aus einem Gespräch von Angesicht zu Angesicht wird heute eine WhatsApp-Nachricht. Wir sind weltweit über verschiedene Netzwerke verbunden und können von überall darauf zugreifen. Diese Digitalisierung findet auch in der Industrie statt. Aus dem Fachbuch «Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik» konnten folgende Schlüsse gezogen werden. Nach (Bauernhansl et al. 2014) verändert die Industrie 4.0 die Art wie Menschen und Maschinen miteinander interagieren. Eine Anlage kann sich künftig selbstständig überwachen und nur bei Abweichungen den Menschen informieren. Gleichzeitig können Maschinen untereinander kommunizieren und es entstehen so selbstständige Systeme. In solchen vernetzten Systemen sind Maschinen, Menschen und Prozesse miteinander verbunden und alle relevanten Informationen sind in Echtzeit verfügbar. So wird aus statischen Industriestrukturen eine dynamische, flexible und dezentrale Organisation. Vorteile einer digitalisierten Industrie sind eine erhöhte Produktivität, verkürzte Durchlaufzeiten und eine besser steuerbare Produktion. Mit intelligenten Maschinen kann eine voll vernetzte Instandhaltung und Wartung realisiert werden, sodass die Ausfallszeit einer Anlage enorm gesenkt werden kann.

Die Industrie 4.0 bringt mit ihren Schlagworten wie Internet der Dinge, Big Data, Cloud-Lösungen und intelligente Maschinen einen tiefgreifenden Wandel und grosses Potenzial mit sich. Die Produktion wird dadurch effizienter und ressourcenschonender. Dies stärkt die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens und eröffnet neue Marktchancen.

Da der Mensch auch in der Industrie 4.0 bei Produktionsprozessen unersetzlich bleibt, soll nach (Reinhart 2017) sein Wertschöpfungsanteil auch optimiert werden. Bei der Montage von Produkten mit kleiner Stückzahl oder grosser Variantenvielfalt ist die Anlernzeit für eine vollautomatisierte Anlage zu gross und darum der Mensch unerlässlich. Um seine Tätigkeit zu optimieren, werden Mitarbeiterassistenzsysteme verwendet.

2.2 Arten von Mitarbeiterassistenzsystemen

Ein Mitarbeiterassistenzsystem kann nach (Apt et al. 2018) im Allgemeinen in Art, Grad und Zielsetzung der Unterstützung unterteilt werden. Der Grad kann als Einstufung des Niveaus verstanden werden, welcher je nach Schwierigkeit der Arbeit von gering bis hoch betitelt werden kann. Als Ziel des Einsatzes von Assistenzsystemen wird die Schaffung von Synergieeffekten, durch optimale Kombination technischer Fähigkeiten mit Flexibilität und Adaptions- Reaktionsfähigkeiten von Arbeitenden definiert.

Es wird zwischen drei Arten menschenbezogener Unterstützungsansätzen unterschieden:

- Physische Mitarbeiterassistenzsysteme leisten der Arbeitskraft bei körperlicher Tätigkeit Hilfe. Ein Beispiel wäre ein Exoskelett zur Hebeunterstützung.
- Sensorische Assistenzsysteme dienen dem Ausgleich funktionaler Veränderung der Sinnesorgane, wie beispielsweise bei hör- oder sehbedingter Einschränkung. Ein Hörgerät oder VR-Brillen sind somit sensorische Assistenzsysteme.
- Kognitionsunterstützende Assistenzsysteme sind für die anwendungsgerechte Entscheidungsunterstützung der Arbeitskraft zuständig. Dies kann von der Visualisierung von Montageplänen bis hin zu intelligenzbasierten Ausführungsempfehlungen an den Mitarbeiter führen. Da gerade diese Art der Assistenz für die Bachelorarbeit von Belang ist, wird darauf genauer eingegangen.

Die Einstellung von personen- und situationsabhängigen Unterstützungen kann entweder manuell ausgeführt werden, oder direkt in Form von sensorischer Kontext- und Nutzererfassung implementiert sein. Durch den Einsatz von Algorithmen verhalten sich letztere reaktiv und können dadurch der Situation angepasste Mitarbeiterassistenz bieten, indem sie Schlüsse aus Faktoren wie Genauigkeit und Geschwindigkeit der Arbeitskraft bei seiner Tätigkeit ziehen. Dies wird auf Dauer zu einer Förderung des Lernens bei der Arbeitskraft führen, welche dadurch schneller sowie selbstständiger dieselbe Tätigkeit ausführen und somit auch aufwändigere Aufgaben lösen kann.

2.3 Mitarbeiterassistenzsysteme in der Produktion

Nach einer Kurzstudie von (Fraunhofer IAO 2019) werden Assistenzsysteme verstärkt bei stationären Arbeitsplätzen im Bereich der Fertigung und Montage zum Einsatz kommen. Grundlage für diese Annahme ist der zunehmende Bedarf an stationären Arbeitsplätzen, an aktuellen Informationen am Arbeitsplatz und der Wunsch nach Reduzierung von Laufwegen und Wartezeiten. Wichtige Aspekte, die Mitarbeiterassistenzsysteme in der Produktion abdecken sollen sind:

- Die Produktivität steigern, mittels Optimierung von Ressourcen und Prozess
- Die Fehlerrate durch Kameraprüfung drastisch senken. So verringert sich Nacharbeit und Reklamation.
- Die Einarbeitungszeit für Arbeitskräfte senken, da das Fachwissen digitalisiert ist.
- Angenehme Ergonomie am Arbeitsplatz mit bestmöglichem Sicherheitsfaktor bieten.
- Prüf- und Arbeitsanweisungen müssen stets aktuell sein und werden eingehalten, weil der Prozess nur weitergehen darf, wenn die Prüfung erfolgreich ist.

2.4 Relevanz von Mitarbeiterassistenzsystemen

In Zeiten der Industrie 4.0 wird die körperliche und geistige Entlastung des Mitarbeiters gefordert. Dies kann durch die stetige Zunahme der Komplexität von Produktvarianten sowie der steigenden fortlaufenden Verbesserungen von Produkten via Facelifting begründet werden. Um die Mitarbeiterentlastung zu erreichen, wird eine immer grössere Anzahl an Mitarbeiterassistenzsystemen verlangt. Dabei kommt es darauf an, dass die Verknüpfung von den Vorteilen des Mitarbeiters und den Vorteilen von automatisierten Anlagen Hand in Hand gehen. Dies bedeutet im eigentlichen Sinne, dass die Maschine den Mitarbeiter bei einfachen und komplexen Tätigkeiten unterstützt. Bei Montagearbeiten mit vielen einzelnen Teilschritten und hoher Variantenvielfalt kann es schnell zu Unachtsamkeiten des

Mitarbeiters kommen. Gerade dann wird durch die Einbindung von kamerabasierten Prüfverfahren, die Steigerung von Qualität erreicht und Ausschuss sowie Nacharbeit verringert. Durch die Integration von Schritt für Schritt Anleitungen in Mitarbeiterassistenzsystemen wird dem Mitarbeiter in einfacher Form Hilfestellung geleistet. Dies bringt den Vorteil, dass die richtige Reihenfolge bei der Montage gewährleistet wird und der Mitarbeiter keine komplizierten Anleitungen durchlesen muss, sowie keine Arbeitsschritte vergessen kann.

2.5 Vergleichbare Systeme auf dem Markt

In diesem Unterkapitel wurden zwei schon existierende Mitarbeiterassistenzsysteme auf dem Markt untersucht, welche gleichartige Eigenschaften wie das geplante Mitarbeiterassistenzsystem aufweisen. Das erste Assistenzsystem ist kamerabasiert und kann anwendungsabhängig auch spezifisch konfiguriert oder umgebaut werden. Das zweite Assistenzsystem setzt den Fokus auf das Pick-by-Light System und hat eine effiziente Arbeitsplatzgestaltung. Folgend wird ein Überblick über die eingesetzten Technologien gegeben und darauf hingewiesen, was fehlt, um den Anforderungen in Abschnitt 3 gerecht zu werden.

2.5.1 Schlauer Klaus von Optimum

Das Mitarbeiterassistenzsystem mit dem Namen «Der Schlaue Klaus», kurz SK, vom Unternehmen Optimum aus Karlsruhe ist ein gut vergleichbares System, wie jenes, das in dieser Arbeit erstellt wird. Mit diesem kamerabasierten kognitiven System werden manuelle Prozesse in der industriellen Fertigung digitalisiert (Optimum datamanagement solutions GmbH 2021a). Der Schlaue Klaus ist modular aufgebaut, sodass er für den jeweiligen Anwendungsfall individuell konfiguriert werden kann. Man kann aus fünf unterschiedlichen Ausgangsmodulen auswählen. Da die Bachelorarbeit am ehesten vergleichbar mit dem SK Assembly ist, wird dieser Aufbau in Abbildung 2-1 dargestellt.

Das SK Assembly, für die manuelle Montage führt die Arbeitskraft Schritt für Schritt durch den Fertigungsprozess. Es überprüft jeden einzelnen Arbeitsschritt in Echtzeit und warnt sofort, wenn ein Fehler passiert.

Das SK Assembly verwendet eine Kameraerkennung, die kontinuierlich Bildaufnahmen des Arbeitsbereiches erfasst. Durch die Möglichkeit verschiedene Montageanleitungen im System zu hinterlegen, ist dieses flexibel einsetzbar. Zudem bietet es Erweiterungsmöglichkeiten zur digitalen Dokumentation der Montageschritte, wodurch Informationen zu den montierten Produkten im Nachhinein abrufbar sind. Es fällt auf, dass dieses System keine Warenbehälter besitzt, was bedeutet, dass die Laufzeit und die Warenbestandsmessung nicht optimiert wurden. Jedoch wird die Kameraprüfung und der Bildschirm zur Arbeitsvisualisierung in diesem System als sehr wertvoll erachtet.

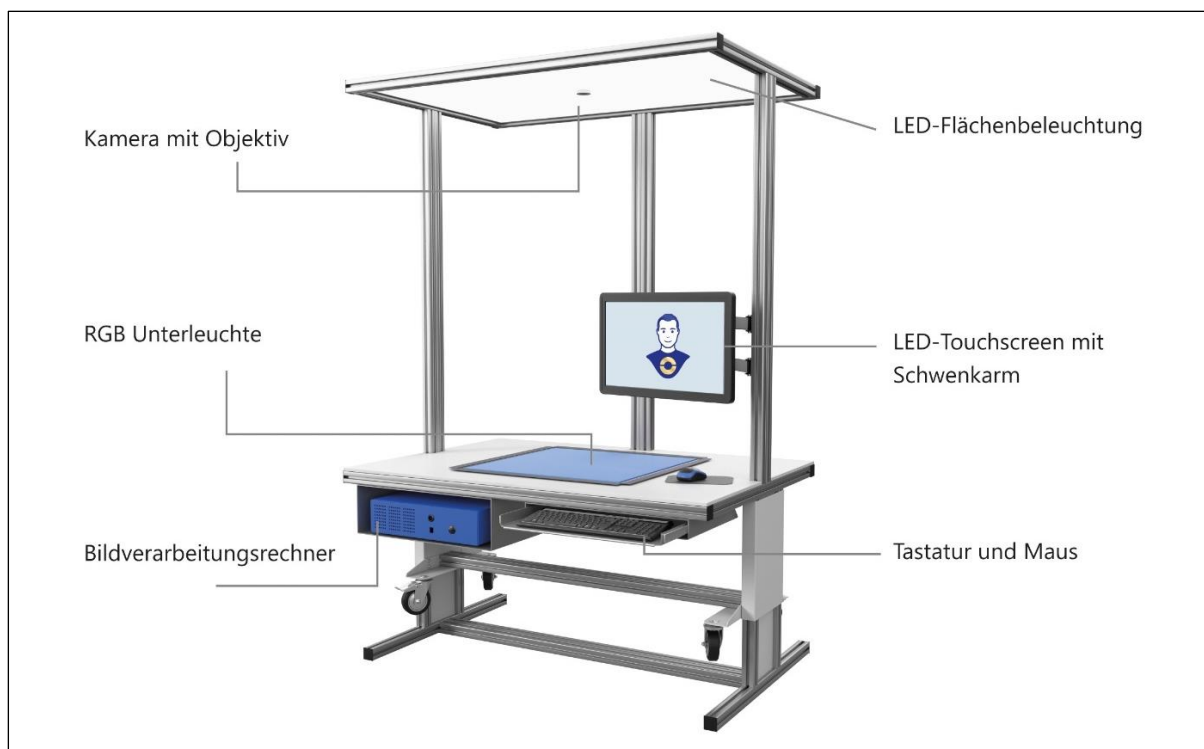


Abbildung 2-1 SK Assembly
(Optimum datamanagement solutions GmbH 2021b)

2.5.2 LEAN-Montagearbeitsplatz von Phoenix Mecano Solutions AG

Das Unternehmen Phoenix Mecano Solutions AG aus Stein am Rhein in der Schweiz bietet Komponenten und Systemlösungen für die Industrie und Smart Factory an. Das Angebot umfasst Arbeitsplätze, die individuell auf das zu herstellende Produkt des Kunden entwickelt und hergestellt werden (Phoenix Mecano Solutions AG). Werkzeuge, benötigte Geräte und Montagekomponenten werden in Griffweite angeordnet. Für die Unterstützung bei der Montage kann ein Pick-by-Light System eingesetzt werden. Dieses System signalisiert mit einer Beleuchtung aus welchem Behälter eine Montagekomponente entnommen werden soll. Bei körperlich anstrengender oder präziser Arbeit kann ein kollaborativer Roboter den Arbeitsschritt ausführen. In Abbildung 2-2 ist ein umgesetztes Projekt der Firma dargestellt. Es ist zu erkennen, dass jegliche Montagekomponenten und die Werkzeuge zur Herstellung des Produktes am Arbeitsplatz vorhanden sind.



**Abbildung 2-2 Arbeitsplatz von Phoenix Mecano
(Phoenix Mecano Solutions AG)**

Bei diesem System wurde festgestellt, dass die Platzierung der Behälter und die Implementierung des Pick-by-Light Systems sehr vorteilhaft ist. Dadurch wird die Effizienz bei der Entnahme von Teilen verbessert. Zusätzlich wurden Hubsäulen eingebaut, um die Arbeitsfläche für jede Arbeitskraft in ihrer gewünschten Höhe anpassen zu können. Dies ermöglicht eine ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes und trägt zu mehr Arbeitskomfort und Effizienz bei. Für die Arbeitsschrittüberprüfung ist keine Kameraerkennung vorgesehen, wodurch die Dokumentation und Qualitätssicherung geringer sein wird.

3 Anforderungen

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an das System gestellt. Dabei wurden sowohl die positiven Aspekte der zuvor analysierten Mitarbeiterassistenzsysteme berücksichtigt als auch eigene Anforderungen und Wünsche eingebracht.

3.1 Interaktion mit Hybrider Lernfabrik und Stand-Alone-Lösung

Der mitarbeiterunterstützende Arbeitsplatz soll als Zusatzmodul in die Hybride Lernfabrik der Ostschweizer Fachhochschule in Buchs integriert aber auch als Stand-Alone-Lösung betrieben werden können. Genauer zu der Anlage in Buchs folgt in Kapitel 4.1. Grundsätzlich können Produkte auch ohne die Lernfabrik erstellt werden, da der Handarbeitsplatz ohne weitere Betriebsmittel auskommen soll. Die Lernfabrik soll nur als Materialzuführung dienen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Standardbetrieb der Fabrik nicht verändert wird. Es wird davon ausgegangen, dass der Montagearbeitsplatz vor das Förderband der Lernfabrik platziert wird. Die Arbeitskraft kann so eine Trägereinheit von dem Förderband nehmen, das OST-Gadget am Mitarbeiterassistenzsystem zusammenbauen und die Einheit mit dem OST-Gadget wieder dem Kreislauf der Lernfabrik zuführen.

3.2 Kameraprüfung

Die manuelle Prüfung einer Arbeitskraft soll durch eine Kameraprüfung des Assistenzsystems ersetzt werden. Durch den Einsatz von Kamerasystemen können Arbeitsschritte automatisch überwacht, analysiert und geprüft werden. Die Kameras erfassen Bilder der Prozesse, während ein Bildverarbeitungssystem diese analysiert und Abweichungen von vorab gespeicherten Standards erkennt. Bei Unregelmässigkeiten werden Alarme ausgelöst. Die Kameraprüfung verbessert die Effizienz und Genauigkeit der Produktion, indem sie manuelle Prüfungen durch Mitarbeiter überflüssig macht und eine höhere Qualität sicherstellt.

3.3 Montageanleitungen

Zur Unterstützung der Arbeitskraft sind verschiedene Montagepläne für den Zusammenbau des Produkts vorgesehen. Es soll je ein Ablaufplan für Einsteiger und für erfahrene Anwender realisiert werden. Der Grad dieser Assistenz soll fähigkeitsbasiert sein, sodass bei der Produktmontage der Unterstützungsgrad ausgewählt werden kann. Arbeitskräfte ohne weitreichende Erfahrung können dadurch schnell und unkompliziert mit Fotoanleitung in die Arbeitstätigkeit eingewiesen werden. Erfahrene Arbeitskräfte mit Vorkenntnissen in der Montage werden dabei weitgehend nur noch durch die Merkmalsprüfung unterstützt. Die Einbindung eines «Exoten-Alarm» könnte als Einpflegung ins System noch berücksichtigt werden. Der Exoten-Alarm wird ausgelöst, wenn eine spezielle Variante gefordert ist, bei der selbst erfahrene Arbeitskräfte unterstützt werden müssen, da sie diesen Variantentyp beispielsweise noch nie zusammengesetzt haben.

3.4 Erweiterbarkeit

Ein wichtiger Aspekt des Arbeitsplatzes ist die einfache Möglichkeit der Erweiterbarkeit. Es wird Wert daraufgelegt, eine möglichst unkomplizierte Einbindung von anderen Produkten zu ermöglichen. Daher soll das System nicht explizit für das OST-Gadget konzipiert sein, sondern auch mit aufwändigeren und nicht unbedingt selbsterklärenden Montageprozessen kompatibel sein. Aus diesem Grund sollen mehrere Reservebehälter für Bauteile am Handarbeitsplatz und ein Puffer bei den Ein- und Ausgängen der SPS eingeplant werden. Es soll auch ein Programmierwerkzeug gewählt werden, das Modifikationen im Workflow leicht zulässt.

3.5 Kostengünstiges System

Bei der Auswahl der Komponenten für das Mitarbeiterassistenzsystem soll darauf geachtet werden, einfache und kostengünstige Produkte auszuwählen. Es werden Lösungen bevorzugt, die technisch wirksam, aber dennoch erschwinglich in der Anschaffung und Wartung sind. Dabei soll auf etablierte und weit verbreitete Technologien zurückgegriffen werden, die kostengünstig und verfügbar sind. Für die Software soll hauptsächlich Open Source verwendet werden. Durch die Nutzung solcher Produkte kann eine breitere Verfügbarkeit und Skalierbarkeit des Assistenzsystems gewährleistet werden, was letztendlich die Gesamtkosten reduziert und die Umsetzung erleichtert.

3.6 Bedienerfreundlichkeit

Das System soll mittels intuitiver und einfacher Bedienung eine hohe Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft bei den Arbeitskräften erzielen. Aspekte, die zu einer guten Bedienerfreundlichkeit beitragen sind:

- Klare und verständliche Benutzeroberfläche (Wenig Text und viele Visualisierungen)
- Einfache Navigation (Mit wenigen Klicks am Ziel)
- Pick-by-Light (Signalisierung der zu entnehmenden Komponente)
- Klare Rückmeldungen (Text, optische Ausgabe oder Tonausgabe, damit Arbeitskraft Rückmeldungen zu Aktionen erhält)
- Konsistenz (einheitliche Gestaltung der Dashboards)
- Dokumentation (Ein Benutzerhandbuch, um das System besser zu verstehen)

4 Vorgehensweise

Die in Abschnitt 2.5 erwähnten Assistenzsysteme sind komplex und kostspielig. Nach einem Gespräch mit Ralf Jentscher von Hilpert electronics, dem Schweizer Vertrieb von Optimum-Produkten, bewegt sich der Preis eines SK Assembly Grundmoduls bei circa 44 tausend Franken. Der Preis kann jedoch stark ansteigen, wegen der umfangreichen Auswahl an Konfigurationen des Systems. Doch keines der auf dem Markt befindlichen Mitarbeiterassistenzsysteme ist ausreichend, um die gestellten Anforderungen in Abschnitt 3 zu erfüllen. Es werden teilweise Anforderungen übertroffen, aber einige Aspekte nicht berücksichtigt.

Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel ein Konzept erstellt, wie das optimale Mitarbeiterassistenzsystem für die gestellten Anforderungen aussehen soll. Dazu gehört die Überlegung welche Betriebsmittel zur bestmöglichen Unterstützung des Mitarbeiters benötigt und wie diese am Arbeitstisch integriert werden.

Um das Assistenzsystem zu demonstrieren, wurde ein Produkt gesucht, das nicht komplex ist und in wenigen Schritten montiert werden kann. Das ausgesuchte Produkt wird im kommenden Unterkapitel analysiert und die einzelnen Montageschritte dafür beschrieben.

4.1 Produktanalyse

Im Rahmen der IT-Bildungsoffensive des Kantons St.Gallen gibt es an der OST eine Smart Factory, die in Abbildung 4-1 ersichtlich ist. Diese Anlage ist nach (Lampert 2022) eine reale industrielle Produktionsumgebung, in der die angewandte Digitalisierung gezeigt werden kann. Umgangssprachlich wird sie «Hybride Lernfabrik» oder kurz «HLF» genannt. Mit ihr sollen die angehenden Systemtechniker/-innen für Industrie 4.0 geschult werden und dabei den gesamten Wertschöpfungsprozess einer industriellen Produktion betrachten können. In Zukunft soll das in Abbildung 4-5 ersichtliche Produkt unter dem Namen OST-Gadget hergestellt und vertrieben werden. Das Produkt, welches in der HLF produziert wird, ist ein Wireless Charger, das aus den folgenden Teilen zusammengesetzt ist. Der Oberschale (mit OST-Logo) in Abbildung 4-2, einer Unterschale mit schon montierten Gummistoppeln in Abbildung 4-4, sowie der Elektronik in Abbildung 4-3. Die beiden Schalen werden am OST-Standort Rapperswil hergestellt und dann nach Buchs geliefert, wo die Elektronik und die Gummistopper montiert werden. Das fertige OST-Gadget wird anschliessend qualitätsgeprüft und durch den OST-Standort St. Gallen vermarktet.



Abbildung 4-1 Smart Factory in Buchs
(Ostschweizer Fachhochschule 2022)

Am Campus Buchs findet die Montage des OST-Gadgets in der HLF vollautomatisiert statt. Ein weiterer Roboter bietet durch Mensch-Maschine Interaktion eine halbautomatisierte Montage an. Das Mitarbeiterassistenzsystem soll nun eine dritte Möglichkeit bieten, um die Montage ohne Automatisierung, jedoch mit Unterstützung des Arbeiters durchzuführen.

Das OST-Gadget wird in zwei verschiedenen Farben verfügbar sein. Das Gehäuseset aus Ober- und Unterschale wird in den Farben Weiss und Schwarz in Rapperswil produziert. Damit ist es möglich beim Montageprozess zwischen zwei möglichen Varianten zu unterscheiden.



Abbildung 4-2 Oberschale

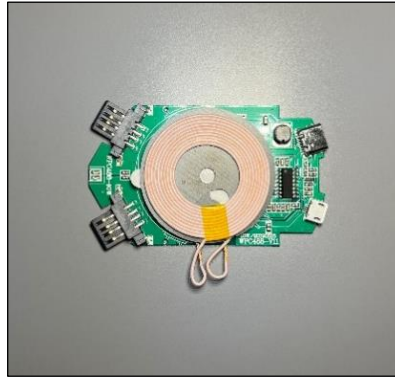


Abbildung 4-3 Elektronik



Abbildung 4-4 Unterschale

Abbildung 4-5 OST-Gadget
(OST, 2022)Abbildung 4-6 Data Matrix
(OST, 2022)

Der Wireless Charger ist durch produktionstechnische Herstellung mit einer individuellen Seriennummer versehen. Diese Kennung des Produktes wird durch eine Data-Matrix an der Unterschale realisiert, die in Abbildung 4-6 ersichtlich ist. So kann bei einem Produktrückruf jedes OST-Gadget eindeutig identifiziert werden (Ostschweizer Fachhochschule 2022).

4.2 Prozess

In den folgenden Unterkapiteln wird der Montageablauf näher erläutert und dabei definiert, wie unterstützende Betriebsmittel der Arbeitskraft zur Hilfe stehen sollen.

4.2.1 Ablauf der Montage

Der Montageablauf des in Abschnitt 4.1 vorgestellten Produkts wird in Vorbereitungs- und Montageschritte unterteilt.

Für den Zusammenbau eines Produkts wird ein Gehäuseset, eine Elektronikeinheit und drei Stopper benötigt.

Der komplette Montageprozess soll auf der Arbeitsfläche des Assistenzsystems stattfinden.

Zuerst wird ein Gehäuseset auf dem Arbeitstisch platziert. Aus dem Blister wird die Oberschale entnommen, um 180 Grad gewendet und auf die Arbeitsfläche gelegt.

Als nächstes wird eine Elektronikeinheit vorbereitet. Die zwei schwarzen Füßchen müssen von der Elektronik getrennt werden. Danach wird die Spule an die Elektronik geklebt, indem der Klebestreifen unter der Spule entfernt wird. Die Elektronik ist somit vorbereitet.

Die Elektronik wird um 180 Grad gedreht und in die vorbereitete Oberschale gelegt.

Anschliessend wird die Unterschale auf die Oberschale mit eingelegter Elektronik platziert und festgedrückt.

Zuletzt werden drei Stopper in den vorgefertigten Bohrungen der Unterschale befestigt. Die Montage des OST-Gadgets ist abgeschlossen.

In Abbildung 4-7 ist der eben beschriebene Montageablauf vereinfacht dargestellt. Die verschiedenen Produktvarianten haben keinen Einfluss auf den Montageprozess.

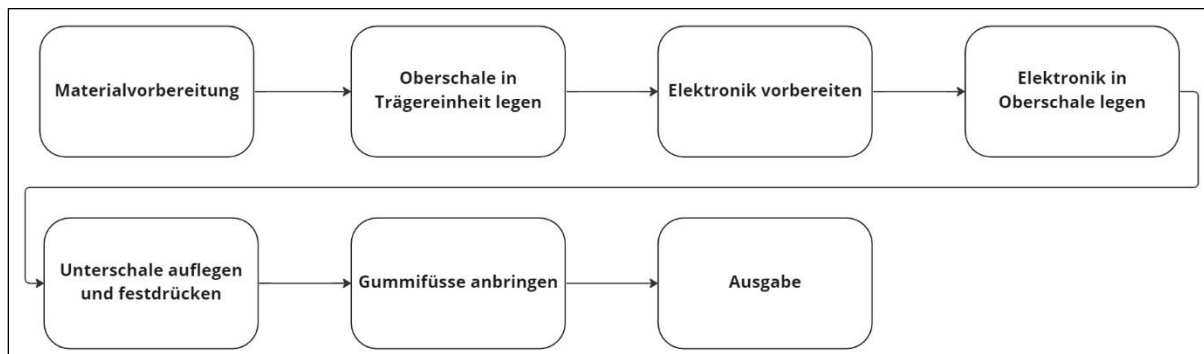


Abbildung 4-7 Übersicht Montageschritte

In Anhang A ist eine ausführliche Arbeitsanweisung für den Zusammenbau des OST-Gadgets visuell und einfach verständlich dargestellt.

4.2.2 Gewünschte Interaktion der Sensorik während des Montageprozesses

Um den Montageprozess zu starten, soll lediglich ein Taster betätigt werden. Eine erfolgreiche Betätigung des Tasters soll durch Lichtindikation, einer visuellen Darstellung oder akustischem Ton angezeigt werden. Durch die Darstellung jedes Arbeitsschrittes wird die Arbeitskraft während der Montage unterstützt. Ein RFID-Lesekopf erfasst den Auftrag, der auf dem Datenträger des Carriers/Warenträgers gespeichert ist, und initiiert den entsprechenden Montageprozess. Mit Hilfe eines Pick-by-Light Systems werden die Komponenten für die Produktmontage entnommen. Lichtschranken überprüfen, ob eine Einheit aus der richtigen Ablage entnommen wurde. Anschliessend wird der Zusammenbau des Produkts mittels Kameraprüfung kontrolliert. Nach jeder erfolgreichen Kameraprüfung soll sich die Pick-by-Light Beleuchtung der geeigneten Ablagen kurz aufleuchten.

4.3 Betriebsmittel

Im anschliessenden Unterkapitel wird das Hardwarekonzept präsentiert. Dieses Konzept bietet einen Überblick über die Betriebsmittel, die in der weiteren Ausführung beschrieben werden. Bisher wurden noch keine spezifischen Produkte ausgewählt. Es wurde lediglich ein Konzept erstellt, das die Realisierbarkeit der Hardwarelösung beschreibt.

4.3.1 Hardwarekonzept

Die Abbildung 4-8 zeigt das visualisierte Hardwarekonzept, das den prinzipiellen Aufbau veranschaulicht. Vom Mikrocontroller soll eine direkte Verbindung zu einem Benutzerinterface realisiert werden. Um mit der gewünschten Soft-SPS digitale Ein- und Ausgänge zu betreiben wird ein Buskoppler benötigt. Für die Einbindung eines RFID-Lese- und Schreibkopfes wird ein Interface benötigt. Die Kommunikation der Kamera soll ebenso über einen Bus erfolgen. Im besten Fall wird die Kommunikation mit einem einheitlichen Bussystem erfolgen, damit keine weiteren Schnittstellen benötigt werden.

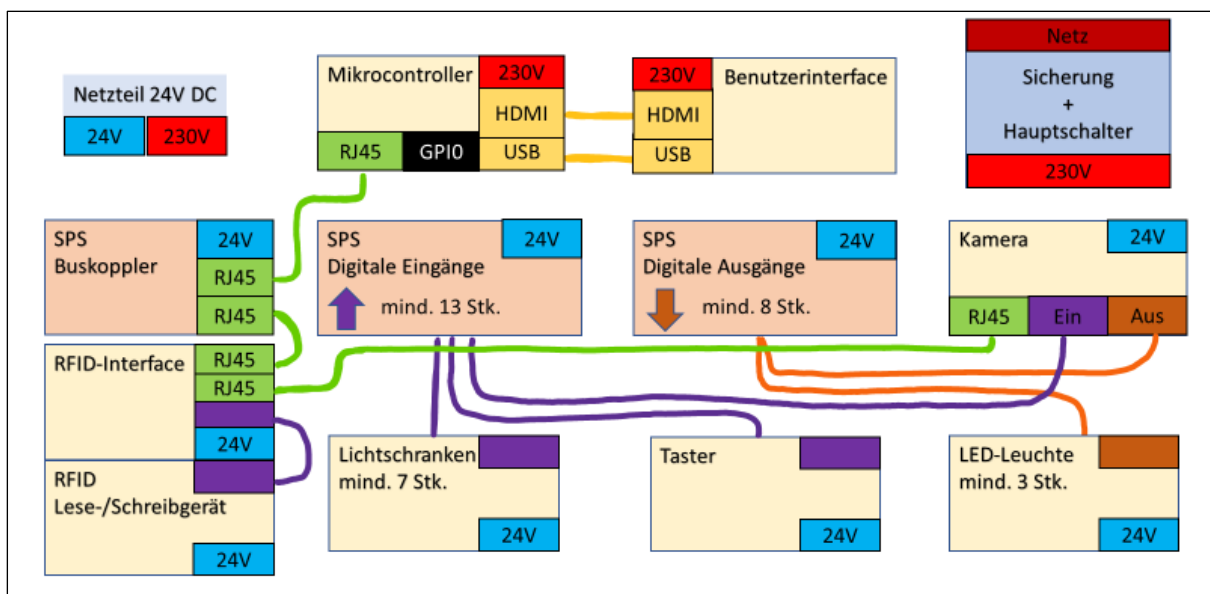


Abbildung 4-8 Hardwarekonzept

4.3.2 Arbeitsplatz

In Abbildung 4-9 ist eine erste Skizze des zu erstellenden Handarbeitsplatzes aufgeführt. Sie wurde in einem CAD-Tool des Unternehmens «Item» erstellt. Mit viel Platz für grosse aber auch kleine Behälter wird sichergestellt, dass verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Varianten hergestellt werden können. Weiter wurde auf die Ergonomie geachtet, sodass Montagekomponenten in Griffweite angeordnet sind und die Arbeitsfläche höhenverstellbar ist.

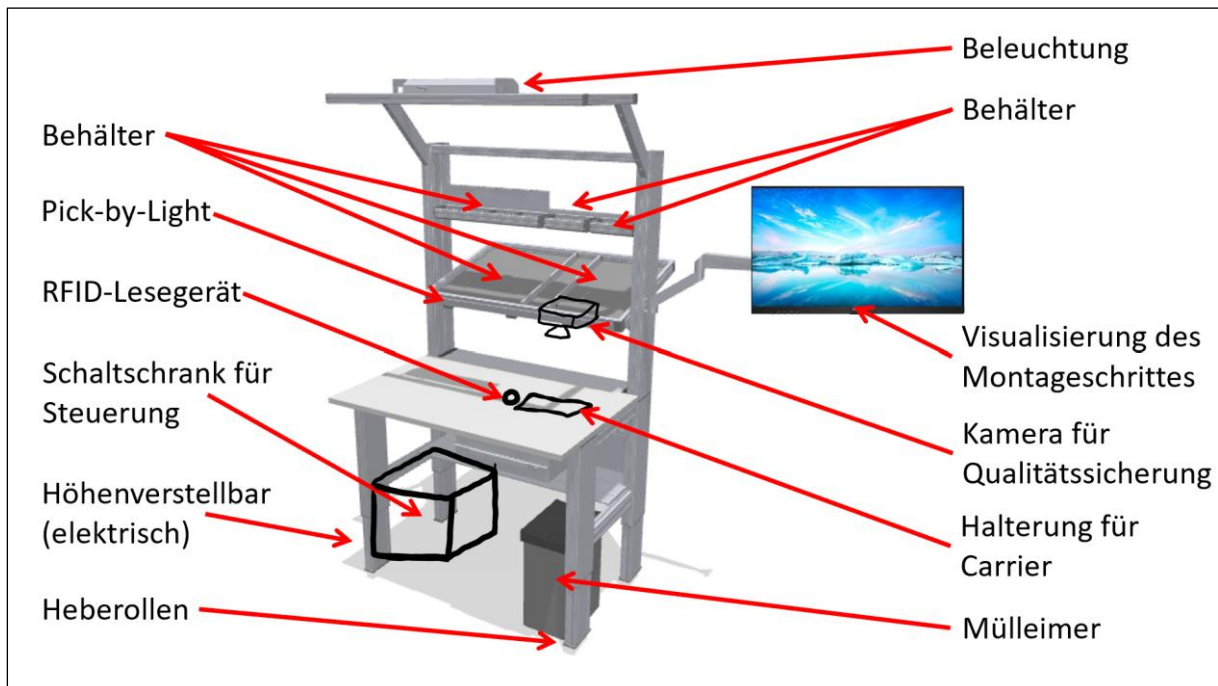


Abbildung 4-9 Skizze des Handarbeitsplatzes

4.3.3 Rechner mit Soft-SPS

Der Rechner wird das Herzstück des Arbeitstisches sein. In ihm wird der gesamte Prozessablauf realisiert und die Benutzeroberfläche programmiert. Da der Handarbeitsplatz möglichst kostengünstig erstellt werden soll, wird ein Mikrocontroller eingesetzt. Diese können einfach in Betrieb genommen werden, ohne grossen Aufwand zu betreiben und benötigen wenig Platz.

Damit im System Sensoren verbaut werden können wird eine speicherprogrammierbare Steuerung, kurz SPS benötigt. Mit dem Einsatz einer SPS kann eine einfache Implementierung von Sensoren geschaffen werden. Dies ermöglicht das Einlesen von Sensorzuständen und das Schalten von Aktoren. Da ein Mikrocontroller als Rechner dienen soll ist es naheliegend, keine komplette SPS zu wählen, sondern sich für eine Soft-SPS zu entscheiden. Als Soft-SPS werden Softwarepakete bezeichnet, die auf einem PC lauffähig sind und so den Prozessor einer üblichen SPS ersetzen. Damit können die Kosten entsprechend reduziert werden.

4.3.4 Handbetätigung

Zur manuellen Betätigung von Arbeitsschritten durch die Arbeitskraft wird ein Taster vorgesehen. Der Taster soll an die SPS gebunden werden. Ein optisches Feedback nach jeder Betätigung soll eine Steigerung der Benutzerfreundlichkeit bieten.

4.3.5 Kameraerkennung

Zur Qualitätssicherung wird eine Kamera mit Merkmalerkennung verwendet. Um verschiedenen Varianten, wie zum Beispiel unterschiedliche Gehäusefarben zu erkennen, soll eine Farberkennung integriert sein.

4.3.6 Pick-by-Light

Damit die Bestückung nach Plan verläuft, sollen die für den Arbeitsschritt notwendigen Komponenten durch visuelles Feedback hervorgehoben werden. Wird eine Komponente aus einem Abteil entnommen, so muss dies mittels Lichtschranke überwacht werden. Die Basis eines Pick-by-Light Systems stellt eine Anzeige über dem zu entnehmenden Material dar, welche eine Quittierfunktion besitzt, nachdem das Material entnommen wurde. Dank der so vereinfachten Handhabung ist die Anlernzeit des Bedieners verkürzt und die Fehleranfälligkeit bei der Montage gesenkt. In Abbildung 4-10 ist ein Beispiel aufgezeigt.

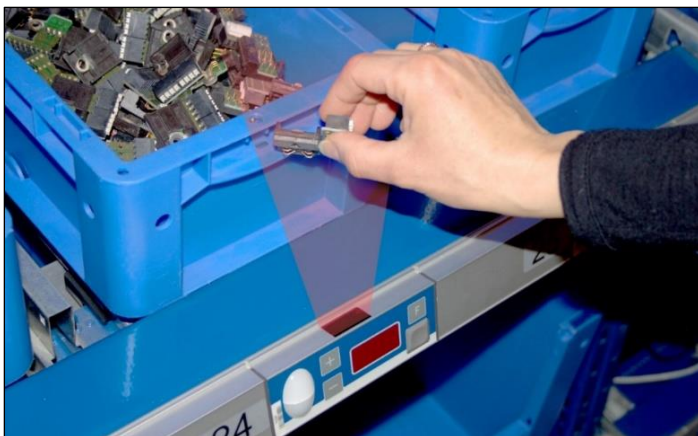


Abbildung 4-10 Pick-by-Light
(Pick by Light; Ifd)

4.3.7 RFID

Die Nutzung von RFID (Radio Frequency Identification) spielt eine entscheidende Rolle bei der Effizienzsteigerung bei Industrie 4.0. In Abbildung 4-11 ist die Funktionsweise von RFID illustriert. Mit einem elektromagnetischen Feld wird Energie an den Datenträger übergeben und dieser kann dann seine Daten an das Lesegerät übermitteln. Weil RFID auch in der Hybriden Lernfabrik genutzt wird, soll es auch in dem Mitarbeiterassistenzsystem verbaut werden. Mit RFID-Datenträgern, die an Warenträgern angebracht sind, können Produkte kontaktlos und in Sekundenbruchteilen identifiziert und nachverfolgt werden. Die gespeicherten Daten liefern Informationen zum Produkt und ermöglichen eine präzise Steuerung des Herstellungsprozesses. Auf den Datenträgern wird die Art des OST-Gadgets übergeben, welches hergestellt werden soll.

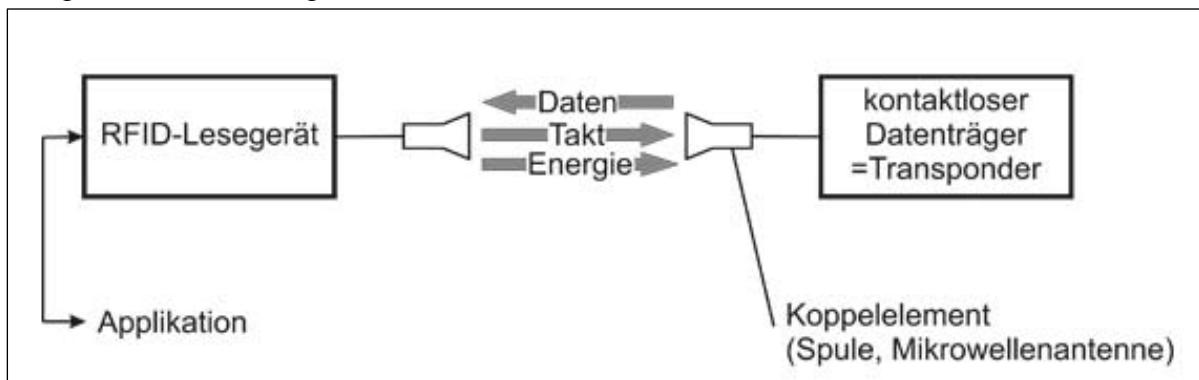


Abbildung 4-11 RFID Funktionsweise
(Weber)

4.3.8 Auftragsübersicht und Lagerbestandsmessung

Für die Interaktion zwischen Arbeitsplatz und Arbeitskraft wird eine Visualisierung benötigt. Damit kann der aktuelle Arbeitsschritt aufgezeigt aber auch der Lagerbestand abgefragt werden.

Der Lagerbestand kann erfasst werden, indem Lichtschranken des Pick-by-Light Systems erkennen, ob ein Bauteil aus einer Ablage entnommen wurde. Es wird die maximale Anzahl jedes Bauteils in ihrer Ablage aufgenommen und abgespeichert. Wird ein OST-Gadget erstellt, so schrumpft der Bestand der Bauteile über die Erkennung, dass ein Bauteil entnommen wurde. Die Lagerbestände sollen alle auf einen Blick ersichtlich sein.

5 Umsetzung

In diesem Kapitel wird nun aus dem Konzept die wirkliche Realisierung des Systems behandelt. Zu Beginn wird der mechanische und elektrische Aufbau des in Abbildung 5-1 dargestellten Arbeitstisches erklärt. Danach werden die eingesetzten Betriebsmittel aufgelistet. Anschliessend wird der finale Workflow für die Erstellung des OST-Gadgets präsentiert. Wie die Software programmiert wurde, die Kameraprüfung funktioniert und was die Bedienoberfläche alles bietet, wird am Ende dieses Kapitels behandelt.

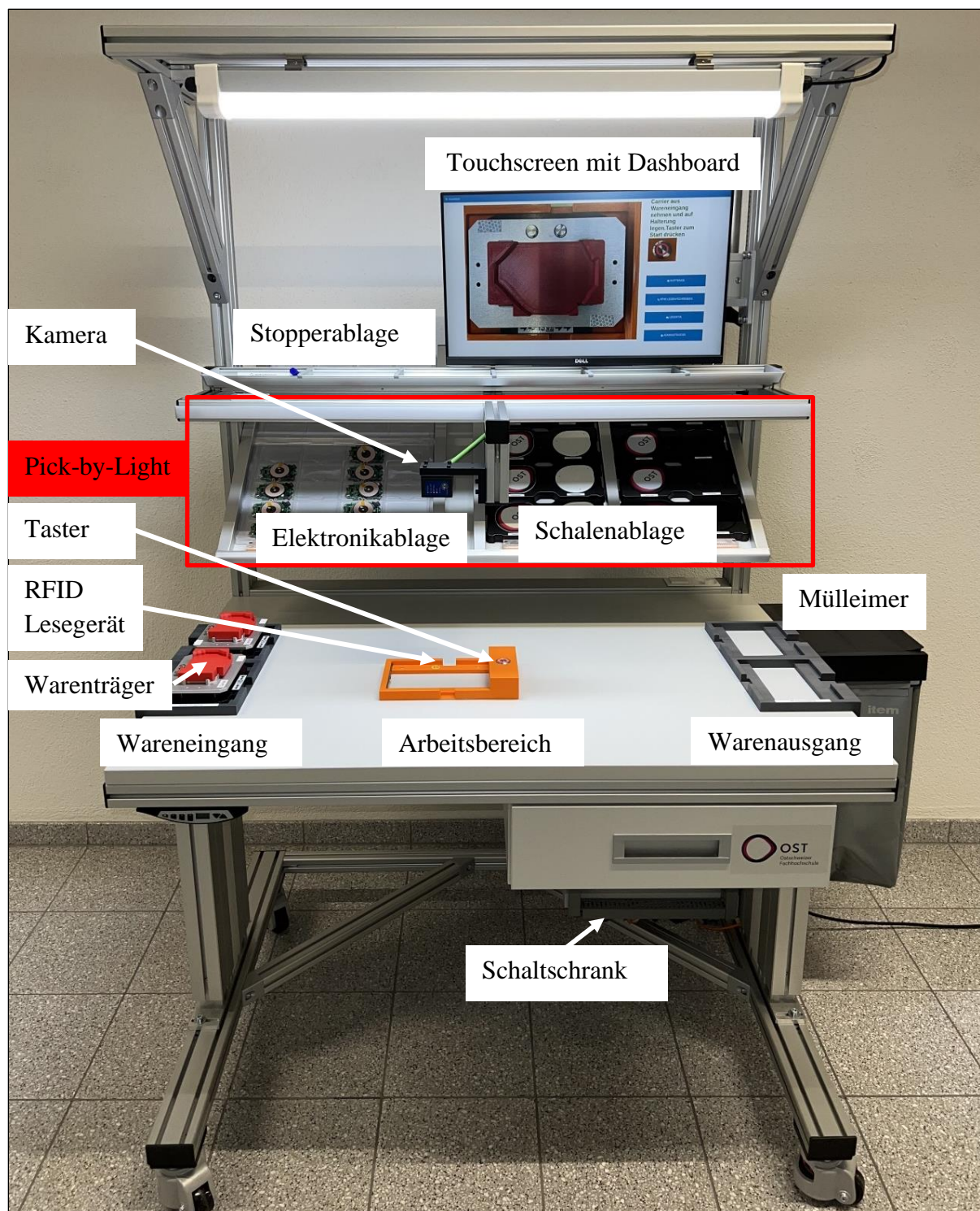


Abbildung 5-1 Arbeitstisch

Die Abbildung 5-1 stellt einen ganzheitlichen Überblick über das Gesamtsystem dar. Im Anschluss werden die einzelnen Komponenten ausführlicher erläutert und deren Funktionen werden im Detail beschrieben.

5.1 Mechanischer Aufbau

Damit das System möglichst kostengünstig und flexibel ist, wurde das Grundgerüst aus Systembaukasten-Aluminiumprofilen hergestellt. Mit dem 40 mal 40 Millimeter grossen Profilen konnte so ein Tischaufbau mit unterschiedlichen Behältern konstruiert und aufgebaut

werden. Die Profile konnten leicht mit Verbindungselementen verbunden werden und garantieren einen sicheren Halt der Konstruktion.

Der Aufbau wurde mit einem Konstruktionsprogramm der Firma Item entworfen. Ein Vorteil davon war, dass Berechnungen, die Plausibilitätsprüfung und vieles mehr direkt vom Programm übernommen wurde. In Abbildung 5-2 ist der Grundaufbau mit Stückliste visualisiert.

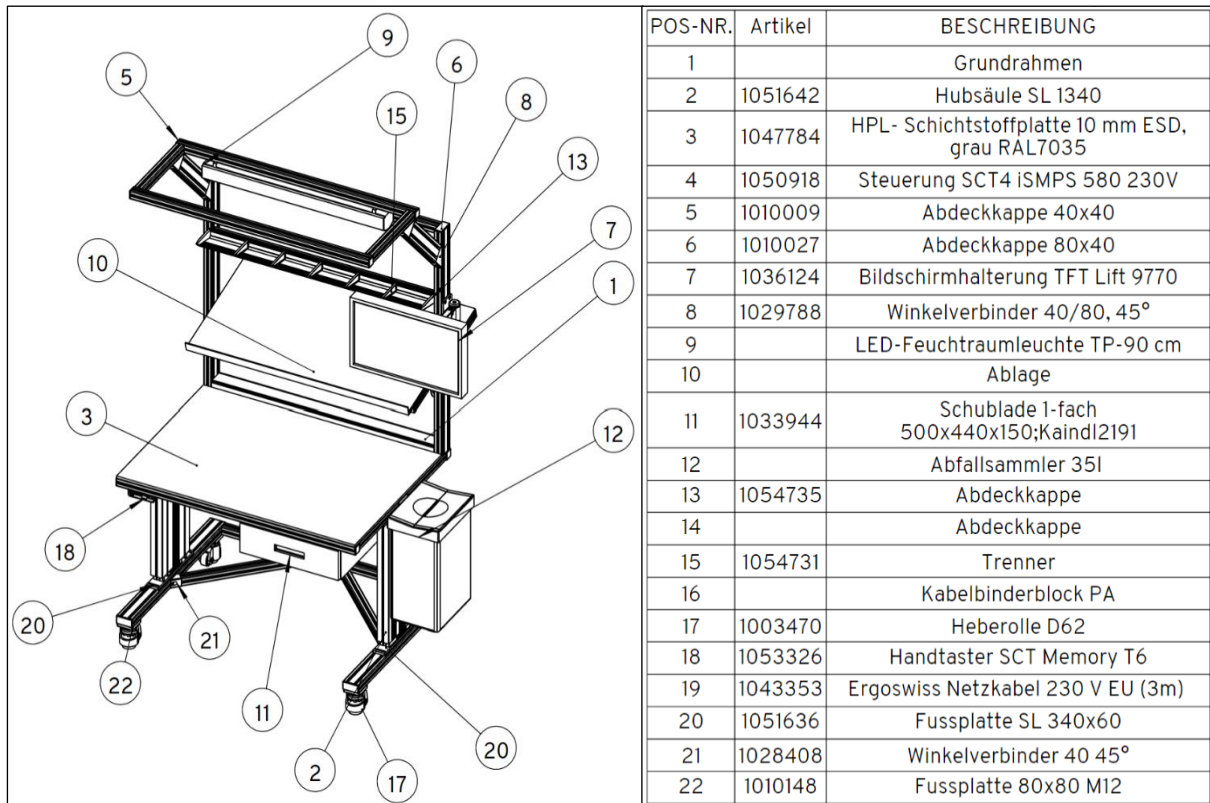


Abbildung 5-2 mechanischer Grundaufbau

Das System wird auf Heberollen aufgebaut. Somit kann der Tisch leicht verschoben werden aber steht fest am Boden, wenn die Heberollenstopper ausgefahren sind. Die Höhenverstellbarkeit der Tischplatte kann mit Hubsäulen von 865 bis 1265 Millimeter über eine Bedieneinheit eingestellt werden. Oberhalb der Arbeitsfläche wurde eine abgewinkelte Platte montiert, auf der die Elektronik und die verschiedenen Gehäusesets abgelegt werden. Darüber gibt es weitere Ablagen für Stopper und Reserve. Die Arbeitsschritte werden auf einem Touchscreen dargestellt, der an einem Gelenkarm angebracht ist. Dieser Grundaufbau wurde anschliessend mit Kabelkanälen, der Kamera, mehreren Lichtschranken und vielem mehr erweitert. Das gesamte System hat eine Höhe von weniger als zwei Metern, was bedeutet, dass es problemlos durch jede Tür der OST-Buchs transportiert werden kann.

5.2 Elektronischer Aufbau

Da die Arbeitskraft Unterstützung von Sensoren und Aktoren erhält, musste ein Schaltschrank verbaut werden, der als zentrales Steuerungselement fungiert. Der Schaltschrank beherbergt eine Vielzahl von Komponenten, die in Abbildung 5-3 ersichtlich sind.

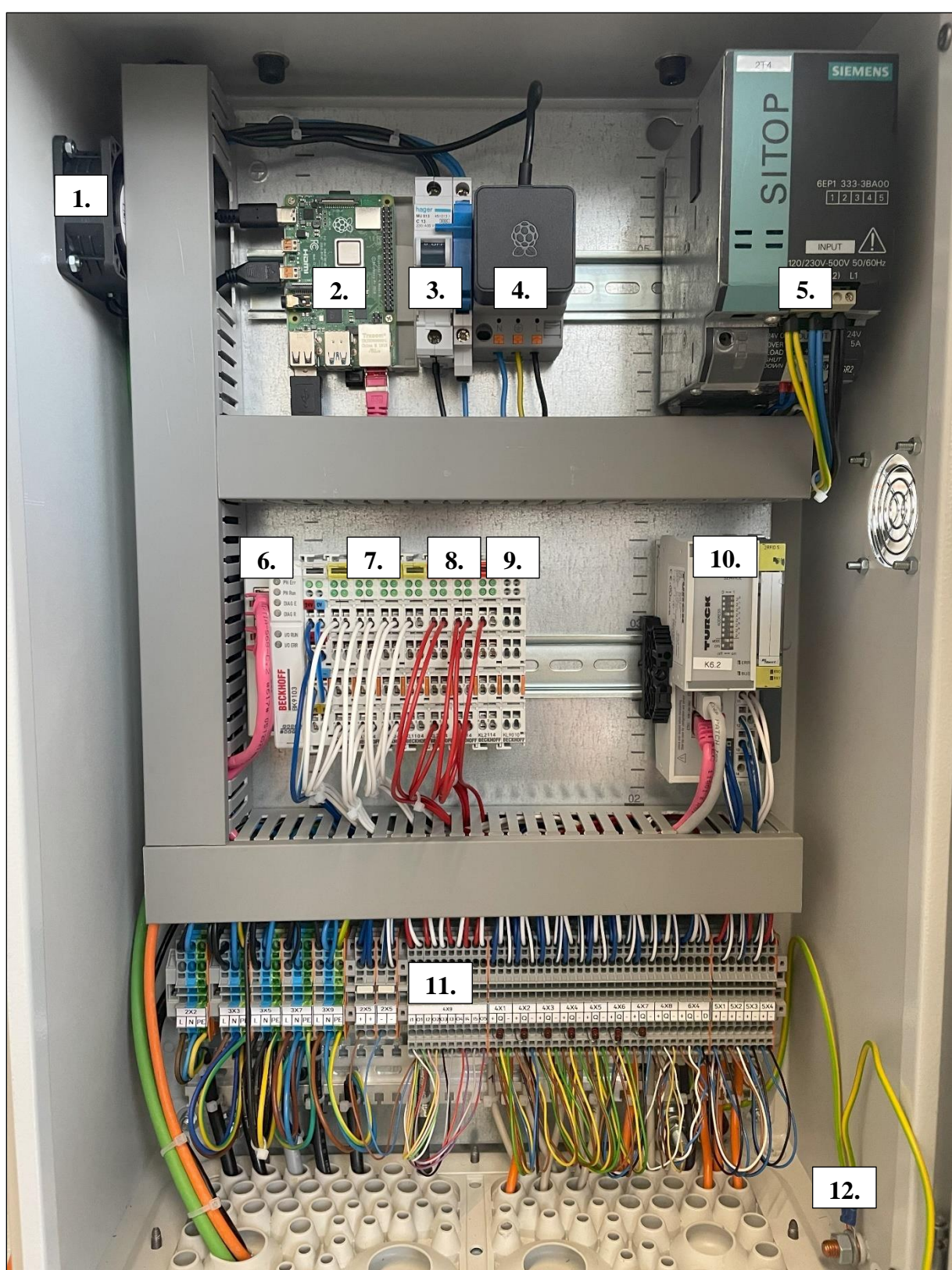


Abbildung 5-3 Schaltschrank

Zum einfacheren Verständnis von Abbildung 5-3 wird durch Tabelle 5-1 die genaue Bezeichnung der Betriebsmittel erklärt.

Nummer	Bezeichnung
1.	Lüfter
2.	Raspberry Pi 4b
3.	Leitungsschutzschalter C-13A
4.	Steckdose für Einspeisung des Raspberry Pi
5.	24 Volt Netzteil
6.	Beckhoff PROFINET Buskoppler
7.	Beckhoff digitale Eingangskarten
8.	Beckhoff digitale Ausgangskarten
9.	Beckhoff Busendterminal
10.	Turck RFID Gateway mit I/Os
11.	Klemmen zur Kabelzusammenführung
12.	Schaltschrankerdung

Tabelle 5-1 Komponenten Schaltschrank

Über ein acht Meter langes Anschlusskabel wird das System eingespeist. Das Mitarbeiter-assistenzsystem wird über einen Raspberry Pi 4b (2.) mit CODESYS Control Laufzeitsystem gesteuert. Die Lichtschranken des Pick-by-Light, der Taster sowie die Ausgänge der Baumer Kamera sind an digitalen Eingangskarten (7.) angehängt. Die LEDs des Pick-by-Light Systems sowie Eingänge der Baumer Kamera sind an digitalen Ausgangskarten (8.) angeschlossen. An den Ein- und Ausgangskarten ist noch ausreichend Platz für die Anschlussmöglichkeit weiterer Sensoren oder Aktoren vorhanden. Dies ermöglicht eine potenzielle Erweiterung des Systems und bietet Flexibilität, um zukünftige Anforderungen und Funktionen zu erfüllen.

Der PROFINET Bus ist als Linienstruktur aufgebaut. Beginnend vom Ethernet-Anschluss des Raspberry Pi zum Buskoppler (6.) über das RFID-Gateway (10.) zum Ende auf der Baumer Kamera.

In den folgenden Unterkapiteln werden die zuvor aufgelisteten Betriebsmittel detailliert erklärt. Für eine ausführliche Darstellung der elektrischen Verbindungen und Komponenten im Schaltschrank und am Handarbeitsplatz wurde ein Elektroschema erstellt. Es dient als Leitfaden für den Aufbau, die Installation und die Wartung des Schaltschranks. Für zukünftige Erweiterungen ist das Schema hilfreich, um die Verdrahtung der Sensoren besser nachvollziehen zu können. Das Schema kann im Anhang B betrachtet werden. Da die Ein- und Ausgänge der Kamera in unserem System nicht verwendet werden, können diese entfernt werden, um Platz für zusätzliche Sensoren im System unterzubringen.

5.3 Eingesetzte Betriebsmittel

In den kommenden Unterkapiteln wird auf die in der Bachelorarbeit verwendeten Betriebsmittel genauer eingegangen.

5.3.1 Raspberry Pi mit CODESYS Laufzeitsystem

Als zentraler Rechner für das System wurde bewusst der Mikrocontroller Raspberry Pi 4b ausgewählt. Diese Entscheidung basiert auf mehreren wichtigen Faktoren, darunter die attraktiven, geringen Kosten und die Vielseitigkeit dieses Rechners. Der Raspberry Pi 4b bietet eine breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten und verfügt über genügend Leistung,

um die Anforderungen des Gesamtsystems zu erfüllen. In Abbildung 5-4 ist der Aufbau des Rechners mit seinen Schnittstellen dargestellt.

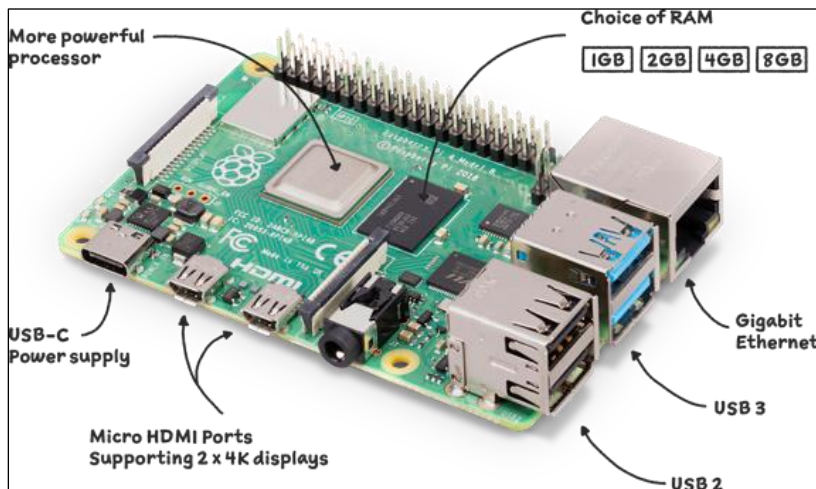


Abbildung 5-4 Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi)

Der Raspberry Pi besitzt zwei HDMI-Ports für Monitore, mehrere USB-Ports und einen Netzwerkanschluss (Raspberry Pi). Der Programmablauf der SPS soll mittels CODESYS programmiert werden, da dies bereits als Standardumgebung in der Hybriden Lernfabrik integriert, und die Entwicklungsumgebung aus dem Unterricht bekannt ist.

Daher wird als Laufzeitsystem das von CODESYS bereitgestellte Paket «CODESYS Control for Raspberry Pi SL» verwendet. Dies ermöglicht es eine Echtzeitanwendung auf dem Raspberry Pi auszuführen. CODESYS ist Open-Source, wodurch keine Kosten für die Software entstehen. Das Laufzeitsystem gibt es in zwei verschiedenen Versionen. Bei der gratis Version muss alle zwei Stunden die Soft-SPS neu gestartet werden. Die Vollversion benötigt eine Lizenz. Diese wurde vom Unternehmen 3S gratis zur Verfügung gestellt. Das Laufzeitsystem der Vollversion wird nach jedem Start des Betriebssystems gestartet. Der Raspberry Pi wurde als PROFINET Controller konfiguriert.

5.3.2 Buskoppler

Der Arbeitstisch verwendet einen Buskoppler BK9103 der Firma Beckhoff der als PROFINET Slave mit dem Raspberry Pi verbunden ist. Der Buskoppler bietet die Möglichkeit, über das Bussystem PROFINET und auch über Verdrahtung an Ein- und Ausgangskarten, die ausgewählten Sensoren und Aktoren zu verwenden. Für die Verbindung zwischen Bussystem und Ein- und Ausgangskarten wird ein Buskoppler benötigt. Die Feldbuskomponenten von Beckhoff werden eingesetzt, weil unser Auftraggeber, das EMS Institut für Entwicklung Mechatronischer Systeme, diese Komponenten in der Regel verwendet.

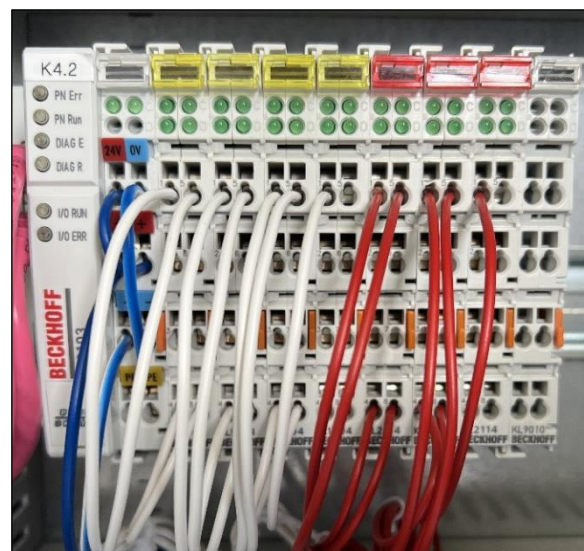


Abbildung 5-5 Buskoppler mit digitalen I/Os

5.3.3 Taster

Die Verwendung eines Touch-Tasters wird durch die Forderungen an einen intuitiven Arbeitsplatz begründet. Die Anbindung des Tasters ist über die Eingangskarte des Buskopplers realisiert. Der kapazitive Taster von Tru Components hat eine integrierte LED. Wird der Taster betätigt, leuchtet dieser grün. Im nicht betätigten Zustand leuchtet der Taster rot.



Abbildung 5-6 Taster

5.3.4 Pick-by-Light

Das Pick-by-Light System wurde selbst erstellt und besteht aus LED-Leuchtbändern und Reflexionslichtschranken. Die LED-Leuchtbänder werden vor den Ablagen montiert, welche den definierten Abschnitt beleuchten. Greift die Arbeitskraft in eine Ablage, erkennt eine Lichtschranke, dass ein Bauteil entnommen wurde. Korrekt ausgeführte Arbeitsabläufe leiten so den nächsten Prozessschritt automatisch ein. Greift die Arbeitskraft irrtümlicherweise in eine falsche Ablage, wird der Prozess nicht fortgesetzt, bis er korrekt ausgeführt wird. Die Leuchtbänder werden an einem Profil vor den Behältern angebracht und werden über die Ausgangskarten der SPS angesteuert.

5.3.5 Kamera

Zur Überprüfung der Montageschritte wird eine industrielle Kamera der Firma Baumer verwendet. Um zwischen verschiedenen Varianten zu unterscheiden, wird eine Kamera mit Farberkennung gewählt. Es stehen die Modelle XF700C / XF800C oder Modelle XC700C / XC800C zur Verfügung. Der Unterschied besteht laut (Baumer GmbH 2022) darin, dass die XF-Serie ein integriertes Objektiv (acht, zwölf oder 16 Millimeter) besitzt und eine geringere Auflösung bietet, während die XC-Serie mit verschiedenen Objektiven ausgestattet werden kann und mit XVGA auflösen kann. Ausserdem hat die XC-Serie einen Blitzlichtcontroller, während die XF-Serie eine weiße LED zur Objektbeleuchtung integriert hat. Die Kameras von Baumer liefern zudem die «VeriSens® Application Suite»

Konfigurationssoftware zur Bildverarbeitung und Merkmalerkennung.

Nach Beratung durch Roland Thum von Baumer wurde die XF800 mit acht Millimeter Objektiv gewählt, da diese neben Farberkennung auch noch Codeerkennung integriert hat. Die ausgewählte Kamera ist in Abbildung 5-7 ersichtlich.

Des Weiteren bietet Baumer Ethernet, Industrial Ethernet und PROFINET als Kommunikationsschnittstellen an. Die Kamera besitzt auch digitale Ein- und Ausgänge. Je nach Konfiguration können digitale Ein- und Ausgänge oder aber auch PROFINET zur Kommunikation verwendet werden. In dieser Arbeit ist letzteres der Fall.



Abbildung 5-7 XF800
(Baumer GmbH 2022)

5.3.6 Visualisierung der Arbeitsschritte

In der folgenden Tabelle ist die Auswahl zwischen Monitor mit Maus, Touchscreen oder Beamer mit Gestensteuerung und ihre Vor- und Nachteile beschrieben:

Monitor mit Maus und Tastatur	Vorteil: + Kostengünstig Nachteile: – Tastatur und Maus auf Arbeitsfläche – Wenig intuitiv – Nimmt viel Raum ein – Tastatur wird nur selten benötigt
Touchscreen	Vorteile: + Intuitiv + Kostengünstig + Platzsparend Nachteile: – Bewegungsraum eingeschränkt – Nicht mit Handschuhen bedienbar
Beamer mit Gestensteuerung	Vorteile: + Anzeige direkt auf Arbeitsfläche (Blick immer auf Produkt) + Intuitiv Nachteile: – Teuer – Wenn Arbeitsfläche verschmutzt, oder mit Material bedeckt ist, kann die Sicht auf die Arbeitsanweisung eingeschränkt sein. – Gestensteuerung schwer realisierbar

Tabelle 5-2 Auswahl der Visualisierung

Es wurde sich für den Touchscreen als Visualisierung der Arbeitsschritte entschieden, weil dies die Vorteile der zwei weiteren Möglichkeiten kombiniert und dennoch kostengünstig ist. An einem fünfgelenkigen Arm wird der Monitor angebracht. So kann aus ergonomischer Sicht jede Arbeitskraft seine Wunschposition für den Monitor selbst einstellen. Es wurde ein Multi-Touchscreen des Unternehmens «Dell» ausgewählt, da dieser preisgünstig ist und eine VESA-Kompatibilität aufweist, sodass er am Gelenkarm angebracht werden kann (Dell Touchscreen 2022).

5.3.7 Turck RFID-Gateway und Lese- und Schreibkopf

Damit dieselben Warenträger wie in der HLF verwendet werden können, siehe Abbildung 5-8, wurde dasselbe Lese- und Schreibgerät (RFID TB-M18-H1147) von dem Unternehmen Turck ausgewählt.



Abbildung 5-8 Warenträger
(Ostschweizer Fachhochschule 2022)

Um dieses Gerät vom Laufzeitsystem auf dem Raspberry Pi anzusteuern, benötigt es zusätzlich ein Interface für das PROFINET Bussystem. Das Interface ist ein Gateway BL20-E-GW-EN welches ein Modul für zwei RFID Lese- und Schreibköpfe (2RFID-Sensoren) angehängt hat.

Dadurch kann nahtlos zwischen Raspberry Pi und dem RFID-System kommuniziert werden.



Abbildung 5-9 RFID-Gateway

5.4 3D-Druckteile

Damit der Warenträger, siehe Abbildung 5-8, einen fixen Platz auf der Arbeitsfläche hat, wurden mehrere Lagerhalterungen und eine Montagehalterung hergestellt. Für die Konstruktion der Halterungen wurde die CAD-Software Creo verwendet. Mit dieser Software konnten die erforderlichen technischen Zeichnungen und 3D-Modelle erstellt werden.

Anschliessend wurden die unterschiedlichen Halterungen mithilfe von 3D-Druckern, speziell dem Ultimaker 3 und Ultimaker 5, hergestellt. Diese 3D-Drucker ermöglichen eine präzise und hochwertige Produktion der Teile. Durch den Einsatz dieser modernen Technologie konnten massgeschneiderte Halterungen mit hoher Präzision und Qualität speziell für die gestellten Anforderungen realisiert werden.

5.4.1 Montagehalterung

Durch die feste Installation der Baumerkamera oberhalb der Arbeitsfläche und das damit verbundene kontinuierliche Aufnehmen von Bildern aus dieser Position musste eine Montagehalterung darunter angebracht werden. Dadurch wird sichergestellt, dass der Montageprozess stets an derselben Stelle stattfindet und die Kamera zur Merkmalsprüfung optimal ausgerichtet ist. Bei der Konstruktion der Halterung wurde besonders darauf geachtet, dass ein minimales Spiel vorhanden ist. Dadurch wird gewährleistet, dass der Warenträger fest und stabil in der Halterung sitzt, ohne zu wackeln. Oben an der Halterung wurde ein Auslass für den Taster vorgesehen, um eine einfache Bedienung zu ermöglichen. In der Mitte der Halterung wurde ein Loch für den RFID-Lesekopf vorgesehen. Die Befestigung der Halterung wurde mit vier M4-Holzschrauben direkt in die Tischplatte realisiert.

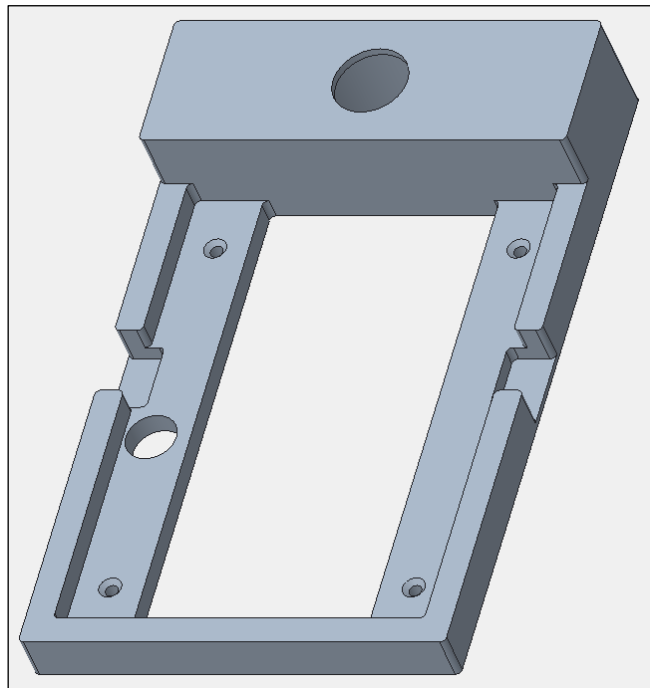


Abbildung 5-10 Montagehalterung

5.4.2 Lagerhalterung

Damit eine Montagestrasse wie in der Industrie simuliert werden kann, wurde auf dem Tisch ein Wareneingang und ein Warenausgang definiert. An diesen Plätzen sind jeweils zwei Halterungen montiert. Diese Lagerhalterungen bestehen im Wesentlichen aus denselben Abmessungen wie die Montagehalterung einfach ohne Aussparungen von Taster und Lesekopf. Die Halterungen wurden mit zwei M8 Schrauben und Nutensteinen am Aluprofil befestigt.

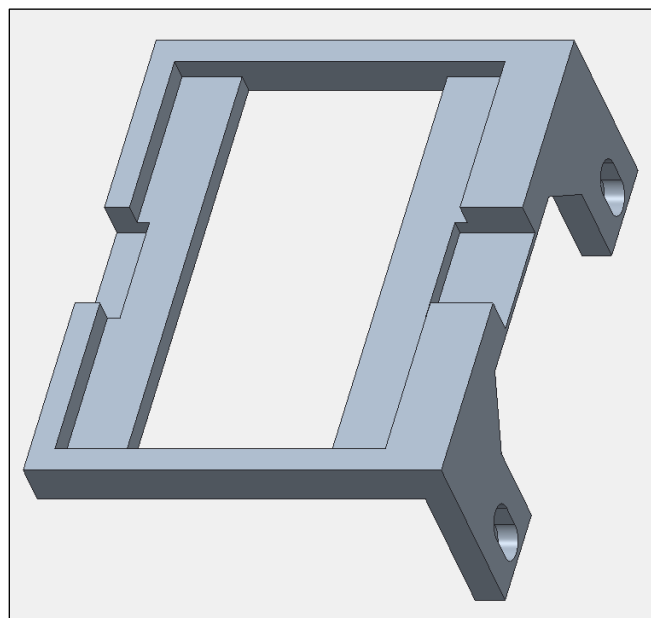


Abbildung 5-11 Lagerhalterung

5.4.3 Reflektorprofil und Stopperstift

Damit die Reflektoren der Reflexionslichtschranken korrekt montiert werden konnten, wurden Dreieckprofile ausgedruckt. In diese wurden zwei M4 Gewinde eingepresst damit der Reflektor festgeschraubt werden kann. Die Profile wurden unterhalb der Lichtschranken auf der Ablage festgeklebt.

Weil das Festdrücken der Gummistopper auf die Unterschale als sehr mühsam aufgefallen ist, wurde ein Stift als Hilfsmittel erstellt, womit die Stopper besser in die vorgesehenen Löcher eingedrückt werden können. Der Stopperstift kann aus einem Behälter neben den Stoppern entnommen werden.

5.5 Flow-Chart

Der Prozess-Ablauf wird in einem Flow-Chart visualisiert. In Abbildung 5-12 und Abbildung 5-13 auf den folgenden zwei Seiten ist ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt während des Prozessablaufs die Mitarbeiterunterstützung stattfinden soll und welche Sensoren und Betriebsmittel dazu verwendet werden. Um das Flow-Chart kompakter zu halten, wurde unter anderem die Visualisierung des aktuellen Arbeitsschrittes vernachlässigt. Eine ausführliche Beschreibung der Montage kann im Anhang A betrachtet werden.

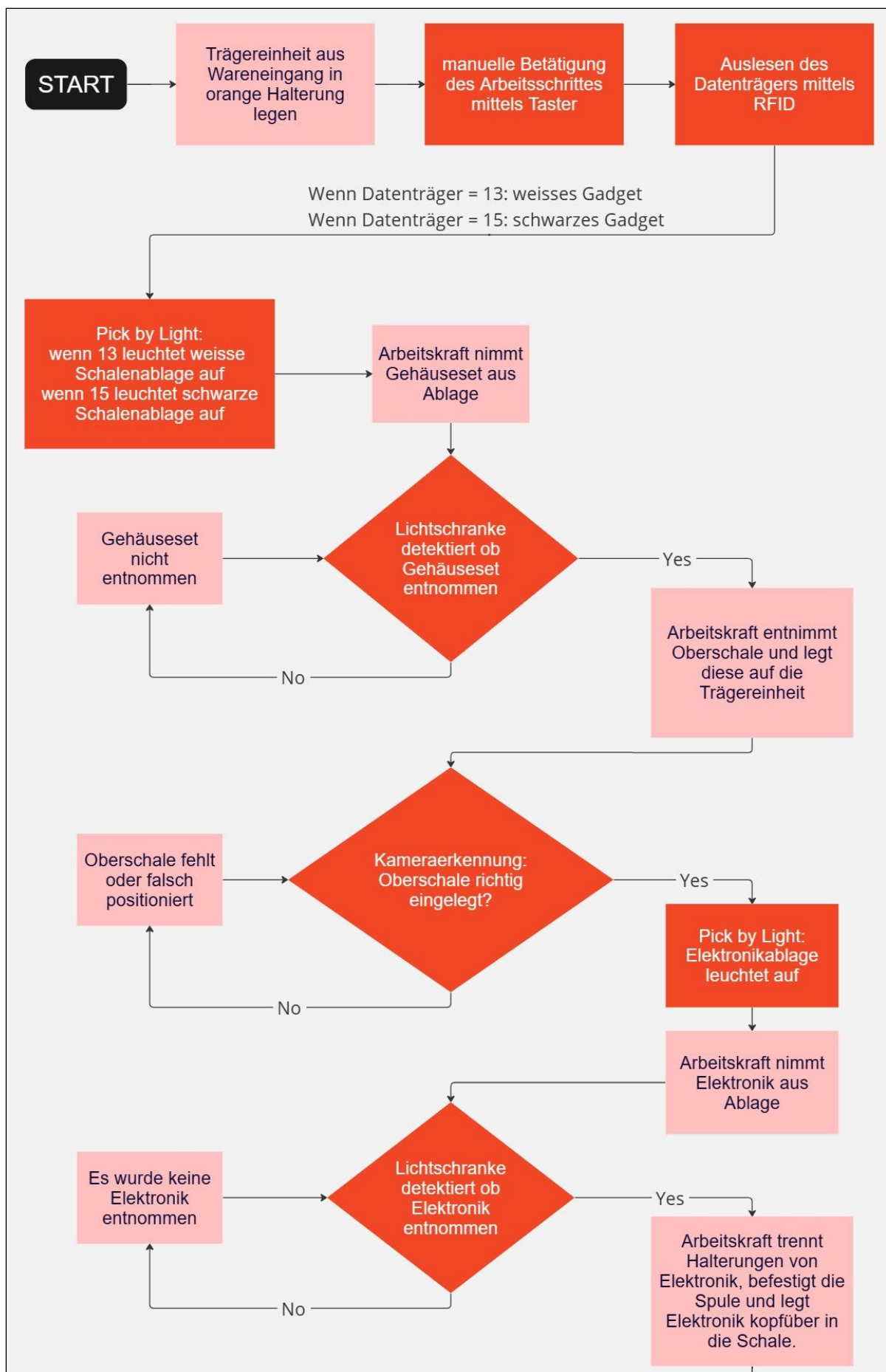


Abbildung 5-12 Flowchart 1

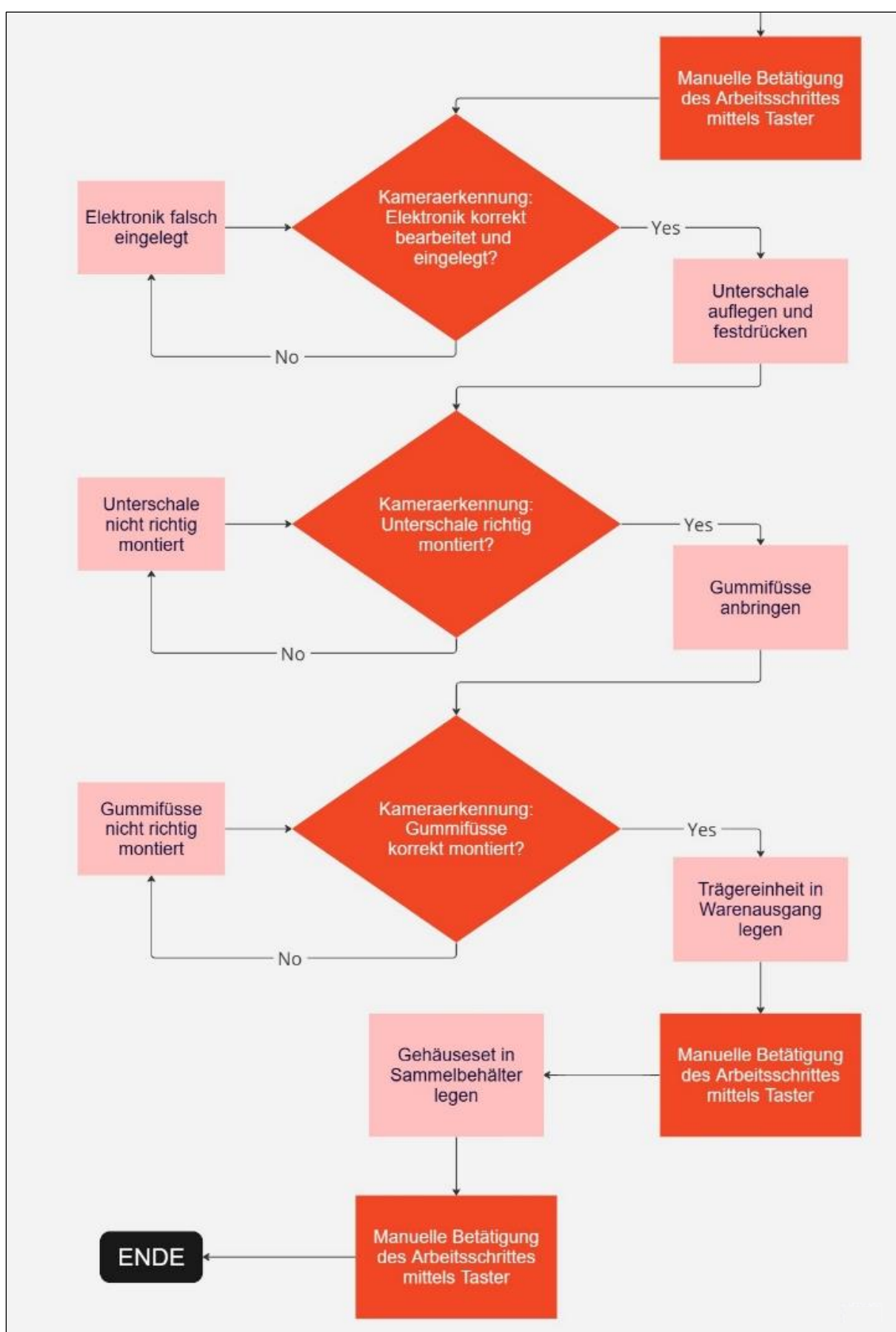


Abbildung 5-13 Flowchart 2

5.6 Stückliste

In der Stückliste im Anhang C sind alle am Arbeitstisch verwendeten Komponenten mit Hersteller und Preis zusammengefasst. Das gesamte System lässt sich für unter CHF 15'000,- aufbauen. Die Kosten sind im Vergleich zu anderen Herstellern um circa den Faktor vier geringer. Würde man das Kamera-Prüfsystem mit beispielsweise OpenCV selbst umsetzen, oder einfache vierkant ALU-Profile für den Aufbau nutzen, könnte der Preis sicherlich weiter gesenkt werden.

5.7 Software

In Abbildung 5-14 ist die Software-Kommunikation zwischen den verwendeten Programmen dargestellt. Das CODESYS Laufzeitsystem steuert als zentrales Element die Kommunikation. Der integrierte OPC UA Server dient als Austausch zwischen Soft-SPS und Node-RED. Die Variablen werden in Node-RED zur Verarbeitung der Lagerlogistik genutzt.

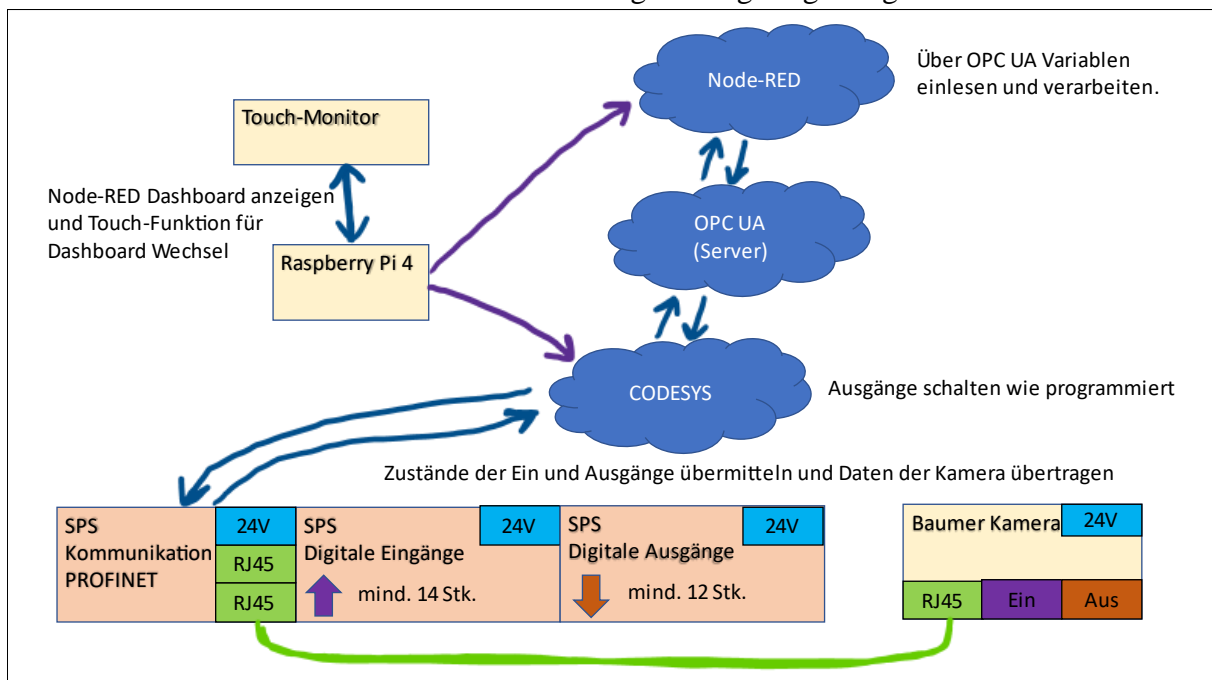


Abbildung 5-14 Softwareaufbau

5.8 CODESYS

Der Programmcode konnte mit CODESYS V3.5 und mit der Programmiersprache «strukturiertes Text - ST» in der SPS Programmierumgebung geschrieben werden. Damit auf dem Raspberry ein Laufzeitsystem installiert werden kann, musste das Package «CODESYS Control for Raspberry Pi SL» installiert werden. Im Programm wurde dazu ein Zustandsautomat erstellt.

Die Kommunikation zwischen CODESYS und Node-RED erfolgt über OPC UA. Dazu muss der Applikation im CODESYS Projekt die Symbolkonfiguration hinzugefügt werden. In der Symbolkonfiguration werden, die unter OPC UA zur Freigabe bestimmten Variablen ausgewählt und die Zugriffsrechte festgelegt.

In der Abbildung 5-15 ist eine beispielhafte Anwendung von OPC UA in Node-RED dargestellt. Dazu sind ein «Inject-node», ein «OPC UA Client-node» und ein «text-input-node» notwendig. Der Inject-node gibt die gewünschte Variable vor, welche vom OPC UA

Client gelesen und anschliessend in einem Textfeld dargestellt wird. Da es sich bei der Variable «msg» um einen WideString handelt kann dieser Fliesstext am Dashboard darstellen.

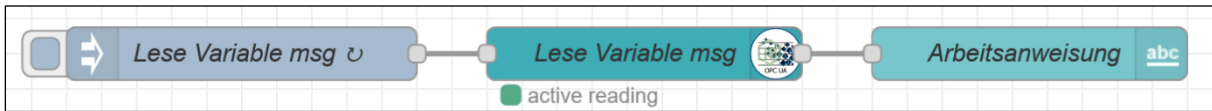


Abbildung 5-15 Lesen einer Variable in Node-RED über OPC UA

Mit dem Inject-node wird alle hundert Millisekunden eine Information mit dem Inhalt der Node-ID als «msg.topic» versendet. Ist die Node-ID im Allgemeinen unbekannt, kann diese mit dem UaExpert identifiziert werden. Der Inhalt des Inject-node wird in Abbildung 5-16 genauer dargestellt.

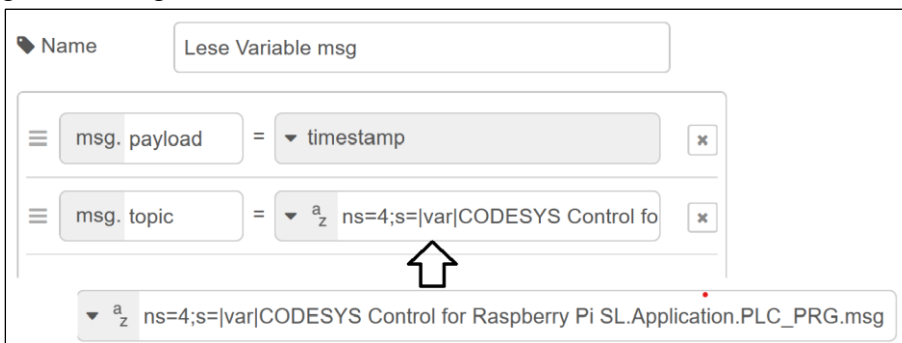


Abbildung 5-16 Inject-node

Es wird ein String versendet, der den Inhalt der Variable «msg» im CODESYS Projekt im Hauptprogramm enthält.

Der nachfolgende OPC UA Client benötigt als Zieladresse die IP-Adresse des Host und den Port. Da der OPC UA Server auf dem CODESYS-Laufzeitsystem des Raspberry Pi läuft, wird «localhost» verwendet. Zudem wird für die Kommunikation über den OPC-Standard-Port «4840» durchgeführt. Als Aktion soll ein Lesezugriff stattfinden.

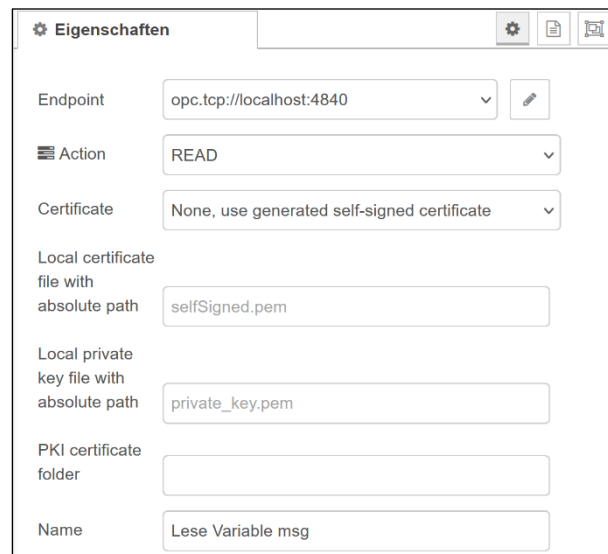


Abbildung 5-17 OPC UA Client

5.8.1 Zustandsautomat

Im Hauptprogramm «PLC_PRG» wurde ein Zustandsautomat mit einer Case Anweisung programmiert. Dieser ist nach dem Flowchart in Kapitel 5.5 aufgebaut.

Für die Implementierung des RFID wurde ein weiterer Zustandsautomat erstellt. Dieser orientiert sich an einem Beispiel, das von der Herstellerfirma des RFID's vorgeschlagen wurde.

Der in Tabelle 5-3 zusammengefasste Zustandsautomat erklärt die Bezeichnung der Zustandsnummern für die verwendeten Arbeitsschritte. Zustandsnummern ab hundert beziehen sich auf das weisse OST-Gadget. Zustandsnummern ab zweihundert auf das schwarze OST-Gadget. Einige Zustände, wie beispielsweise die Verarbeitung der Elektronik

werden für das weiße und schwarze OST-Gadget verwendet. Aus der Tabelle ist zudem ersichtlich, wie die Durchführung des Arbeitsschrittes kontrolliert wird und durch welches Ereignis der Zustandswechsel erfolgt.

Zustand	Informationstext	Weiter durch	Nächster Zustand	Kontrollorgan
1	Carrier Vorbereiten	Taster	2	-
2	-	Automatisch	100/200	RFID
100	Weisse Oberschale entnehmen	Automatisch	101	LS3 und/oder LS4
101	Weisse Oberschale einlegen	Pass Kamera	102	Kameraprüfung Job1
102	Elektronik entnehmen	Automatisch	103	LS1 und/oder LS2
103	Elektronik 'Füsse' entfernen	Taster	104	Arbeiter
104	Elektronik Spule festkleben	Taster	105	Arbeiter
105	Elektronik ist vorbereitet	Taster	106/206	Arbeiter
106	Elektronik in Oberschale einlegen	Pass Kamera	108	Kameraprüfung Job2
108	Weisse Unterschale aufsetzen und festdrücken	Pass Kamera	109	Kameraprüfung Job3
109	3 Stopper entnehmen	Automatisch	110/210	LS7
110	Stopper montieren	Pass Kamera	111	Kameraprüfung Job4
111	Carrier in Warenausgang	Taster	112	Arbeiter
112	Blister in Sammelbehälter legen	Taster	1	Arbeiter
200	Schwarzes Gehäuseset entnehmen	Automatisch	201	LS5 und/oder LS6
201	Schwarze Oberschale einlegen	Pass Kamera	102	Kameraprüfung Job5
206	Elektronik in Oberschale einlegen	Pass Kamera	208	Kameraprüfung Job6
208	Schwarze Unterschale aufsetzen und festdrücken	Pass Kamera	109	Kameraprüfung Job7
210	Stopper montieren	Pass Kamera	210	Kameraprüfung Job8
211	Carrier in Warenausgang	Taster	112	Arbeiter

Tabelle 5-3 Arbeitsanweisungen des Zustandsautomaten

5.8.2 Funktionsbausteine Allgemein

Damit Codeeinheiten leicht wiederverwendbar sind werden Funktionsbausteine verwendet.

Funktionsbausteine in CODESYS bestehen aus einem definierten Eingangs- und Ausgangsverhalten sowie einem internen Programmablauf. Sie können Variablen enthalten, auf die im Baustein zugegriffen werden kann, sowie Parameter, die beim Aufruf des Funktionsbausteins übergeben werden können. In den folgende Unterkapiteln werden die erstellten Funktionsbausteine aufgezeigt. In Abbildung 5-18 sind die selbst erstellten Funktionsbausteine aufgezeigt.

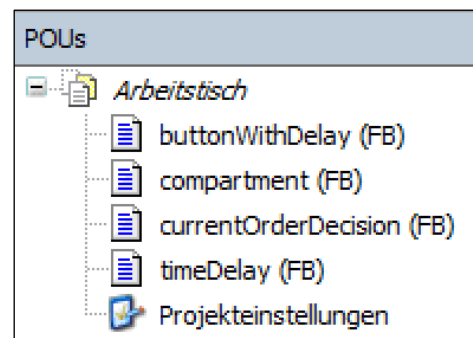


Abbildung 5-18 Funktionsbausteine

5.8.3 Funktionsbaustein «compartment»

Der Funktionsbaustein «compartment» wird verwendet, um Instanzen der Abteile des Pick-by-Light Systems zu erstellen. Der Arbeitstisch wurde mit vier verschiedenen Abteilen konfiguriert. Für jedes Abteil wurde eine entsprechende Instanz erstellt, die in Abbildung 5-19 ersichtlich sind.

```

compElectronic      : compartment;      //Abteil-Elektronik
compWhiteCase       : compartment;      //Abteil-Weisse-Gehäuseset
compBlackCase       : compartment;      //Abteil-Schwarze-Gehäuseset
compStopper         : compartment;      //Abteil-Stopper

```

Abbildung 5-19 Instanzen «compartment»

Im Funktionsbaustein werden zwei Lichtschranken als Eingänge und eine Leuchteinheit, sowie eine Variable «teil entnommen» als Ausgänge definiert.

Wenn keine der Lichtschranke eine positive Flanke erkennt, ist die Leuchteinheit eingeschaltet. Sobald eine der Lichtschranken eine positive Flanke detektiert, wird angenommen, dass ein Teil entnommen wurde und die Leuchteinheit wird, deaktiviert.

```

1  FUNCTION_BLOCK compartment
2  VAR_INPUT
3      peBarrier1  : BOOL;
4      peBarrier2  : BOOL;
5  END_VAR
6  VAR_OUTPUT
7      lightUnit   : BOOL;
8      partRemoved : BOOL;
9  END_VAR
10 VAR
11 END_VAR

```

```

1  IF (NOT peBarrier1) OR (NOT peBarrier2) THEN
2      partRemoved := FALSE;
3      lightUnit   := TRUE;
4  END_IF
5
6  IF peBarrier1 OR peBarrier2 THEN
7      partRemoved := TRUE;
8      lightUnit   := FALSE;
9  END_IF
10

```

Abbildung 5-20 Funktionsbaustein «compartment»

5.8.4 Funktionsbaustein «buttonWithDelay»

Der Funktionsbaustein «buttonWithDelay» wird verwendet, um die Eingabe des Tasters zu verzögern und anschliessend den Zustand des Zustandsautomaten zu verändern.

```

1  FUNCTION_BLOCK buttonWithDelay
2  VAR_INPUT
3      button          : BOOL;
4      timeDelay       : TIME;
5      currentState    : INT;
6      nextState       : INT;
7  END_VAR
8  VAR_OUTPUT
9      buttonPressed   : BOOL;
10     state           : INT;
11 END_VAR
12 VAR
13     delay           : TON;
14 END_VAR

1  delay(IN := buttonPressed, PT:= timeDelay);
2
3  IF button THEN
4      buttonPressed := TRUE; PLC_PRG.lightOn();
5  END_IF;
6
7  IF delay.Q THEN
8      delay.IN := FALSE;
9      buttonPressed := FALSE; PLC_PRG.lightOff();
10     state := nextState;
11 ELSE
12     state := currentState;
13 END_IF
14
```

Abbildung 5-21 Funktionsbaustein «buttonWithDelay»

Als Eingänge werden der Taster des Arbeitstisches, eine Zeit, die der Verzögerung entspricht, sowie der aktuelle Zustand und der nächste Zustand benötigt. Als Ausgänge werden das Signal des Tasters sowie die Zustandsnummer des Zustandsautomaten definiert. Intern wird ein Timer-On-Delay verwendet.

Wenn der Taster gedrückt wurde, wird eine Methode aufgerufen, welche die Lichteinheiten der geeigneten Pick-by-Light Ablagen aktivieren. Nach Ablauf der Verzögerung wird die Methode «lightOff» aufgerufen, die die Lichteinheiten wieder deaktiviert und die Zustandsnummer verändert.

5.8.5 Funktionsbaustein «currentOrderDecision»

Der Funktionsbaustein «currentOrderDecision» wird verwendet, um zwischen zwei verschiedenen Aufträgen zu unterscheiden.

```

1  FUNCTION_BLOCK currentOrderDecision
2  VAR_INPUT
3      currentOrder      : INT;
4      optOneCurrentOrder : INT;
5      optTwoCurrentOrder : INT;
6      optOneNextState   : INT;
7      optTwoNextState   : INT;
8  END_VAR
9  VAR_OUTPUT
10     nextState         : INT;
11 END_VAR
12 VAR
13 END_VAR

1  IF currentOrder = optOneCurrentOrder THEN
2     nextState := optOneNextState;
3  ELSIF currentOrder = optTwoCurrentOrder THEN
4     nextState := optTwoNextState;
5  ELSE
6     nextState := 0;
7  END_IF
8

```

Abbildung 5-22 Funktionsbaustein «currentOrderDecision»

Als Eingänge werden der aktuelle Auftrag, sowie je zwei Möglichkeiten um diesen zu Überprüfen und zwei Möglichkeiten für den nachfolgenden Zustand definiert.

Es wird auf Gleichheit des aktuellen Auftrags mit den zwei Möglichkeiten der Auftragsnummer geprüft und folgend die festgelegte Zustandsnummer zugewiesen.

5.8.6 Funktionsbaustein «timeDelay»

```

1  FUNCTION_BLOCK timeDelay
2  VAR_INPUT
3      input      : BOOL;
4      duration   : TIME;
5  END_VAR
6  VAR_OUTPUT
7      output     : BOOL;
8      marker_set : BOOL;
9  END_VAR
10 VAR
11     delay      : TON;
12 END_VAR

1  delay(IN := marker_set, PT:= duration);
2
3  IF input THEN
4     marker_set := TRUE;
5  END_IF
6
7  IF delay.Q THEN
8     delay.IN := FALSE;
9     marker_set := FALSE;
10    output := FALSE;
11 END_IF

```

Abbildung 5-23 Funktionsbaustein «timeDelay»

Der Funktionsbaustein «timeDelay» wird verwendet, um nach Auftreten eines digitalen Eingangssignals eine Zeitverzögerung zu aktivieren. Eine Instanz des «timeDelay» Funktionsbausteins benötigt als Eingang ein digitales Signal, wie beispielsweise der Taster, oder die erfolgreiche Merkmalserkennung der Kameraüberprüfung. Sobald dies gegeben ist, wird der interne Timer-On-Delay gestartet und gibt nach der im zweiten Eingang definierten Zeit, den Ausgang frei.

5.9 Node-RED Dashboard

Damit Dashboards zur Arbeitsvisualisierung ohne komplizierte Programmierung nach dem Baukastenprinzip erstellt werden können, fiel der Entscheid schon früh auf das Programmier-tool Node-RED. Node-RED unterstützt die Verarbeitung von Echtzeitdaten, was für die Arbeitsvisualisierung von entscheidender Bedeutung ist. Weiter ist es skalierbar und unterstützt verschiedene Datenprotokolle und Schnittstellen. Der in Abschnitt 5.5 erstellte Workflow kann mit diesem Tool leicht adaptiert werden. Am Monitor wird durch Node-RED unter anderem die Arbeitsanweisung, der Lagerstand von Komponenten, die aktuelle Variante des Produktes, Zählerstände von bereits produzierten Produkten und die Anzahl noch zu abarbeitenden Produkte visualisiert.

Das User Interface des Arbeitstisches besteht aus einem Node-RED Dashboard. Dieses ist in mehrere Tabs unterteilt. Das Hauptdashboard «Arbeitstisch» wird nach dem Einschalten des Arbeitstisches automatisch auf dem Touchscreen erscheinen. Dieses zeigt, wie in Abbildung 5-24 ersichtlich, für den aktuellen Zustand des Zustandsautomaten die entsprechende Arbeitsanweisung in Form eines Bildes. Die Bilder sind auf dem Raspberry Pi hinterlegt und werden jeweils durch den «ui-media-node» am Dashboard visualisiert. Zur Arbeitsvisualisierung gehört ein Informationstext, sowie ein Icon des gerade aktiven «Kontrollorgans». Als Kontrollorgan stehen die Lichtschranken, der Taster und die Kamera zur Verfügung.

Als Feedback, ob der Taster betätigt wurde, wird ein grüner Haken rechts neben dem Bild des Kontrollorgans eingeblendet. Wenn die Kameraprüfung aktiv ist, gibt das Dashboard rechts vom Kontrollorgan-Icon das Feedback «wird geprüft».

Im rechten unteren Bereich wurden Buttons platziert, die bei Betätigung eine Umschaltung mittels «ui-control» Node zwischen den verfügbaren Tabs durchführen.

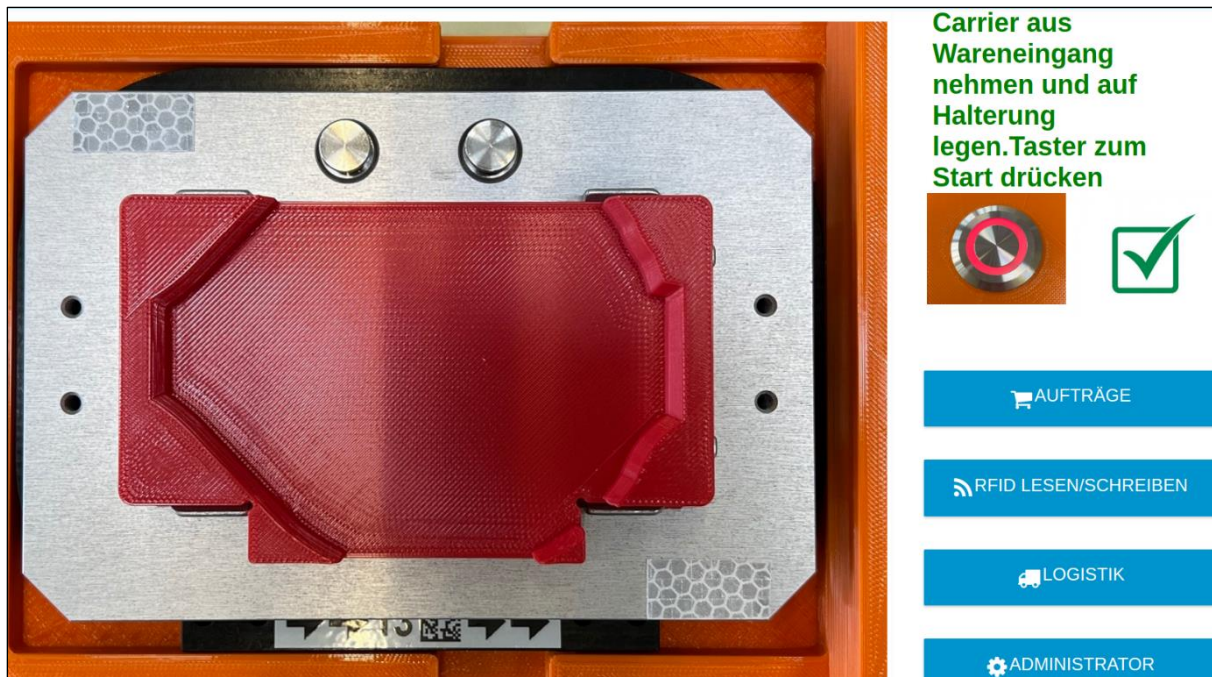


Abbildung 5-24 Arbeitstisch-Dashboard

Vom «Arbeitsstisch» kann mittels Buttons zu den folgenden Tabs gewechselt werden:

- «Aufträge»
- «Logistik»
- «Administrator» (mit Umweg über «Passwort»)
- «RFID»

5.9.1 Tab «Aufträge»

Im Tab «Aufträge» sind die Anzahl noch abzuarbeitenden weisser und schwarzer OST-Gadgets visualisiert.

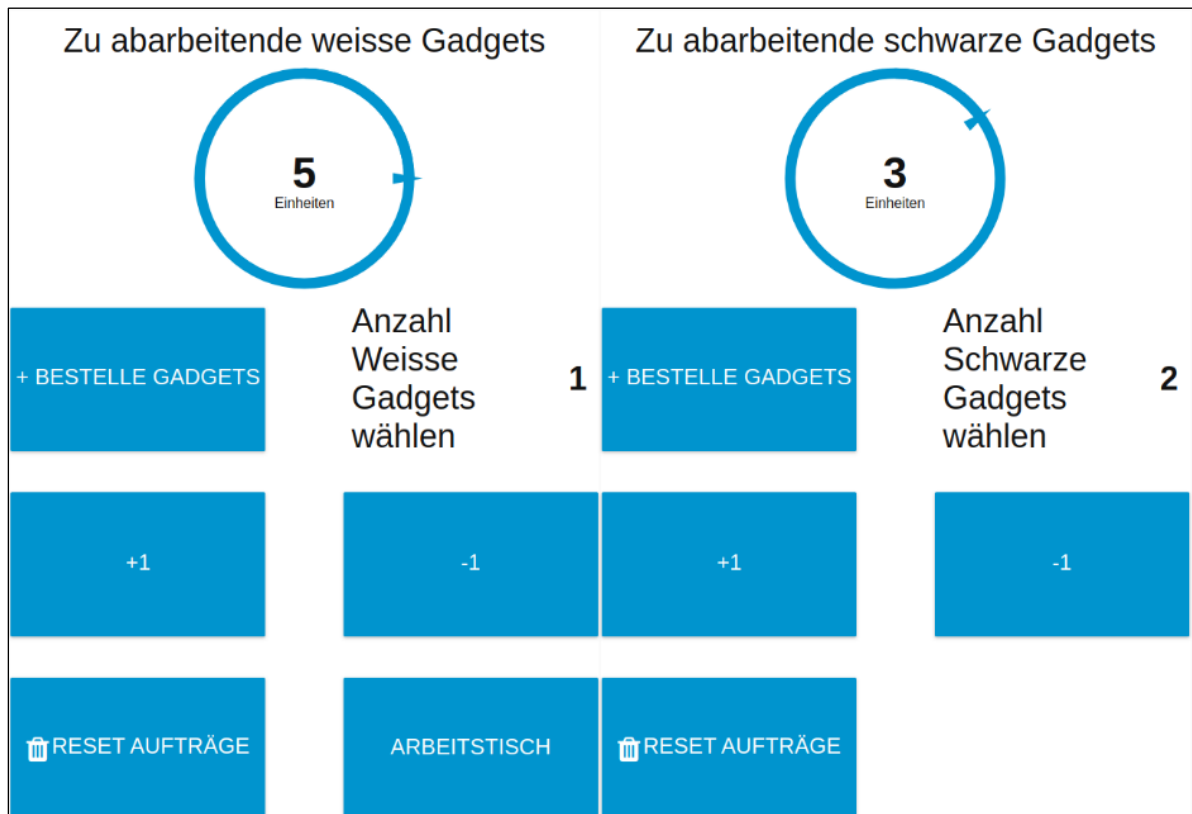


Abbildung 5-25 Aufträge-Dashboard

Mittels inkrement/dekrement Button lässt sich die Anzahl zu produzierende OST-Gadgets eines Typs als neuer Auftrag erstellen. Nach drücken des Bestellen-Buttons, wird die Zählerleiste um die in Anzahl OST-Gadgets gewählte Menge erhöht. Die Aufträge können mit dem Reset-Button zurückgesetzt werden.

5.9.2 Tab «Logistik»

Der Tab «Logistik» beinhaltet, die momentanen Lagerstände der Ablagen des Arbeitstisches. Dieser wird fortlaufend während der Montage eines OST-Gadgets angepasst. Aktuell sind 20 Einheiten Elektronik, je fünf paar Ober-/Unterschalen und 60 Stopper maximal zulässig.

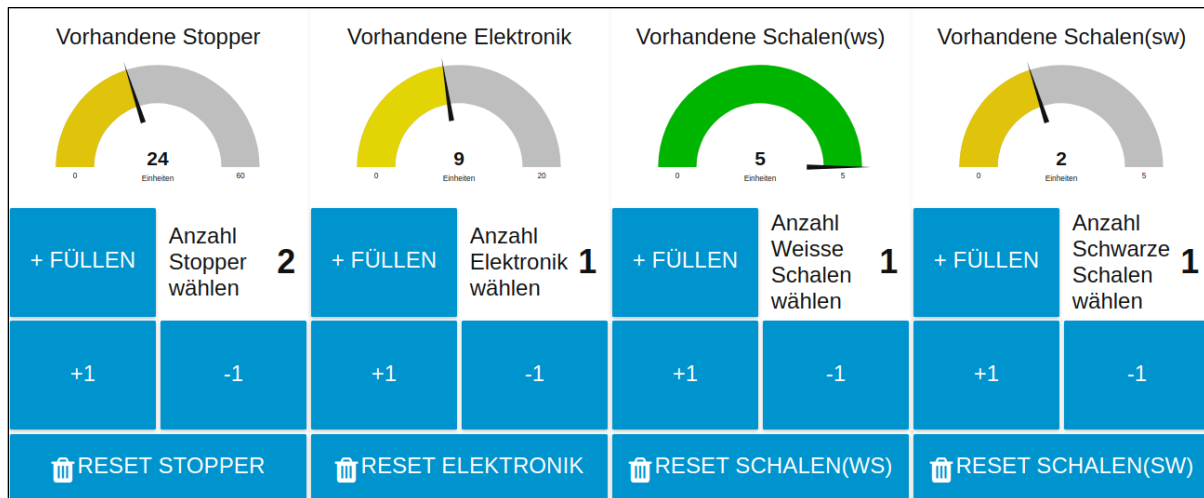


Abbildung 5-26 Logistik-Dashboard

Der Zählerstand kann ähnlich wie beim Aufträge-Dashboard über Buttons verändert werden.

5.9.3 Tab «Passwort»

Der «Passwort» Tab wird dazu benötigt, um den Administratorbereich mit einem Passwort zu schützen. Erst werden vier aufeinanderfolgende Eingaben mit einem Codewort verglichen. Ist die Eingabe korrekt, so wird dies unter Ausgabe visualisiert. Nach der erfolgreichen Codeeingabe wird auf den Tab «Administrator» umgeschaltet.

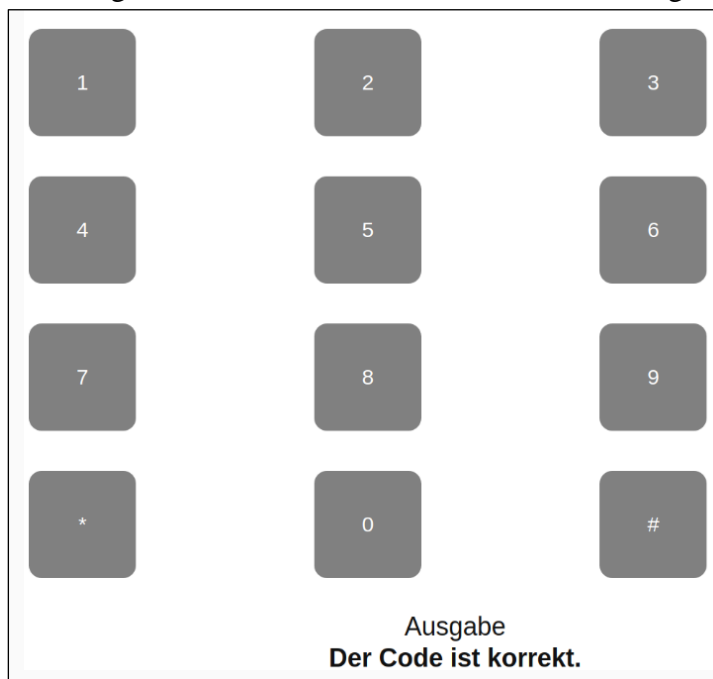


Abbildung 5-27 Passwort-Dashboard

5.9.4 Tab «Administrator»

Im Administrationsbereich sind die Zustände der digitalen Ein- und Ausgänge des Buskopplers visualisiert. Diese lassen sich, falls Wartungen nötig sind, abonnieren, damit der aktuelle Zustand angezeigt wird. Zudem befinden sich Systeminformationen des Raspberry Pi sowie Buttons für Neustart und Herunterfahren des Systems und das Verlassen des Dashboards auf diesem Tab. Alle vorhandenen Tabs können aktiviert/deaktiviert werden, um sicherzustellen, dass sie nur über die Buttons erreichbar sind.

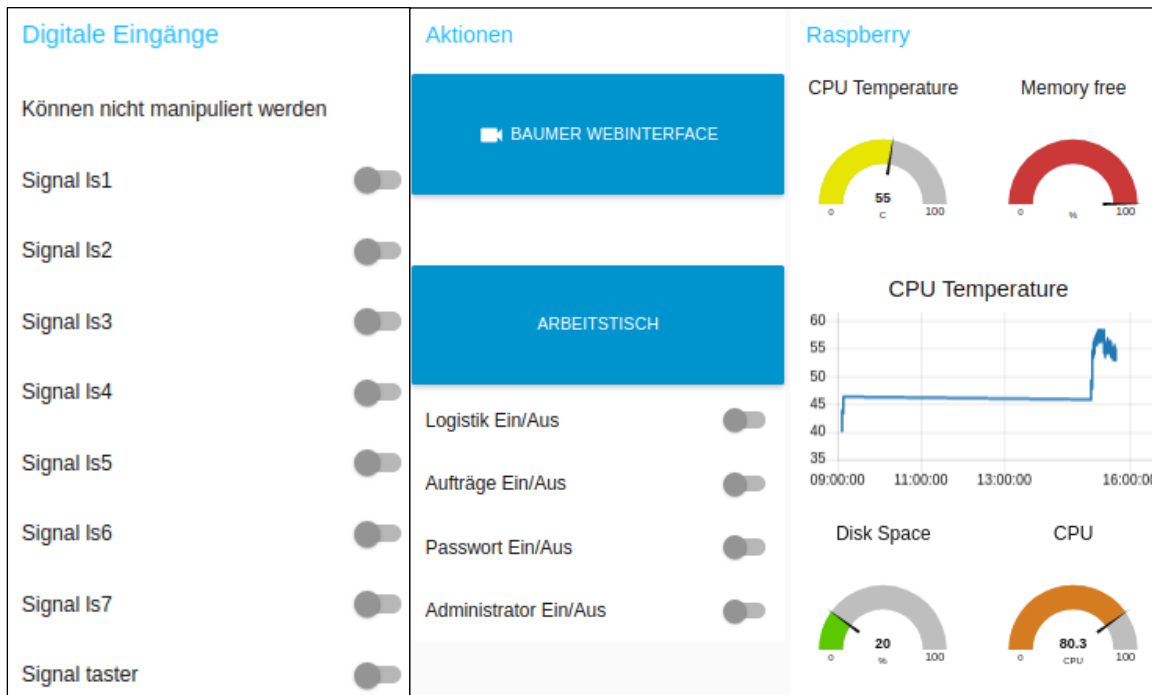


Abbildung 5-28 Administrator-Dashboard

5.9.5 Tab «RFID»

Der Tab «RFID» ist als User Interface zur Benutzung des RFID-Sensors konzipiert. Es lassen sich der nächste abzuarbeitende Auftrag vom RFID-Chip lesen. Der abzuarbeitende Auftrag kann auch mittels Schreib-Buttons geändert werden.

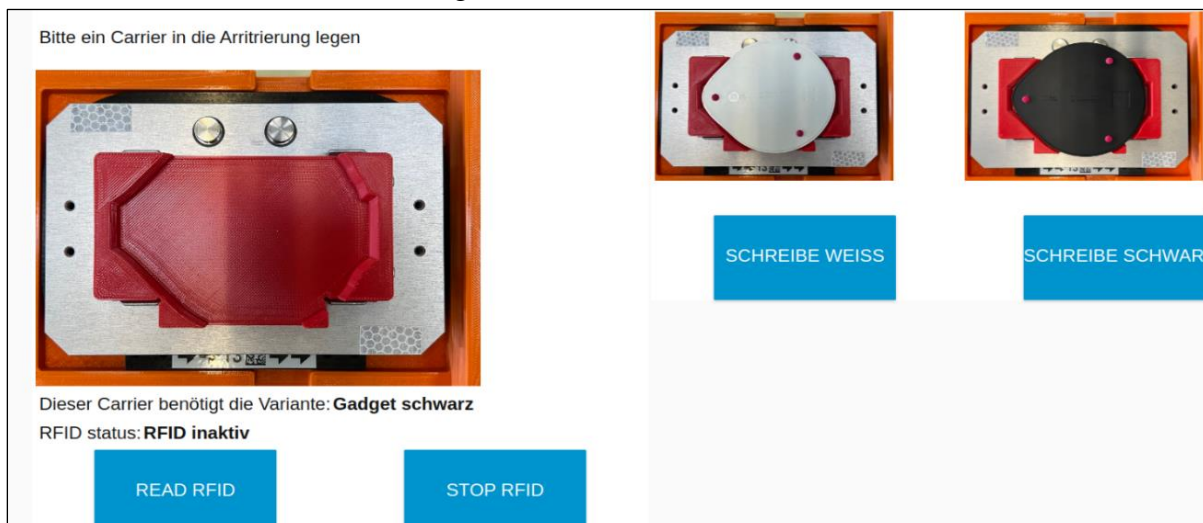


Abbildung 5-29 RFID-Dashboard

5.9.6 Experten und Anfänger-Modus

Durch Drücken auf die Toolleiste des Dashboards öffnen sich die freigegebenen Tabs. Dabei kann der Tab «Modus» geöffnet werden. Darin ist es möglich zwischen Anfänger und Experten Modus auszuwählen. Standardmässig ist der Anfängermodus eingestellt. Im Experten-Modus werden einige Arbeitsschritte übersprungen.

5.10 Qualitätskontrolle mit «VeriSens»

Mit der verwendeten Kamera XF800 von Baumer kann eine bildbasierte Qualitätskontrolle durchgeführt werden. Dieser Sensor ist ein komplettes Bildverarbeitungssystem in einem kompakten und industrietauglichen Gehäuse. Mit der im Kauf inbegriffenen Konfigurationssoftware «VeriSens® Application Suite» kann die Kamera am PC konfiguriert werden. Zur Verfügung stehen 23 verschiedenen Merkmalsprüfungen, die sehr benutzerfreundlich die Prüfung der Kamera parametrisieren lässt. Für den Montageprozess eines OST-Gadgets wurden acht Qualitätskontrollen angelegt. In Abbildung 5-30 ist eine beispielhafte Kameraprüfung mit mehreren Merkmalen dargestellt.



Abbildung 5-30 Kameraprüfung mit VeriSens

Die acht Qualitätskontrollen:

- J1_WhiteUpperShell
Die erste Kontrolle erfasst die korrekte Position der Oberschale im Carrier. Der Montageprozess wird nur fortgesetzt, wenn die Oberschale mittig auf dem Carrier platziert wird. Als Vorlage gilt ein Beispielbild, das auf dem Dashboard gezeigt wird.
- J2_WhiteElectronic
Bei dieser Kontrolle werden die Kanten der Elektronik gezählt, die Winkel der Elektronik überprüft und die Farbe bestimmt. So wird auch geprüft ob die vorherigen Schritte wie das Abbrechen der Füße oder das Aufkleben der Spule korrekt vollzogen wurden. Die Oberschale wurde so konzipiert, dass die Elektronik nur auf eine Art

richtig in die Schale eingelegt werden kann. Sonst würde die Spule an Stiften anstehen und die Unterschale lässt sich nicht mehr anbringen.

- J3_WhiteLowerShell

Hier wird mittels Konturerkennung und Farbbestimmung kontrolliert, ob die Unterschale richtig aufgesetzt und festgedrückt ist.

- J4_WhiteStopper

Diese Kontrolle ist die aufwendigste. Hier werden für jeden der drei Stopper drei Merkmale überprüft. Die Merkmale sind jeweils die Kontrolle des Kontrasts, der Farbbestimmung und der Kontur. Der Arbeitsschritt gilt als korrekt, wenn die Stopper ganz in die vorgesehenen Löcher eingedrückt sind.

Die vier folgenden Qualitätskontrollen sind dieselben wie J1 bis J4 für ein schwarzes OST-Gadget.

- J5_BlackUpperShell
- J6_BlackElectronic
- J7_BlackLowerShell
- J8_BlackStopper

Durch diese Kontrollen wird eine präzise und einheitliche Montage sichergestellt. Die Anzahl der Fehler wird minimiert und somit die Qualität des Endprodukts verbessert. Die Kameraerkennung findet kontinuierlich statt. Das heisst, dass jede Sekunde ein Bild gemacht wird und die Merkmalsprüfung stattfindet.

Die Kommunikation zwischen der Kamera und dem Raspberry Laufzeitsystem findet über PROFINET statt. Dementsprechend sind die digitalen Ein- und Ausgänge der Kamera zwar angeschlossen, aber nicht aktiv im Einsatz. Dies wurde so umgesetzt, weil die Verwendung von PROFINET schneller ist, als die digitalen Ein- und Ausgänge mit dem Buskoppler zu steuern.

6 Nutzerstudie und Anpassungen

Um das erstellte Mitarbeiterassistenzsystem eingehend zu evaluieren und das Nutzererlebnis genauer zu verstehen wurde eine Studie durchgeführt. Dabei wurden ausgewählte Nutzer aktiv in den Evaluierungsprozess miteinbezogen. Folgende Punkte sollen daraus ersichtlich werden:

- Bewertung der Benutzerfreundlichkeit
- Effektivitätsprüfung
- Erfassung von Feedback und Verbesserungspotenzial

Hierzu wurde ein Microsoft Forms erstellt, welches nach der Herstellung mehrerer OST-Gadgets am Mitarbeiterassistenzsystem von jedem Nutzer ausgefüllt wurde. Das Forms ist nach der System-Usability-Skala, kurz SUS, aufgebaut. Dieses Werkzeug zur Messung der Usability hat sich zu einem Industriestandard entwickelt und wurde 1986 von John Brooke publiziert (Brooke 1995). Die SUS besteht aus einem Fragebogen mit circa zehn Fragen und fünf Antwortmöglichkeiten für die Befragten; von «stimme vollkommen zu» bis «stimme überhaupt nicht zu». Die Ergebnisse der Nutzerstudie, ersichtlich in Anhang D, dienen als Grundlage für die Optimierungen, die anschliessend beschrieben sind. Sie ermöglichen es, das System gezielt zu verbessern und sicherzustellen, dass es den Anforderungen und

Erwartungen der Benutzer gerecht wird. Durch die Einbindung der Nutzer in den Evaluierungsprozess wird eine benutzerorientierte Entwicklung und kontinuierliche Verbesserung des Systems gewährleistet.

6.1 Erkenntnisse aus der Nutzerstudie

Der Fragebogen in Forms wurde in System, Bedienung, Technik, Dashboard und textbasiertem Feedback unterteilt. Zu den ersten vier Abschnitten wurden mehrere Fragen gestellt, denen wie eben beschrieben zugestimmt werden können oder nicht. Als Beispiel ist eine Frage der Nutzerstudie in Abbildung 6-1 ersichtlich. Im letzten Abschnitt des Fragebogens konnten die Nutzer in Texten schreiben, was Sie gut fanden, was Ihnen nicht gefällt und was Sie ändern würden.

1. Ich denke, dass ich an diesem Arbeitsplatz gut arbeiten könnte
Ergonomie (Arbeitshöhe, Beleuchtung, Bedienerfreundlichkeit und Bewegungsraum)

stark nicht zustimmen nicht zustimmen neutral zustimmen stark zustimmen

Abbildung 6-1 Ausschnitt aus Fragebogen

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass die Nutzer den Hauptvoraussetzungen zustimmen und das Mitarbeiterassistenzsystem benutzerfreundlich finden. Es ist nach Ihnen einfach zu bedienen und Sie fühlen sich sicher beim Erstellen der OST-Gadgets.

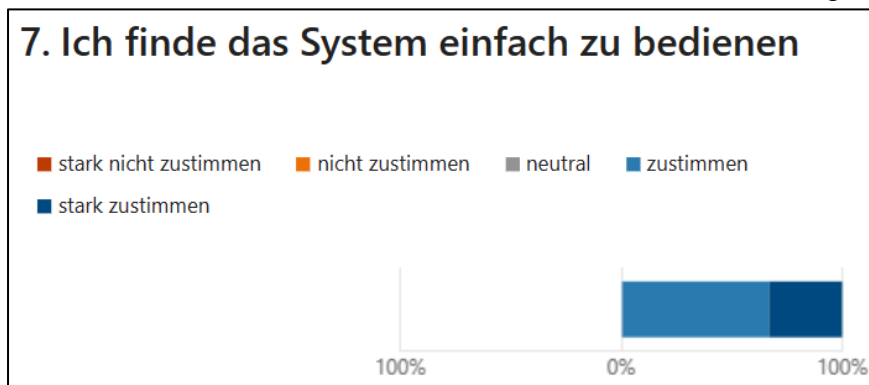


Abbildung 6-2 Antwort aus Fragebogen

Es steigert nach Ihnen die Effektivität einer Arbeitskraft und reduziert die Fehleranfälligkeit. Dieses Fazit konnte aus den ankreuzbaren Fragen gezogen werden. Besonders bedeutsam war jedoch das textbasierte Feedback, dass zu Anpassungen führte, die im darauffolgenden Unterkapitel behandelt werden.

6.2 Anpassungen aus Nutzerstudie

Während der mehrwöchigen Nutzerstudie wurden kontinuierlich Anpassungen am Mitarbeiterassistenzsystem vorgenommen. Die bedeutendsten Änderungen fanden am Dashboard «Arbeitstisch» statt. Dabei wurde das Taster-Icon des Kontrollorgans durch ein Bild des tatsächlichen Tasters am Arbeitstisch ersetzt. Diese Änderung gewährleistet eine klare Visualisierung, die auch für Laien leicht verständlich ist. Durch die visuelle Darstellung

des realen Tasters wird die Benutzererfahrung verbessert und die Bedienung des Arbeitstisches intuitiver gestaltet.

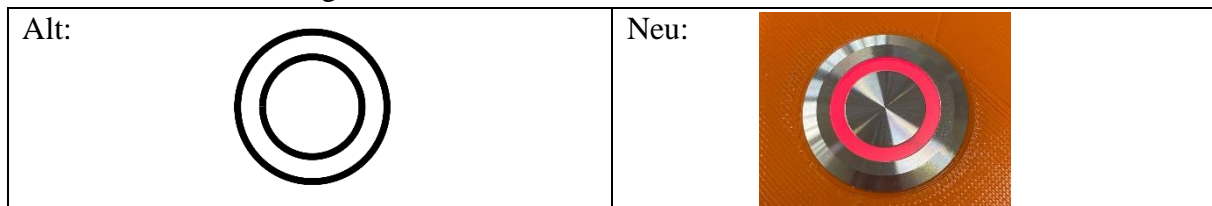


Abbildung 6-3 Beispielhafte Anpassung während Nutzerstudie

Eine weitere Verbesserung betraf die Erhöhung des Feedbacks für die Arbeitskraft. Um dies zu erreichen, wurde implementiert, dass nach dem Drücken des Tasters oder der erfolgreichen Merkmalsüberprüfung durch die Kamera, die Pick-by-Light-Beleuchtung für einen kurzen Moment aufleuchtet. Dadurch erhält die Arbeitskraft eine visuelle Bestätigung, dass der Montageschritt erfolgreich abgeschlossen wurde.

Es stellte sich weiter heraus, dass einige Versuchspersonen Informationen der jeweiligen Arbeitsschritte überlesen hatten. Daher wurde gewünscht, den Informationstext zu optimieren. Dieser wurde überwiegend gekürzt, um nur die notwendigen Informationen darzustellen. Selbstverständlich wurde auch auf die Schriftgrösse geachtet, um sicherzustellen, dass sie ausreichend gross ist.

Des Weiteren wurden Beschriftungen auf den Warenträgern und den Gehäusesets angebracht, um die jeweiligen Objekte auch für Laien klar zu kennzeichnen. Dadurch wird eine eindeutige Identifizierung erleichtert. Zudem wurde eine verbesserte Platzierung der Beschriftungen am Waren Ein- und Ausgang vorgenommen, um eine leichtere Lesbarkeit zu gewährleisten.



Abbildung 6-4 Gehäuseset mit Beschriftung

Durch Einfügen von zusätzlichen Arbeitsschritten wie beispielsweise das Entsorgen des Blisters in den Mülleimer, konnten auch die letzten Unklarheiten der Nutzer beseitigt werden. Die Nutzerstudie erwies sich als äusserst hilfreich, da erstmals Feedback von Personen gekommen ist, die zuvor noch nichts über den Prozess oder das OST-Gadget gehört hatten. Das unvoreingenommene Feedback war äusserst wertvoll und hat dazu beigetragen, das System erheblich zu verbessern. Die Einsichten und Perspektiven der Nutzer haben dazu geführt, dass das System angepasst und optimiert wurde, um eine noch bessere Benutzererfahrung zu erreichen. Die Rückmeldungen waren für den Erfolg und die Weiterentwicklung des Projekts von grosser Bedeutung.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Die anfängliche Untersuchung von verfügbaren Mitarbeiterassistenzsystemen auf dem Markt ergab, dass diese nicht den Anforderungen des geplanten Konzepts entsprechen. Daher wurde beschlossen, ein eigenes Assistenzsystem zu entwickeln. Dieses selbstentwickelte System erfüllt schliesslich alle gestellten Anforderungen. Die Forderung zur Stand-Alone-Lösung konnte durch den mobilen Aufbau mit nur einem Anschlusskabel erreicht werden. Die Integration einer Kameraprüfung unterstützte die Mitarbeiter effektiv während des Montageprozesses. Durch kontinuierliche Prüfung der Merkmale konnten die Montageschritte laufend überwacht werden, und den Mitarbeitern wurde bei fehlerhafter Montage umgehendes Feedback gegeben. Durch die Möglichkeit zur Auswahl von unterschiedlichen Montageplänen des OST-Gadgets konnte die Forderung nach fähigkeitsbasiertem Zusammenbau berücksichtigt werden. Das System wurde mit Erweiterbarkeit im Hinterkopf entwickelt, indem modulare Komponenten verwendet und Reservekapazitäten bei den Warenbehältern eingeplant wurden. Die Nutzerstudie ergab, dass ein benutzerfreundliches System erstellt wurde. Die Nutzergruppe konnte ohne Vorkenntnisse zum Produkt die vorgegebene Montage des OST-Gadget eigenständig durchführen. Ein finaler Vergleich zwischen dem aufgebauten Assistenzsystem und einem vergleichbaren System am Markt, ergibt eine Kostensenkung um den Faktor vier für das neu entwickelte System. Dies ist vor allem durch die Verwendung von kostengünstigen Betriebsmitteln erreicht worden.

Der entwickelte Arbeitstisch bietet die Möglichkeit, zukünftig weiterentwickelt und verbessert zu werden. Durch die Einbindung einer Datenbank, könnten Informationen und Bilder der montierten OST-Gadgets abgespeichert werden. Dadurch würde die Dokumentation, von Montageprozessen erhöht und es könnte im Nachhinein überprüft werden, ob das Produkt die Anlage im korrekten Zustand verlassen hat.

Ausserdem wäre der Zugriff von aussen auf die Benutzeroberfläche wünschenswert. Damit könnten Aufträge erstellt werden, ohne direkt am Arbeitstisch vor Ort zu sein.

Um eine realistische Arbeitsdokumentation zu erreichen, könnte eine statistische Auswertung der montierten Produkte mit Zeitstempeln in die Benutzeroberfläche integriert werden. Eine Einbindung in die HLF, um die Vorgabe von bestimmten Aufträgen durch das integrierte Fertigungsmanagementsystem und eine Schnittstelle zwischen Warenein- und Warenausgang sowie Fördereinheit zu erreichen, würden dem System zusätzliche Erweiterungen bringen. Die Umsetzung der möglichen Verbesserungen und Weiterentwicklungen könnte als weiterführende Bachelorarbeit ausgeschrieben werden und damit das vorgestellte Mitarbeiterassistenzsystem gelungen abzurunden.

8 Zeitplan und Erfahrungen

Für die Arbeit wendeten Alexander Maier und Michael Huber circa 790 Stunden auf. Dies sind etwas mehr als ursprünglich geschätzt wurde. Die Zeit für die Programmierung des finalen Workflows wurde unterschätzt und die Erstellung des Berichts überschätzt.

Die Bachelorarbeit begann in der Startwoche mit der Einarbeitung in Node-RED und dem Auseinandersetzen mit dem Raspberry Pi. Kurz darauf wurde das Hardware- und Softwarekonzept, welches schon teilweise im Fachmodul entwickelt wurde, mit dem Referenten betrachtet, erweitert und für angemessen erachtet. Nachdem anschliessend alle zur Umsetzung des Konzeptes benötigten Betriebsmittel ausgewählt wurden, konnten diese bestellt werden. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten mussten die Beckhoff Betriebsmittel über einen Drittanbieter bestellt werden, der massiv höhere Preise dafür verlangte. Nach Ankunft der Bestellungen konnte der Arbeitstisch aufgebaut werden. Der mechanische Aufbau war dank der Systembaukasten-Aluprofile einfach erstellt. Da beide Bachelorstudenten Vorkenntnisse im Schaltanlagenbau besitzen, war der elektrische Aufbau des Arbeitstisches ein Kinderspiel. Die darauffolgende Programmierung des Montageprozesses war dank der Vorarbeit aus dem Fachmodul schnell erledigt. Als aufwendig wurden die unzähligen Anpassungen des Dashboards erkannt. Während der Durchführung der Bachelorarbeit traten einige Schwierigkeiten auf. Die Einbindung des Buskopplers ins CODESYS Projekt, um die PROFINET Kommunikation zu verwenden, nahm einige Zeit in Anspruch. Es stellte sich heraus, dass zusätzliche Einstellungen am Raspberry Pi Betriebssystem notwendig waren. Ebenso war die Programmierung des RFID-Lesekopfes im Workflow schwierig, da zuerst nach Trial-and-Error Prinzip gearbeitet wurde. Nach Rücksprachen mit dem Schweizer Vertreter von Turck, der Firma Bachofen, konnten deren Implementierungsvorschläge umgesetzt und getestet werden, worauf schliesslich die erfolgreiche Verwendung des RFID-Sensors erreicht wurde.

Dank der straffen Zeitplanung in der ersten Hälfte der Bachelorarbeit, konnte trotz den genannten Zeitverzögerungen durch Liefer- und Implementationsschwierigkeiten eine zeitgerechte Durchführung und Umsetzung der geforderten Ziele erreicht werden.

Die wöchentlichen Meetings mit dem Referenten ermöglichten es während der arbeitsintensiven Phase fortlaufend den aktuellen Stand zu erläutern und gleichzeitig Rückmeldung und Verbesserungsvorschläge für die umgesetzten Schritte zu erhalten.

Während der Erstellung der Bachelorarbeit wurde eine Vielzahl von Erfahrungen gemacht, die sich als äusserst wertvoll erwiesen haben. Das selbstständige Erlernen und Anwenden von Programmierungstools wie Node-RED, VeriSens und CODESYS war eine herausfordernde, aber äusserst bereichernde Erfahrung. Es hat uns nicht nur ermöglicht, neue Fähigkeiten zu entwickeln, sondern auch ein tieferes Verständnis für schon gelerntes Wissen in der praktischen Umsetzung zu gewinnen.

Die Bachelorarbeit bot die Möglichkeit, das gesamte Wissen aus dem Studium in Systemtechnik einzubringen. Wir konnten den mechanischen Aspekt mit dem CAD-Zeichnen nutzen, um das Design des Systems zu erstellen. Darüber hinaus machten wir Erfahrungen im elektronischen Bereich, indem wir den Schaltschrank verdrahteten und die Hardwarekomponenten integrierten. Der Informatik-Aspekt kam ins Spiel, als wir das System programmierten und die verschiedenen Komponenten miteinander verknüpften.

Die Arbeit an diesem Projekt hat uns gelehrt, wie wichtig es ist, komplexe Aufgaben frühzeitig zu bewältigen und Lösungen für technische Herausforderungen zu finden. Es hat unser Selbstvertrauen gestärkt, da wir gezeigt haben, dass wir in der Lage sind, ein umfassendes technisches Projekt eigenständig durchzuführen. Die Fähigkeit, verschiedene

Disziplinen wie Mechanik, Elektronik und Informatik zu kombinieren und ein funktionsfähiges Assistenzsystem zu entwickeln, war äusserst erfüllend und hat uns gezeigt, dass wir uns in einem multidisziplinären Umfeld erfolgreich zu recht finden.

Darüber hinaus haben wir während der Bachelorarbeit gelernt, wie wichtig es ist, effektiv zu planen und Zeitmanagement-Fähigkeiten zu entwickeln. Die Arbeit an einem umfangreichen Projekt erfordert eine strukturierte Herangehensweise, um alle Aspekte rechtzeitig zu erledigen und einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

Insgesamt war die Erstellung des Mitarbeiterassistenzsystems eine unglaublich wertvolle und lehrreiche Erfahrung. Es hat uns nicht nur fachlich weitergebracht, sondern auch unsere Problemlösungsfähigkeiten und unser Verständnis für komplexe technische Systeme verbessert. Diese Erfahrungen haben zweifellos einen positiven Einfluss auf unsere berufliche Entwicklung und sie werden uns in unserer zukünftigen Karriere als Systemtechniker unterstützen.

Eidesstattliche Erklärung

Wir erklären eidesstattlich, dass wir die Arbeit selbständig angefertigt haben. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Buchs, 25.08.2023

Michael Huber

Alexander Maier

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Apt, Wenke; Bovenschulte, Marc; Priesack, Kai; Weiss, Christine; Hartmann, Ernst Andreas (2018): Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Berlin/Bonn: Publikationsserver ibib (Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Forschungsbericht. 502). Online verfügbar unter https://www.iit-berlin.de/iit-docs/0b0ab71d0ed949269fa39e2b38665fde_Einsatz-von-digitalen-Assistenzsystemen-im-Betrieb.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung · Technologien · Migration. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://swb.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1731347>.

Baumer GmbH (2022): XF800. Vision Sensoren. Hg. v. Baumer. Online verfügbar unter <https://www.baumer.com/de/de/produktubersicht/smart-vision/verisens-vision-sensoren/erweiterte-funktionalitat/vs-xf800c03w08ip/p/39598>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Brooke, John (1995): System Usability Scale. A quick and dirty usability scale. Usability Eval. Ind. Online verfügbar unter <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>, zuletzt geprüft am 18.07.2023.

Dell Touchscreen (2022). Online verfügbar unter <https://www.digitec.ch/de/s1/product/dell-p2418ht-1920-x-1080-pixels-2380-monitor-6150327>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Fraunhofer IAO (Hg.) (2019): Digitale Assistenzsysteme in der Produktion. Kurzstudie des Fraunhofer IAO untersucht heutige und zukünftige Einsatzpotenziale verschiedener Technologien. Online verfügbar unter <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/digitale-assistenzsysteme-in-der-produktion.html>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Ifd: Pick by Light. Online verfügbar unter <https://www.ifd-gmbh.com/pick-by-light>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Lampert, Raphaël (2022): Smart Factory Kurz & Bündig. Ostschweizer Fachhochschule. Online verfügbar unter <https://wiki.ost.ch/pages/viewpage.action?pageId=100802468#expand-FrwenistdieSmartFactorygedacht>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Optimum datamanagement solutions GmbH (Hg.) (2021a): Der Schlaue Klaus. Online verfügbar unter https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/media/Produkte/Downloads/Der_Schlaue_Klaus_2021.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Optimum datamanagement solutions GmbH (Hg.) (2021b): SK Assembly. Online verfügbar unter https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/media/Produkte/Downloads/Produktblatt_SK_Assembly.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Ostschweizer Fachhochschule (2022): Smart Factory an der OST. volldigitalisierte Fertigung für die Zukunft. Hg. v. Ostschweizer Fachhochschule. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=SZK9exnkIlw>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Phoenix Mecano Solutions AG (Hg.): LEAN Arbeitsplätze. Online verfügbar unter <https://www.phoenix-mecano.ch/de/loesungen/smart-e-produktion/lean-arbeitsplaetze/>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Pick by Light. Online verfügbar unter <https://www.ifd-gmbh.com/pick-by-light>, zuletzt geprüft am 20.12.2022.

Raspberry Pi (Hg.): Raspberry Pi. Modell 4b. Online verfügbar unter <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

Reinhart, Gunther (Hg.) (2017): Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Weber, Tommy: RFID. RFID Funktionsweise. Online verfügbar unter <https://www.rfid-grundlagen.de/funktionsweise.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2023.

Anhangsverzeichnis

Anhang A	Arbeitsanweisung zum OST-Gadget.....	49
Anhang B	Schema.....	51
Anhang C	Stückliste.....	56
Anhang D	Nutzerstudie	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	SK Assembly (Optimum datamanagement solutions GmbH 2021b).....	5
Abbildung 2-2	Arbeitsplatz von Phoenix Mecano (Phoenix Mecano Solutions AG)	6
Abbildung 4-1	Smart Factory in Buchs (Ostschweizer Fachhochschule 2022)	9
Abbildung 4-2	Oberschale	10
Abbildung 4-3	Elektronik.....	10
Abbildung 4-4	Unterschale.....	10
Abbildung 4-5	OST-Gadget (OST, 2022)	10
Abbildung 4-6	Data Matrix (OST, 2022)	10
Abbildung 4-7	Übersicht Montageschritte	11
Abbildung 4-8	Hardwarekonzept	12
Abbildung 4-9	Skizze des Handarbeitsplatzes.....	12
Abbildung 4-10	Pick-by-Light (Pick by Light; Ifd).....	13
Abbildung 4-11	RFID Funktionsweise (Weber).....	14
Abbildung 5-1	Arbeitstisch.....	15
Abbildung 5-2	mechanischer Grundaufbau.....	16
Abbildung 5-3	Schaltschrank.....	17
Abbildung 5-4	Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi)	19
Abbildung 5-5	Buskoppler mit digitalen I/Os.....	19
Abbildung 5-6	Taster.....	20
Abbildung 5-7	XF800 (Baumer GmbH 2022).....	20
Abbildung 5-8	Warenträger (Ostschweizer Fachhochschule 2022).....	22
Abbildung 5-9	RFID-Gateway.....	22
Abbildung 5-10	Montagehalterung	23
Abbildung 5-11	Lagerhalterung	23
Abbildung 5-12	Flowchart 1.....	25
Abbildung 5-13	Flowchart 2.....	26
Abbildung 5-14	Softwareaufbau	27
Abbildung 5-15	Lesen einer Variable in Node-RED über OPC UA	28
Abbildung 5-16	Inject-node.....	28
Abbildung 5-17	OPC UA Client	28
Abbildung 5-18	Funktionsbausteine.....	29
Abbildung 5-19	Instanzen «comparment».....	30
Abbildung 5-20	Funktionsbaustein «comparment»	30
Abbildung 5-21	Funktionsbaustein «buttonWithDelay».....	31
Abbildung 5-22	Funktionsbaustein «currentOrderDecision»	32

Abbildung 5-23 Funktionsbaustein «timeDelay»	32
Abbildung 5-24 Arbeitstisch-Dashboard	33
Abbildung 5-25 Aufträge-Dashboard	34
Abbildung 5-26 Logistik-Dashboard	35
Abbildung 5-27 Passwort-Dashboard	35
Abbildung 5-28 Administrator-Dashboard	36
Abbildung 5-29 RFID-Dashboard	36
Abbildung 5-30 Kameraprüfung mit VeriSens	37
Abbildung 6-1 Ausschnitt aus Fragebogen	39
Abbildung 6-2 Antwort aus Fragebogen	39
Abbildung 6-3 Beispielhafte Anpassung während Nutzerstudie	40
Abbildung 6-4 Gehäuseset mit Beschriftung	40

Abkürzungsverzeichnis

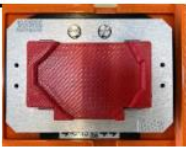


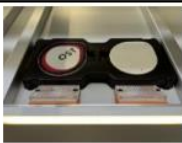


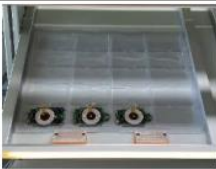
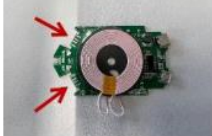


Abkürzung	Ausführliche Form
HLF	Hybride Lernfabrik
Raspi	Raspberry Pi
RFID	Radio-Frequency Identification
XVGA	Extended Video Graphics Array
LED	Light-Emitting Diode












Glossar

Begriff	Definition / Erklärung
Facelifting	Erhält ein Produkt ein Facelifting, ist damit gemeint, dass während der Modelllaufzeit einige kleine, äusserliche Veränderungen an dem Produkt vorgenommen werden, um es up-to-date zu halten.
Open Source	Software, deren Quelltext öffentlich ist und von Dritten eingesehen, geändert und genutzt werden kann. Open Source kann unter Einhaltung der Lizenzbedingungen kostenlos genutzt werden.
Pick-by-Light	Eine Pick-by-Light System besteht mindestens aus einer Blickfangleuchte, einem Behälter für Waren und einem Quittierknopf, über den die Arbeitskraft die Entnahme bestätigt und die Bestandsänderung in Echtzeit an das Lagerverwaltungssystem zurückmeldet wird.
PROFINET	Eine Variante eines Kommunikationsprotokolls von Bussystemen das in der industriellen Automation verwendet wird.
Retrofit	Retrofit bezeichnet den Prozess der vereinfachten Modernisierung und Optimierung bestehender Maschinen, Anlagen oder Gebäude durch den Einbau neuester Technologien.

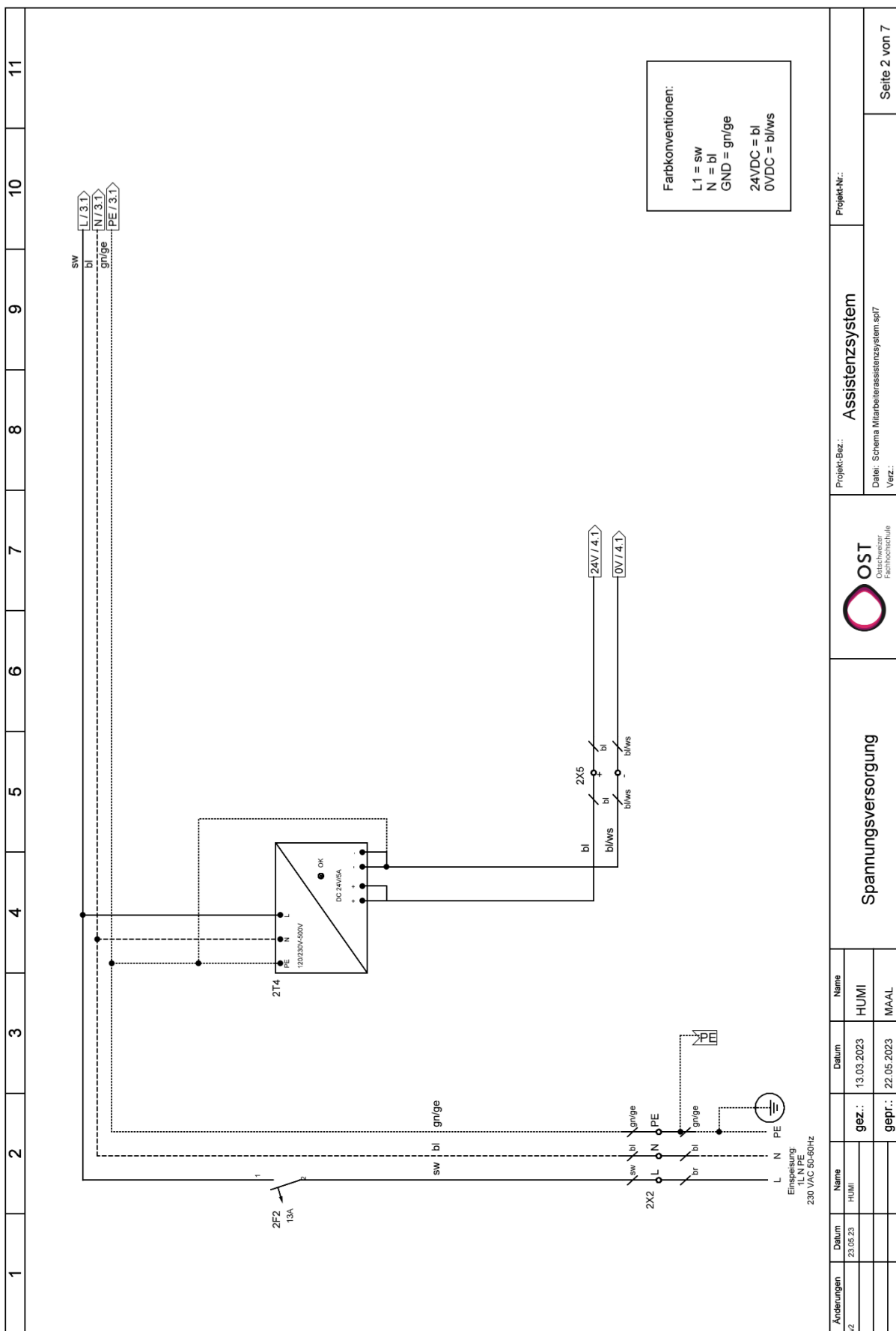
Anhang

Anhang A Arbeitsanweisung zum OST-Gadget

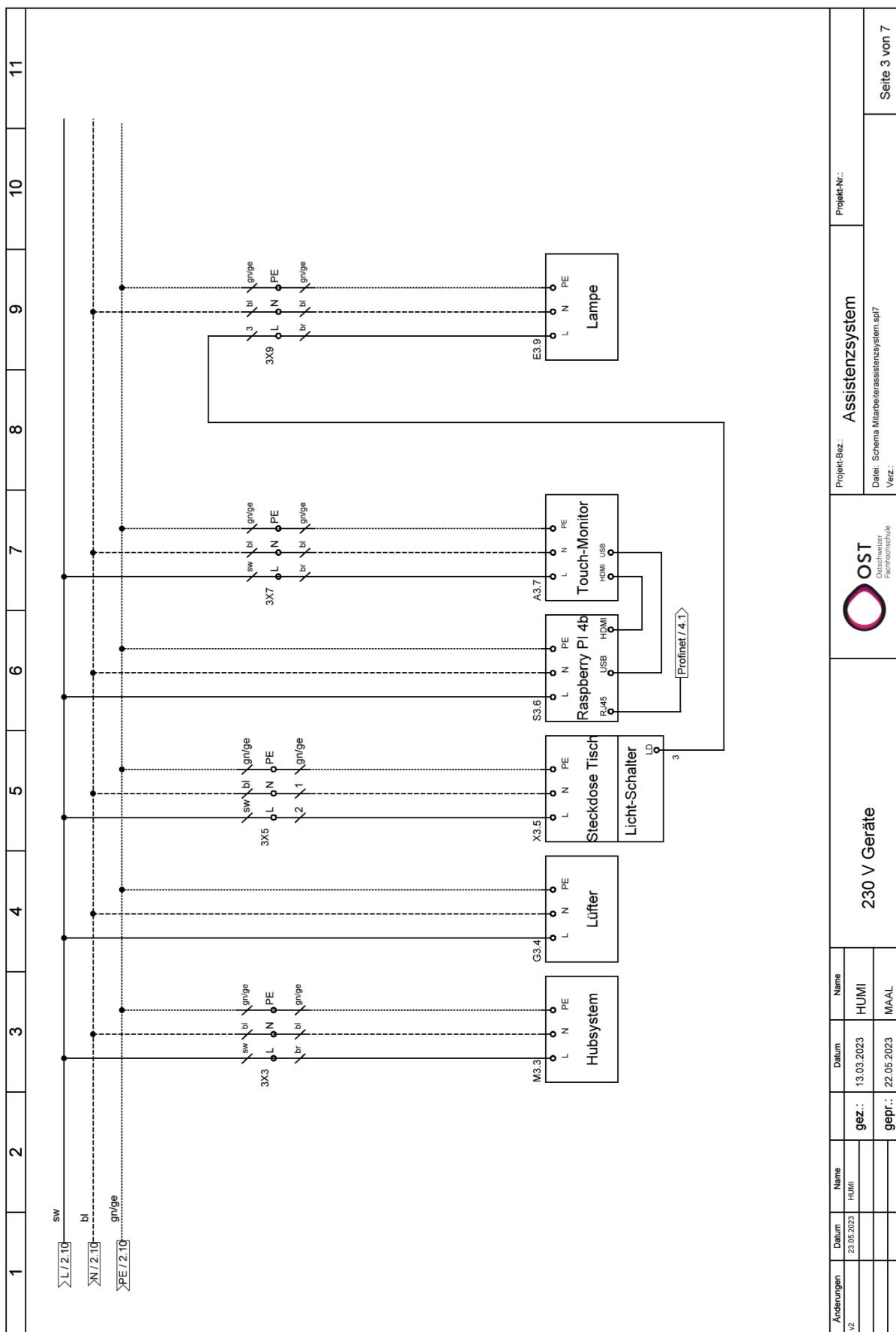
Produkt: Ost-Gadget(induktiver Lade-Charger)			
Bereich: HLF-Montagelinie		Arbeitsplatz	Low-Cost-Handarbeitsplatz
Nr.	Operation	Beschreibung	Schema
1	Vorbereitung 1	Trägereinheit vom Wareneingang entnehmen und am Arbeitsplatz auf die vorgesehene Markierung (orange Halterung) legen.	
2	Vorbereitung 2	manuelle Betätigung des vollbrachten Arbeitsschrittes mittels Taster	
3	Vorbereitung 3	Auslesen des Datenträgers mittels RFID: Wenn die Zahl 13 aus dem Datenträger gelesen wird, soll ein weißes Gadget hergestellt werden. Wenn die Zahl 15 ausgelesen wird, soll ein schwarzes Gadget hergestellt werden.	
4	Montageschritt 1	Pick by Light signalisiert die Ablage, aus der ein Gehäuseset entnommen werden soll. Dieses Set wird auf die Arbeitsfläche gelegt.	
5	Montageschritt 2	Gehäuse mit OST-Logo (Oberschale) entnehmen, um 180° drehen und in Trägereinheit einlegen.	
6	Montageschritt 3	Kameraerkennung erfasst ob die Schale richtig eingelegt wurde	
7	Montageschritt 4	Pick by Light signalisiert die Ablage, aus der ein Elektronikbauteil entommen werden soll.	
8	Montageschritt 5	Schwarze Füßchen von Elektronik trennen	
9	Montageschritt 6	Kleber von Spule entfernen und die Spule an der Elektronik festkleben	
10	Montageschritt 7	manuelle Betätigung des vollbrachten Arbeitsschrittes mittels Taster	


11	Montageschritt 8	Elektronik wenden und in Schale einlegen	
12	Montageschritt 9	Kameraerkennung erfasst ob die Elektronik richtig eingelegt wurde	
13	Montageschritt 10	Schale ohne OST-Logo (Unterschale) einlegen und festdrücken	
14	Montageschritt 11	Kameraerkennung erfasst ob die Unterschale korrekt montiert wurde	
15	Montageschritt 12	Pick by Light signalisiert die Ablage, aus der drei Stopper entommen werden sollen	
16	Montageschritt 13	die drei Gummistopper sollen angebracht werden	
17	Montageschritt 14	Kameraerkennung erfasst ob die Stopper korrekt montiert wurden	
18	Montageschritt 15	Trägereinheit von der Halterung nehmen und in den Warenausgang legen	
19	Montageschritt 16	manuelle Betätigung des vollbrachten Arbeitsschrittes mittels Taster	
20	Montageschritt 17	Gehäuseset in Sammelbehälter legen	
21	Ausgabe	manuelle Betätigung des vollbrachten Arbeitsschrittes mittels Taster	Task Complete 

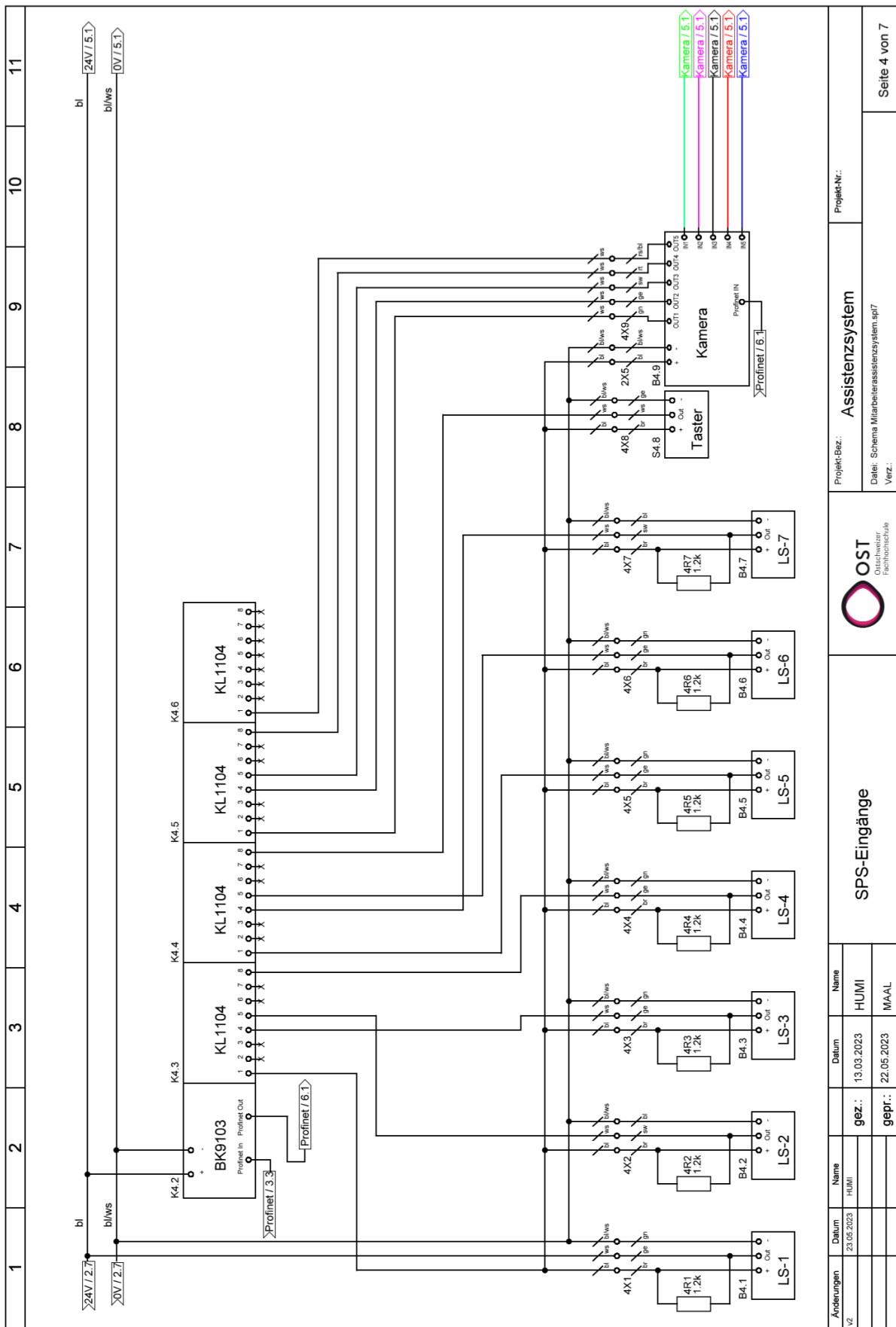
Anhang B Schema



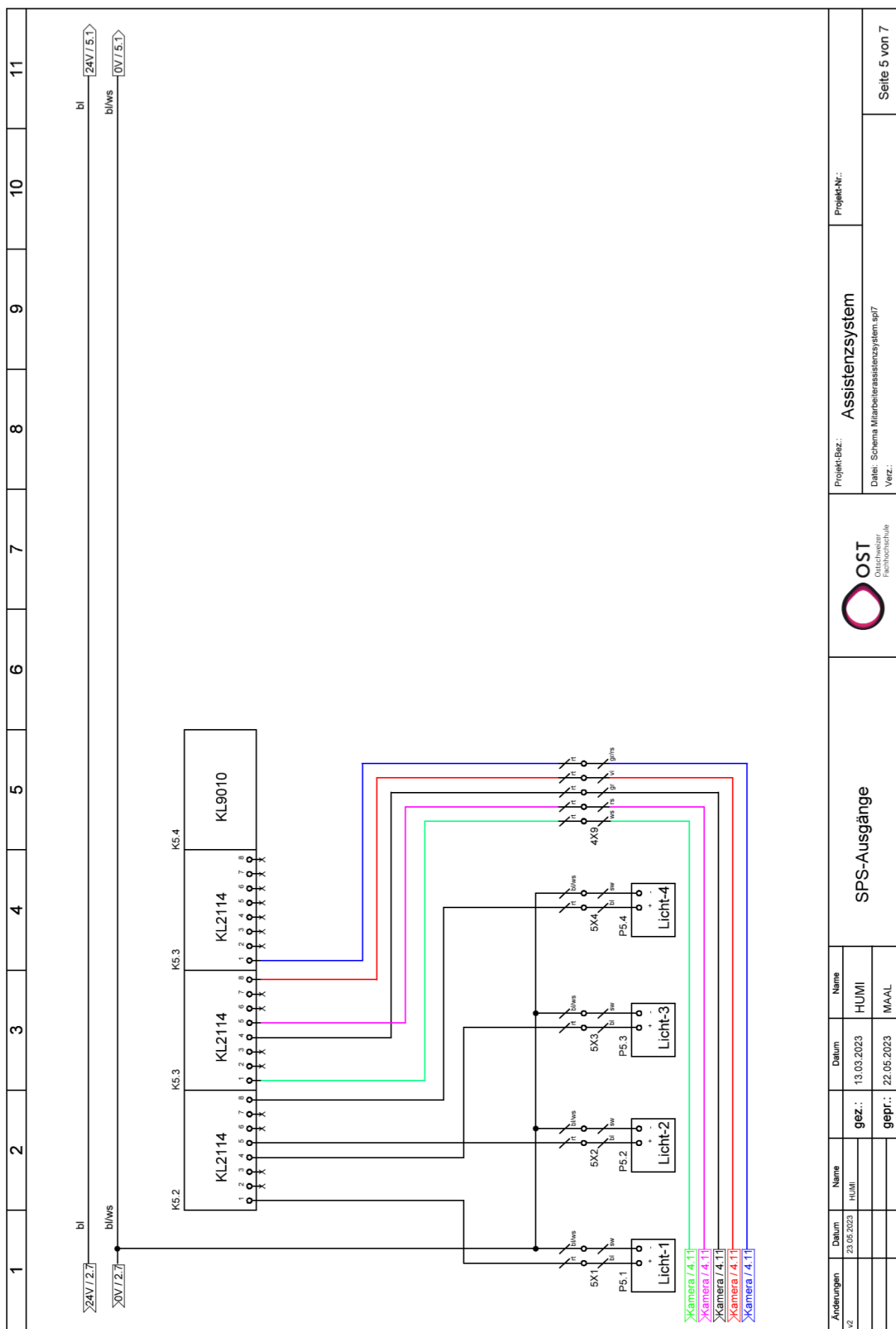
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Spannungsversorgung</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Assistenzsystem</p> <p><small>Datei: Schema Mitarbeiterassistenzsystem.sp7 Verz.:</small></p> </div> </div>											
Änderungen	Datum	Name	Datum	Name							Projekt-Nr.:
v2	23.05.23	HUMI	13.03.2023	HUMI							Seite 2 von 7
			gez.:	gepr.:							
			22.05.2023	MAAL							



Änderungen		Projekt-Bez.: Assistenzsystem		Projekt-Nr.:	
v2	Datum 23.05.2023	Name HUMI	Datei: Schema Mitarbeiterassistsystem.ap7		
	gez.:		Verz.:		
	gepr.:		Seite 3 von 7		
230 V Geräte			 OST Ostschweizer Fachhochschule		
	Datum	Name			
	13.03.2023	HUMI			
	22.05.2023	MAAL			

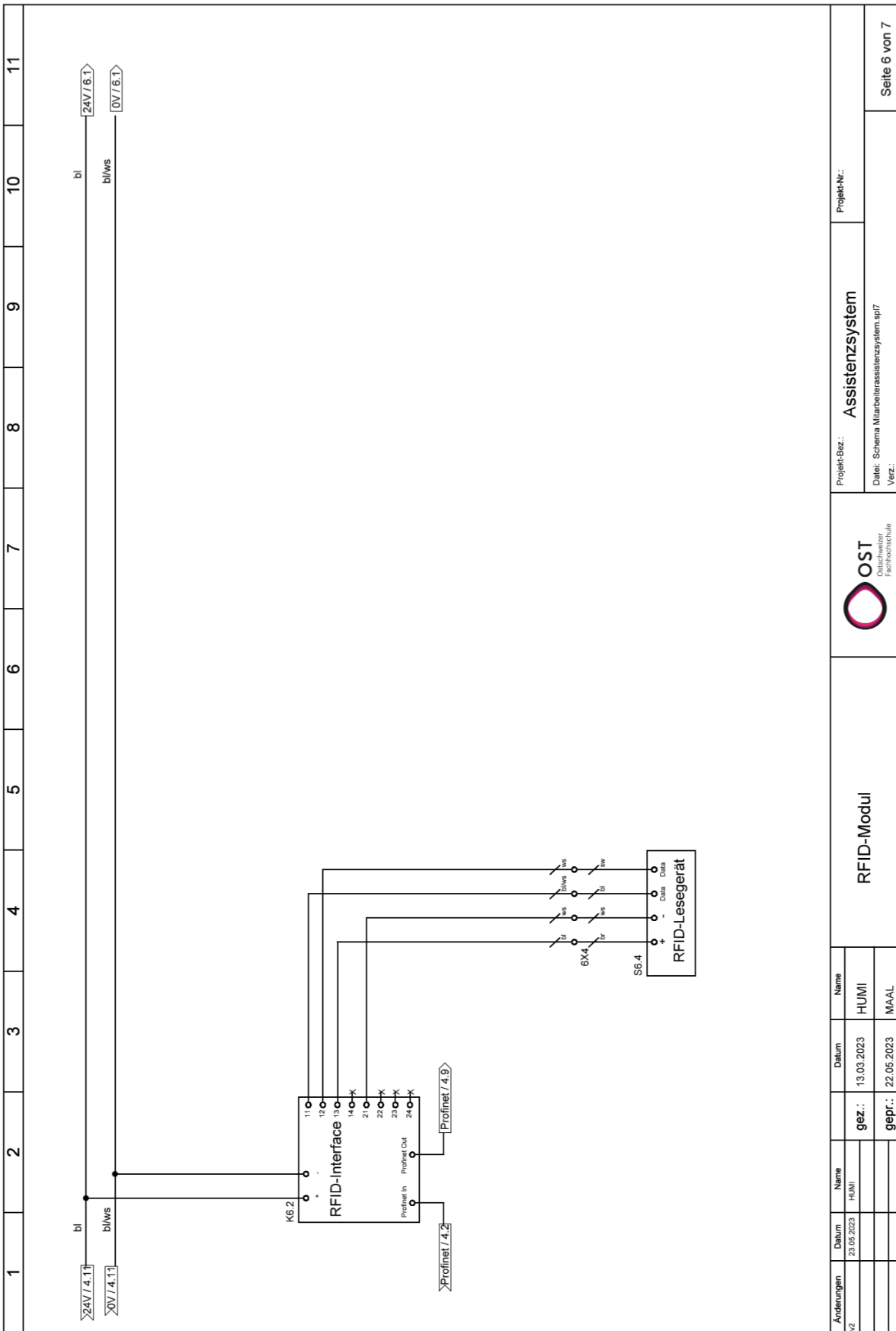


Änderungen		Name		Datum		Name	
vz		22.05.2023	HUMI	13.03.2023	HUMI		
				gez.: 22.05.2023	geprt.: 22.05.2023		
				SPS-Eingänge			
				 OST Otschweizer Fachhochschule			
				Projekt-Baz.: Assistenzsystem		Projekt-Nr.:	
				Datei: Schema Mitarbeiterassistenzsystem.spr7			
				Verz.:			
Seite 4 von 7							



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Assistenzsystem		Projekt-Nr.:		
Datei: Schema Mitarbeiterassistsystem.spr/7		Datei: Schema Mitarbeiterassistsystem.spr/7		
Verz.:		Verz.:		
 OST Ostschweizer Fachhochschule		SPS-Ausgänge		
				Seite 5 von 7
Änderungen	Datum	Name	Datum	Name
v2	23.05.2023	HUMI	13.03.2023	HUMI
			gez.:	gepr.:



Änderungen		Name		Datum		Name	
v2		23.05.2023	HUMI	13.05.2023	HUMI		
						gez.:	
						gepr.:	

Projekt-Ebz.: Assistenzsystem		Projekt-Nr.:
Datei: Schema Mitarbeiterassistenzsystem.ap7		
Verz.:		Seite 6 von 7

 OST Osteösterreichische Fachhochschule		RFID-Modul	
--	--	-------------------	--

Anhang C Stückliste

Stückliste für Bachelorarbeit 2023 von Alexander Maier und Michael Huber				
Anzahl	Bauteil	Hersteller	CHF / STK (ohne MWS)	Total CHF (ohne MWS)
Eingekaufte Bauteile:				
1	Arbeitstisch	Alvaris	CHF 8'030.37	CHF 8'030.37
1	Kamera VS XF800	Baumer	CHF 2'561.25	CHF 2'561.25
1	AX Kompakt-Schaltschrank BHT: 380 x 600 x 210mm	Rittal AG	CHF 158.60	CHF 158.60
1	SZ Kunststoff-Flanschplatten, für AX mit Membranen	Rittal AG	CHF 47.30	CHF 47.30
1	Schreib-/Lesekopf / RFID TB-M18-H1147	Bachofen AG	CHF 265.70	CHF 265.70
1	Set für PROFINET TI-BL20-E-EN-S-2	Bachofen AG	CHF 822.10	CHF 822.10
2	Mobiler Datenträger TW-R16-K2	Bachofen AG	CHF 6.20	CHF 12.40
1	Sensortaster 24 V 0.5 A tastend grün/rot	Conrad Electronic AG	CHF 28.63	CHF 28.63
7	TC-9393068 Reflektor Weiss 65x40	Conrad Electronic AG	CHF 7.04	CHF 49.28
7	Reflexions-Lichtschranke TC-9417216	Conrad Electronic AG	CHF 24.13	CHF 168.91
2	LED-Streifen-Erweiterung mit Stecker	Conrad Electronic AG	CHF 16.37	CHF 32.74
3	PAULMANN Profil Aluminium	Conrad Electronic AG	CHF 16.46	CHF 49.38
1	Joy-it RB-CaseP4+07 SBC-Gehäuse für Raspberry Pi	Conrad Electronic AG	CHF 8.38	CHF 8.38
1	DELL 23,8-Zoll-Touch-Monitor	Digitec Galaxy	CHF 229.82	CHF 229.82
1	Beckhoff BK9103 Profinet-Buskoppler	EU Automation GmbH	CHF 922.00	CHF 922.00
1	Beckhoff KL9010 Busendterminal	EU Automation GmbH	CHF 146.75	CHF 146.75
1	UP Schema0+T13 3-fach Edizio Due	Hornbach	CHF 55.33	CHF 55.33
1	Steckdose Hutschiene	Conrad Electronic AG	CHF 11.95	CHF 11.95
2	Rohrabdeckung 25X25	Hornbach	CHF 4.25	CHF 8.50
	Summe:			CHF 13'609.39
	Mehrwertsteuer	7.70%		CHF 1'047.92
	Total CHF mit Mehrwertsteuer:			CHF 14'657.31
von OST erhaltene Bauteile:				
1	SOFTWARE: CODESYS Control for Raspberry Pi	Codesys Store		gratis
1	SOFTWARE: IoT Libraries SL	Codesys Store		gratis
1	Raspberry Pi 4b	Raspberry		gratis
1	24 Volt Netzteil	Siemens		gratis
4	3D-Druck Halterungen für Warenein-	OST		gratis
6	3D-Druck Halterung für Reflektor	OST		gratis
1	3D-Druck Halterung Montage	OST		gratis
1	HDMI-Kabel	OST		gratis
2	Carrier von der HLF	OST		gratis
10	PCB's für Wirelesscharger	OST		gratis
4	OST Gadget Schalen weiss	OST		gratis
4	OST Gadget Schalen schwarz	OST		gratis
20	OST Gadget Stopper	OST		gratis

Anhang D Nutzerstudie

Fragebogen zur Systembenutzerfreundlichkeit des Assistenzsystems "Clevere Clara"

9

Antworten

11:10

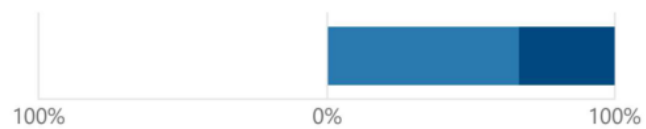
Durchschnittliche Zeit für das Ausfüllen

Aktiv

Status

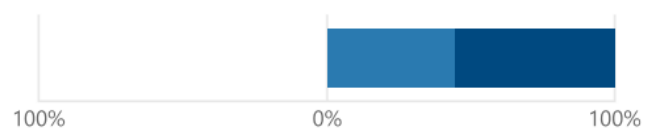
1. Ich denke, dass ich an diesem Arbeitsplatz gut arbeiten könnte

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen

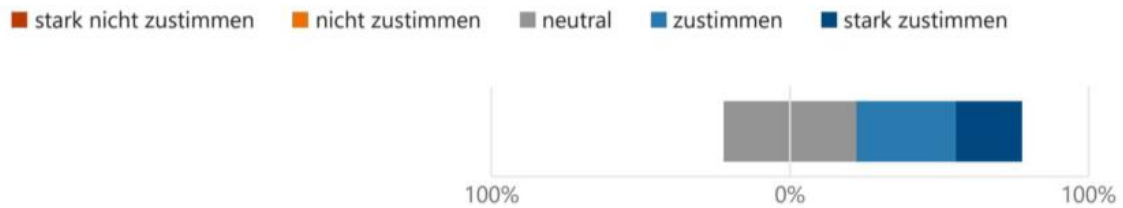


2. Ich denke, die meisten Menschen würden die Handhabung dieses Systems schnell lernen

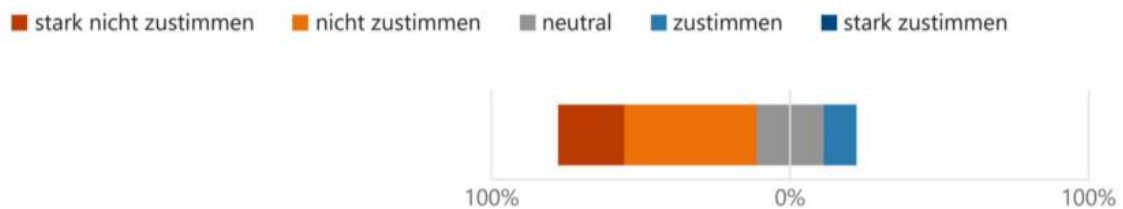
■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



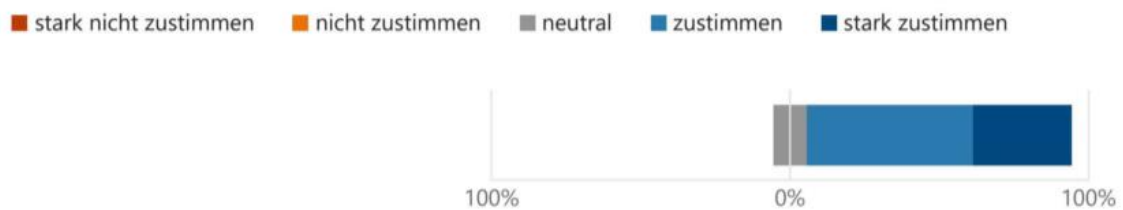
3. Ich finde, dass mit diesem System Produkte schneller und genauer gefertigt werden können



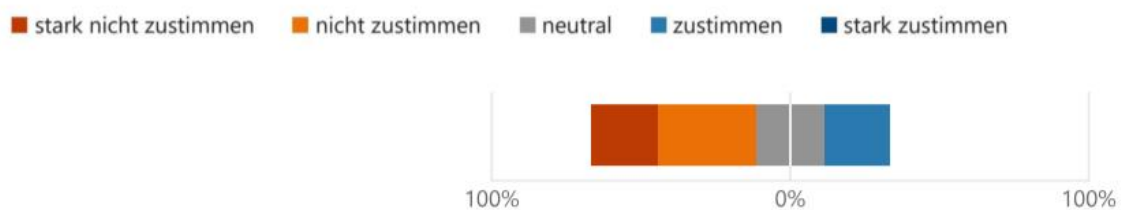
4. Ich finde das System unnötig komplex



5. Ich finde die Anordnung der Bauteile gut platziert

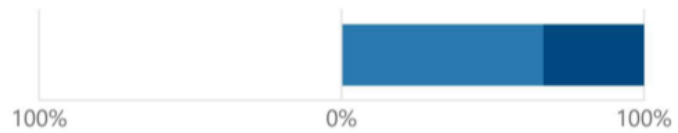


6. ich finde, dass die Unterstützung des Systems den Herstellungsprozess hindert/verlangsamt?



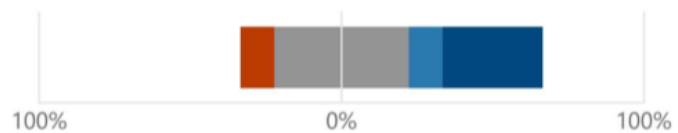
7. Ich finde das System einfach zu bedienen

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



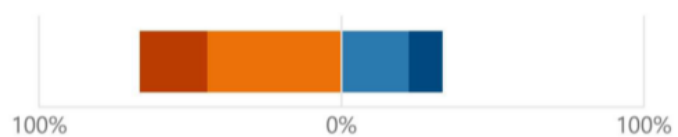
8. Ich finde, dass der Montageprozess ohne Einschulung problemlos durchführbar ist

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



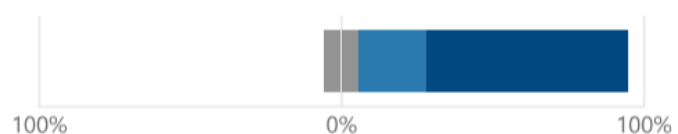
9. Ich denke, dass ich vermehrt Unterstützung einer Fachperson brauche, damit ich in der Lage bin dieses System zu verwenden

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen

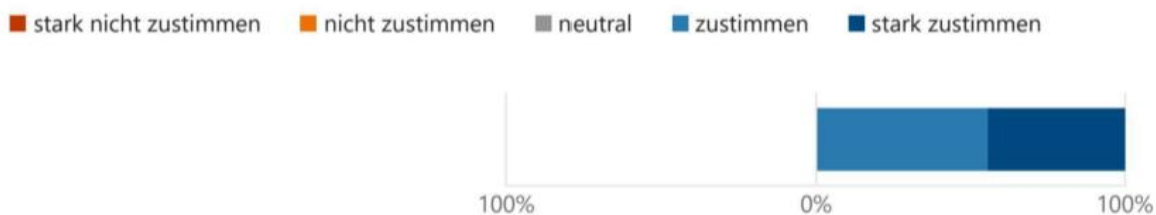


10. Ich fühle mich sicher beim Erstellen der Produkte

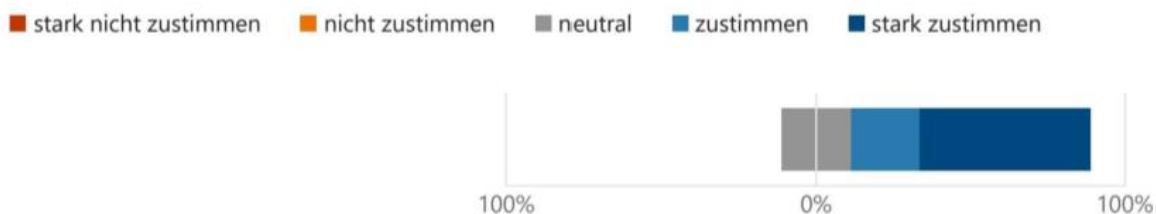
■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



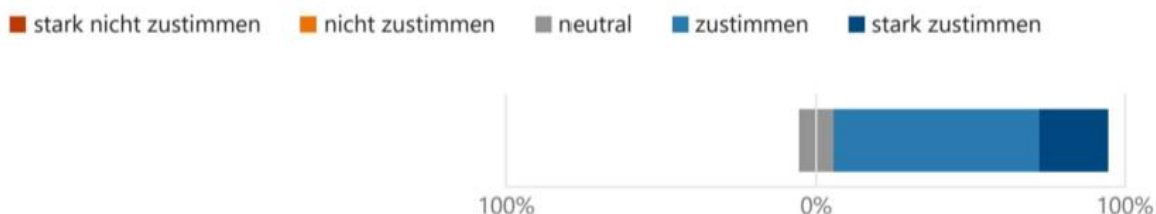
11. Ich finde die Kameraerkennung gut integriert



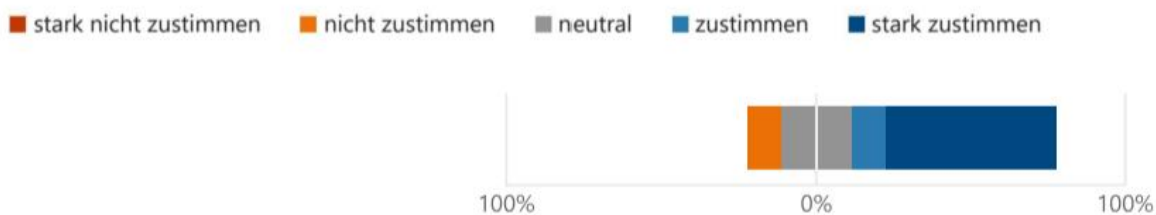
12. Ich finde das Pick by Light System gut integriert



13. Ich finde das Feedback des Tasters hilfreich

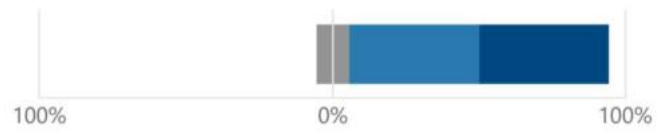


14. Ich finde der Monitor ist gut positioniert



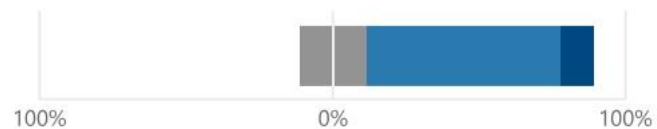
15. Ich finde die Anordnung des Dashboards übersichtlich

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



16. Ich finde die Informationen/Visualisierungen auf dem Dashboard verständlich

■ stark nicht zustimmen ■ nicht zustimmen ■ neutral ■ zustimmen ■ stark zustimmen



17. Sollen die Informationen des Dashboards anderst angegeben werden? Wie?

6
Antworten

Neueste Antworten

"1.: Teile abbrechen und Spule kleben: Vorher-Nachher Bilder...
"Knopf rot einfärben"

18. Was finden Sie besonders gut an dem System?

8
Antworten

Neueste Antworten

"Alles von einem Punkt aus erreichbar"
"Ergonomisch, erweiterbar, alles in Reichweite, gute Kombina...
"Pick by Light"

19. Was würden Sie anderst machen?

8
Antworten

Neueste Antworten

"Auch die Anordnung der zu montierenden Teile von links na...

"Bildschirmposition näher ins Blickfeld (Blickfeld ist bei Mont...

"Kamera evt. weniger empfindlich einstellen (Erkennung nac...

20. Wo kann noch optimiert werden? (Mit konkreter Idee)

7
Antworten

Neueste Antworten

"Bild des Tasters konnte zu Beginn nicht auf dem realen Taste...

"Wenn Kamera überprüft: noch schlecht: rot leuchten, sobald ...

"Verwendung von blauem Stab für Gummifüßemontage erw...