

Aufgabe ESEP

Prof. Zhen Ru Dai
Prof. Franz Korf
Prof. Stephan Pareigis

Wintersemester 2018

1. Einleitung

- 1** Bauen Sie aus zwei Förderbandmodulen (Festo-Transfersystem) eine **Werkstück-Sortieranlage**. **2** Jedes Förderbandmodul wird durch einen eigenen Steuerungscomputer (Embedded System) gesteuert. **3** Die beiden Computer sind über eine serielle Schnittstelle gekoppelt.
- 4** Für die Implementierung der Grundfunktionalitäten (Kapitel **2**) wird ein 4-er Team benötigt. **5** Bei einem größeren Team werden in Absprache mit der/dem BetreuerIn Zusatzfunktionalitäten aus Kapitel **3** hinzugezogen.

2. Grundfunktionalität *Sortieren*

- 6** Die Sortieranlage soll Werkstücke so sortieren, dass Werkstücke mit bestimmten Eigenschaften in die Rutschen aussortiert werden und am Ende der Sortieranlage Werkstücke in einer vorgegebenen Reihenfolge ankommen. **7** Es gibt dabei vier Typen von Werkstücken, die auf die Sortieranlage gelegt werden können:

1. Flache Werkstücke
2. Werkstücke mit Bohrung und Metalleinsatz. Dabei wird unterschieden, ob die Bohrung nach oben oder nach unten liegt.
3. Werkstücke mit Bohrung ohne Metalleinsatz. Dabei wird unterschieden, ob die Bohrung nach oben oder nach unten liegt.
4. Werkstücke mit Ringen auf der Oberseite. Die Ringe stellen eine binäre Tiefencodierung dar:

<i>Tiefe</i>	<i>Codierung</i>
keine	Trennzeichen
wenig	0
viel	1

- 1 Zwischen jedem Bit kommt ein Trennzeichen, um die Erkennung zu vereinfachen.
2 Das Beispiel in den Abbildungen 1 und 2 zeigt eine Codierung von „0 0 1“ 3 Die Zusammensetzung der Codierung gibt die Typkennung des Werkstücks an.

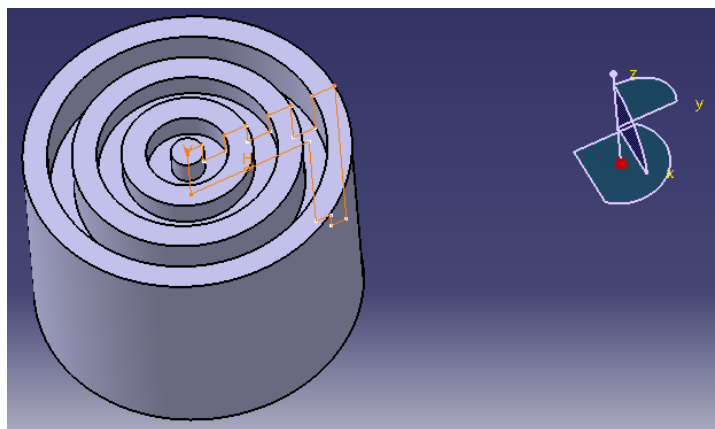


Abbildung 1: 3D-Ansicht eines codierten Werkstücks

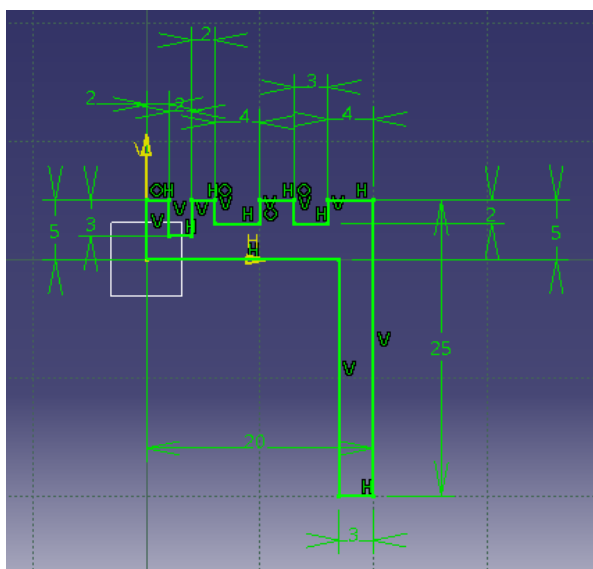


Abbildung 2: Schnitt durch ein 001-codiertes Werkstück

4 Ziel der Sortierung ist es, dass am Ende von Band 2 die uncodierten Werkstücke vereinzelt in der Reihenfolge **Bohrung oben ohne Metall** → **Bohrung oben mit Metall** → **Bohrung oben ohne Metall** ankommen. 5 Um die Sortierung zu erreichen, sind folgende Einzelschritte erforderlich:

1. Flache Werkstücke werden auf Band 1 erkannt und mit Hilfe der Weiche aussortiert.
2. Werkstücke, die keine Bohrung auf der Oberseite haben, werden auf Band 1 mit Hilfe der Höhenmessung erkannt und aussortiert.
3. Werkstücke, die nicht der gewünschten Reihung entsprechen, werden auf Band 2 erkannt und aussortiert.

4. Bei den codierten Werkstücken werden die Werkstücke mit der Typkennung 1 und 4 auf Band 1 aussortiert.
5. Bei den codierten Werkstücken werden die Werkstücke mit der Typkennung 2 und 5 auf Band 2 aussortiert.

Weiterhin soll folgendes realisiert werden:

- A** • Da jedes Band sich anders verhält, muss ab und zu eine Kalibrierung des Systems durchgeführt werden. Der Kalibrierungsvorgang wird durch das Drücken der Start-Taste getriggert.
- B** • Die Zuführung erfolgt durch Einlegen des Werkstücks am Anfang von Band 1. Die Lichtschranke wird hierdurch unterbrochen.
- C** • Es dürfen stets Werkstücke auf das Band gelegt werden, wenn der Anfang von Band 1 frei ist. Auf diesem Band können sich also mehrere Werkstücke befinden.
- D** • Die Übergabe auf Band 2 soll *vereinzelt* erfolgen: Es wird nur ein Werkstück auf Band 2 transferiert, wenn Band 2 frei ist.
- E** • Bei der Übergabe des Werkstücks von Band 1 auf Band 2 kann es passieren, dass die Werkstücke sich "überschlagen", d. h. eine oben liegende Bohrung liegt dann auf Band 2 unten.
- F** • Auf beiden Bändern sollen die Werkstücke *langsam* durch die Höhenmessung transportiert werden. Der gleichmäßig langsame Transport ist für die später zu integrierende Oberflächenabtastung erforderlich.
- G** • Es darf kein Werkstück von den Bändern fallen.
- H** • Ist die Rutsche auf Band 1 voll, so soll die Aussortierung über Band 2 erfolgen. Umgekehrt, ist die Rutsche auf Band 2 voll, so soll die Aussortierung bereits auf Band 1 erfolgen. Diese Situation ist dem Bediener zu signalisieren. Die Bedingung an die Reihenfolge am Ende von Band 2 muss eingehalten werden.
- I** • Beide Bänder sollen jeweils stoppen, wenn sich kein Werkstück auf ihnen befindet.
- J** • Die Typkennung eines codierten Werkstücks wird auf der Konsole ausgegeben, sobald diese erkannt wurde.
- K** • Wenn ein Werkstück das Ende von Band 2 erreicht, sollen auf der Konsole folgende Werkstückdaten ausgegeben werden:
 - ID
 - Typ
 - Höhen-Messwert von Band 1
 - Höhen-Messwert von Band 2

Die ID vergibt Ihr System beim Erkennen des Werkstücks am Anfang von Band 1.

Ansteuerung der Weichen: Die Weichen sind im stromlosen Zustand *geschlossen*. Beim Öffnen fließt Strom durch die Magnetspule, die die Weiche betätigt. Wenn der Strom zu lange fließt, überhitzt die Spule, und die Weiche funktioniert nicht mehr richtig.

Daher bitte die Weichen *nicht minuten- oder stundenlang* auf Durchgang stellen!

2.1. Fehlererfassung

Folgende Fehlerzustände beim Betrieb der Anlage sollen erfasst werden:

- Verschwinden von Werkstücken (zu lange Laufzeit zwischen Lichtschranken).
Reaktion: Bandstopp, Fehlermeldung
- Hinzufügen von Werkstücken mitten auf dem Band (zu kurze Laufzeit zwischen Lichtschranken).
Reaktion: Bandstopp, Fehlermeldung
- Beide Rutschen voll
Reaktion Bandstopp, Fehlermeldung

Lassen Sie sich etwas intelligentes einfallen, wie Sie nach Erkennung und Behebung eines Fehlers weitermachen wollen.

2.2. Bedientaster

Die Bedientaster haben folgende Funktion:

- **Start** Anlage wechselt in den Betriebszustand. Wird der Taster lange gedrückt, kommt die Anlage in einen Service-Mode und führt beispielsweise Kalibrierungen oder Selbsttests durch.
- **Stop** Anlage wechselt wieder in den Ruhezustand. Der Wechsel ist nur möglich, wenn keine Fehler oder Warnungen vorliegen.
- **Reset** Fehlerquittierung (siehe unten).
- **E-Stopp** Schnellabschaltung. Wird der E-Stopp-Taster gedrückt, steht die *ganze* Anlage still. Es steht also auch der andere Anlagenteil still, an dessen Bedienpanel der E-Stopp-Taster *nicht* gedrückt wurde. Wenn der Taster anschließend wieder herausgezogen wird, bleibt die Anlage weiterhin so lange stehen, bis der Reset-Taster gedrückt wird.

Geben Sie dem Benutzer Hinweise zur Bedienung der Anlage über die LEDs an den Tastern.

2.3. Zustandsanzeigen

Die farbigen Anzeigeleuchten signalisieren folgende Anlagenzustände:

Grün Bandanlage in Betrieb. Dauerleuchten beim Normalbetrieb. Blinklicht beim Kalibrierungsvorgang.

Gelb Blinklicht beim Aussortieren der Werkstücke und anderen Warnungen.

Rot Fehler- und Quittierungszustand:

Bei Fehlermeldesystemen müssen unterschiedliche Zustände signalisiert werden. Wenn ein Fehler neu aufgetreten ist, hat er den Zustand *anstehend unquittiert*. Nun sieht ein Bediener den Fehler (der immer noch ansteht), und teilt dies dem Meldesystem durch Drücken der *Quittierungstaste* mit. Der Fehler wechselt in den Zustand *anstehend quittiert*. Wenn nun der Fehler behoben wird, der Fehler-Signaleingang also den Wert *OK* hat, wechselt der Fehler in den Zustand *OK*. Dieser Zustand wird nicht gesondert angezeigt. Weiterhin ist noch denkbar, dass sich der Fehler von selbst repariert hat, ohne dass das Bedienpersonal ihn zur Kenntnis genommen hat. Dies ist der Zustand *gegangen unquittiert*.

In dieser vollen Breite lässt sich die Fehlersignalisierung nur durchführen, wenn es einen *Signaleingang* gibt, der einen Fehler signalisiert.

Die Laufzeitüberwachungsfehler für die Werkstücke gehen nach dem Drücken der Quittungstaste direkt in den Zustand *OK*.

Die Fehlerzustände sollen folgendermaßen signalisiert werden:

OK Leuchte AUS

anstehend unquittiert schnelles Blinken (1 Hz)

anstehend quittiert Dauerlicht

gegangen unquittiert langsames Blinken (0,5 Hz)

2.4. Ergänzung der Spezifikation

Trotz des Umfangs dieses Dokumentes ist die Aufgabe *unterspezifiziert*. Ein Teil Ihrer Tätigkeit besteht also darin, mit Ihrem Betreuer die Spezifikation zu *präzisieren* (und das Resultat schriftlich zu dokumentieren).

2.5. Dokumentation

Grundsatz: Alle Absprachen, sowohl innerhalb des Teams, als auch mit dem Betreuer, müssen Sie schriftlich dokumentieren.

Erstellen und bearbeiten Sie im Laufe des Praktikums das RDT (Requirements, Design and Test Document). Im EMIL finden Sie das entsprechende Template, welches Sie für die Erstellung des RDT nehmen sollen. In dem Template finden Sie Vorgaben für die Strukturierung des Inhalts. Sprechen Sie mit Ihrem Betreuer ab, welche Aspekte wesentlich sind.

3. Zusatz-Features

Je nach Größe des Teams werden die Grundfunktionalitäten um folgende Zusatz-Features erweitert. Die Auswahl der Zusatz-Features erfolgt in Absprache mit der/dem BetreuerIn und ist schriftlich festzuhalten. Die Milestones (Kapitel 4) sind ebenfalls entsprechend anzupassen und zu erweitern.

3.1. Embedded Recorder

Der Embedded Recorder zeichnet Ereignisse vom Band auf und dient dem Debugging, automatisiertem Test, und der Post-Mortem-Analyse. Der Embedded Recorder kann die Ereignisse in eine Datei ablegen und verfügt über eine Replay Funktion. Die *Replay* Funktion bietet dem Benutzer die Möglichkeit, die gespeicherten Ereignisse in die Software zurückzuspeisen. Dadurch kann sich die Produktionsanlage ohne Werkstück genauso verhalten wie im Moment der Daten-Aufnahme. Diese Funktion ist besonders geeignet zum Testen. Die Darstellung der aufgezeichneten Ereignisse soll für Menschen lesbar und leicht nachvollziehbar erfolgen.

3.2. Farberkennung

Mittels einer Kamera soll auf dem Förderbandmodul 1 die Farbe des Werkstücks erkannt werden. Für die Farberkennung ist eine Anlage mit einer Kamerahalterung und Farbtafeln für die dynamische Farbwertkalibrierung ausgestattet. Als Kamerasysteme stehen eine Pixy-Cam oder ein Raspberry Pi mit Kamera zur Verfügung. In beiden Systemen ist bereits eine Farberkennung implementiert (Dokumentation finden Sie im EMIL, HW und SW bei Herrn Christophers). Aufgabe ist es, diese Systeme so zu integrieren, dass alle rote Werkstücke vom Förderbandmodul 1 aussortiert werden.

3.3. Drittes Förderbandmodul

Zusätzlich zu dem Aufbau mit zwei Förderbandmodulen soll noch ein drittes Förderbandmodul dahinter geschaltet sein, das alle Werkstücke, die am Ende des zweiten Förderbandmoduls ankommen, in einer schnellen Geschwindigkeit durchtransportiert.

3.4. Remote Control über LAN

Die Sortieranlage soll über einen PC aus der Ferne (remote) überwacht und vom Personal gesteuert werden, z.B. Anzeigen des Zustands der Anlage, Fehlerzustände, Informationen über die Werkstücke, Steuerung des Motors und der Weiche, etc.¹

¹Die Sortierlogik aus Kapitel 2 ist für dieses Feature obsolet.

4. Milestones

Das Projekt ist in Milestones aufgebaut, zu denen Sie bestimmte Aufgaben realisiert haben sollen. Die Milestones werden an den Praktikumsterminen von Ihrem Betreuer/in abgenommen. Sie müssen alle Milestones erfolgreich bestanden haben, um das Praktikum zu bestehen. Vereinbaren Sie mit dem Betreuer geeignete weitere Milestones!

4.1. Arten von Milestones

Es wird zwischen Kunden-Deadlines und Empfehlungen unterschieden.

1. **Kunden-Deadlines:** Der Betreuer nimmt die Rolle eines Kunden ein und begutachtet die Funktion des Systems bzw. die Erfüllung seiner Anforderungen. Das ist der Zeitpunkt, wo alle Artefakte dem Kunden vorliegen müssen und die Programme lauffähig und getestet sind.
2. **Empfehlungen:** Wir empfehlen, mit der Be- und Abarbeitung des Milestones begonnen zu haben.

4.2. Abnahmezustände der Milestones

1. Milestone bestanden

- Der Milestone ist bestanden, wenn alle Kunden-Deadlines zum jeweiligen Termin vom Betreuer erfolgreich abgenommen sind.

2. Milestone mit Nachbesserungen bestanden

- Nachbesserungen sind spätestens zum Beginn des nächsten Praktikumtermins nachzureichen.

3. Milestone nicht bestanden

- Ein Milestone gilt als nicht bestanden, wenn ihre Nachbesserungen immer noch nicht ausreichend sind.

4.3. Abnahme von Milestones

- Am angekündigten Praktikumstermin muss zum Anfang des Praktikumstermins der Milestone erfüllt sein.
- Die Praktikumsgruppe erstellt eine Abnahme-Liste zum entsprechenden Milestone. Die Punkte der Liste werden dem Betreuer einzeln vorgeführt und abgenommen.
- Kriterien für alle Milestones
 - Milestone-spezifische Tests / Vorführungen
 - Durchgehende In-Code-Dokumentation (Doxygen-kompatibel)
 - RDT liegt als ein Dokument in Papier- oder pdf-Form vor
 - Alle zum Milestone gehörenden Artefakte sind auf dem Master-Branch
 - Die Aufwände für das Erreichen des Milestones sind dokumentiert



4.4. Milestone-Beschreibungen

Auf den folgenden Seiten werden sinnvolle Projekt-Milestones vorgeschlagen.

Hinweise:

Sie können in Absprache mit Ihrem Betreuer eigene Milestones **schriftlich** festlegen.

4.4.1. Milestone 0: Teamorganisation (Ende erste Vorlesungswoche)

Kunden-Deadlines:

- Geben Sie dem Kunden Zugriff auf das Repository.
- Im Repository ist ein README für das Team und den Kunden angelegt, in dem die Namen der Teammitglieder mit E-Mail-Adresse eingetragen sind.

Empfehlungen:

- Sie haben ein Team gebildet und den Projektleiter bestimmt.
- Sie haben eine Codeverwaltung in einem Versionskontrollsystem Ihrer Wahl aufgesetzt.

4.4.2. Milestone 1: Aufsetzen des Projekts und Anforderungsanalyse (Ende des 1. Praktikumstermins)

Kunden-Deadlines:

- Anforderungsanalyse
 - Ausarbeitung typischer Anwendungsszenarien und Darstellung im RDT
 - Ausarbeitung von Software-Requirements
- Programmierung
 - Einfache Ansteuerung der Ampel der Anlage

Empfehlungen:

- C++-Projekt in Momentics wurde aufgesetzt
- Benutzung der STL-Threads
- Testkonzept für die Abnahme

4.4.3. Architektur, HAL der Aktorik und serielle Kommunikation (2. Praktikumstermin)

Kunden-Deadlines:

- Festlegung des SW-Entwicklungsprozesses und der Rollen der Team-Mitglieder
- HAL der Aktorik lauffähig
 - Schnittstelle für gesamte Aktorik dokumentiert
 - Implementation ist thread-safe
- Test der Aktorik-HAL
- Interface zur Übertragung einzelner Bytes über die serielle Schnittstelle

Empfehlungen:

- System Struktur
 - Software-Architektur mit UML Komponentendiagramm
 - Auswahl von Pattern
 - Datenmodell mit UML Klassendiagramm
- Projektmanagement
 - Definition von Arbeitspaketen für den Projektmanagementplan
 - Festlegung des Testkonzepts
 - Festlegung weiterer Milestones für Gruppen mit Zusatzfeatures
- Modellierung/Design Anlagensteuerung
 - Modellierung der Anlagensteuerung mit Zustandsautomaten oder Petri-Netzen
 - Konsistente Architektur und Design. Der Entwurf soll so weit ausgereift sein, dass dieser zügig umgesetzt werden kann.
- Serielle Schnittstelle lauffähig
 - Übermitteln von Daten über die serielle Schnittstelle
 - Protokoll zur Datenübertragung
 - Test der seriellen Kommunikation

4.4.4. HAL der Sensorik und Modellierung der Steuerung (4. Praktikumstermin)

Kunden-Deadline:

- System Struktur fertiggestellt
- Projektplan fertiggestellt
- Projektmanagement (ab hier bei jedem Termin)
 - Review des Projektfortschritts

- Review der nächsten Schritte
- HAL der Sensorik
 - Schnittstelle für Aktorik dokumentiert
 - Realisation der Sensorik basierend auf ISRs und Pulse-Messages
 - Test der Sensorik-HAL

Empfehlungen:

- Modellierung/Design Anlagensteuerung
 - Konzept für die Weiterleitung der Sensorsignale zu verarbeitenden Komponenten
 - Geeignetes Pattern/Design für die Verarbeitung der Sensordaten ausgewählt
 - Modellierung der Anlagensteuerung beider Förderbänder mit Ausnahmebehandlung
 - Konsistente Architektur und Design. Der Entwurf soll so weit ausgereift sein, dass dieser zügig umgesetzt werden kann.

**4.4.5. Architektur und Zustandsautomat
(5. Praktikumstermin)**

Kunden-Deadline:

- Modell der Anlagensteuerung fertiggestellt und dokumentiert

Empfehlungen:

- Anlagensteuerung
 - Implementation der verarbeitenden Schicht
 - Test Funktionsfähigkeit, ein Förderband
 - Entwurf der Kommunikation zwischen den beiden Förderbändern

**4.4.6. Ablauf Fertigungsstraße
(6. Praktikumstermin)**

Empfehlungen:

- Anlagensteuerung
 - Ablaufsteuerung über beide Förderbänder implementiert (ohne Ausnahmebehandlung)
 - Testablauf mit allen Bauteilen arbeitet fehlerfrei und ist dokumentiert
- Timer
 - Timerklasse für zeitgesteuerte Ausnahmebehandlung implementiert
 - Timingverhalten bezüglich HW- und BS-Timer im RDT diskutiert

4.4.7. Milestone: Endgültige Abnahme (8. Praktikumstermin)

Kunden-Deadlines:

- Implementation abgeschlossen und getestet (inklusive Ausnahmebehandlung)
- Abnahmetest vom Kunden auf fertiges System
- Dokumentation vollständig
- Lessons Learned dokumentiert
- Abschlussreflexion über das Projekt

5. Zuordnung der Projektkomponenten zu den Vorlesungen

Hier sind die wichtigsten Projektkomponenten und eine Zuordnung zu den Vorlesungen aufgelistet, in denen Sie Näheres über Entwurf und Implementierung dieser Komponenten lernen:

- I/O-Hilfsfunktionen für die Analog- und Binärein- und -ausgaben einschließlich ISRs für die Interruptbehandlung (Vorlesung SY, EP).
- Hilfsfunktionen für das Message Passing über die serielle Schnittstelle (Vorlesung SY).
- Eine *Laufzeitumgebung* für die Automaten (Vorlesungen EP).
- Implementierung der Automaten bzw. der Petri-Netze. (Vorlesung EP).
- Implementierung von Design Patterns, Architektur Patterns (Vorlesung SE1, EP).
- Anforderungsmanagement (Vorlesung SE1)
- SW Design und Analyse (Vorlesung SE1).
- Projektplanung, PSP Erstellung, Projektkontrolle (Vorlesung SE2).
- Konfigurationsmanagement (Vorlesung SE2)
- Teambildung, Team Work und andere soft skills (Vorlesung SE2)
- SW Entwicklungsprozesse (Vorlesung SE1 und SE2)
- Testen, Qualitätsmanagement, Test-Heuristiken (Vorlesungen SE1 und SE2).

6. Hilfen

- Alle Vorlesungsskripte von SE2, SY und EP, sowie praktikumsrelevante Informationen finden Sie im aktuellen EMIL-Lernraum mit dem Zugangscode: *esep*. Insbesondere finden Sie hier:
 - Diese Aufgabenstellung
 - Das RDT-Template
 - Die Vorlesungsskripte der beteiligten Professoren.
- Vorlesungsskript von SE1 finden Sie im vergangenen Semester mit dem Zugangscode: *uml*.
- Jeder der beteiligten Professoren bietet Unterstützung für das zuständige Fachgebiet an, außerdem hat jede Gruppe einen betreuenden Professor, der am Ende des Projekts die Schlussabnahme macht.
- Nehmen Sie an dem angebotenen *Tutorium* teil. Dort werden grundlegende Fragen zum Praktikum und Vorlesungen geklärt, außerdem wird ein Schnellstart in der Sprache C++ mit vermittelt.

A. Anhang

A.1. Anlagenschema

Das Festo-Transfersystem besteht im wesentlichen aus einem Förderband, auf dem Werkstücke mit Sensoren erfasst bzw. untersucht werden können. über eine Weiche können Werkstücke in eine Rusche umgeleitet werden. Zusätzlich sind Bedientaster angebracht. Der schematische Aufbau kann dem Screenshot der Simulationssoftware (Abb. 3) entnommen werden.

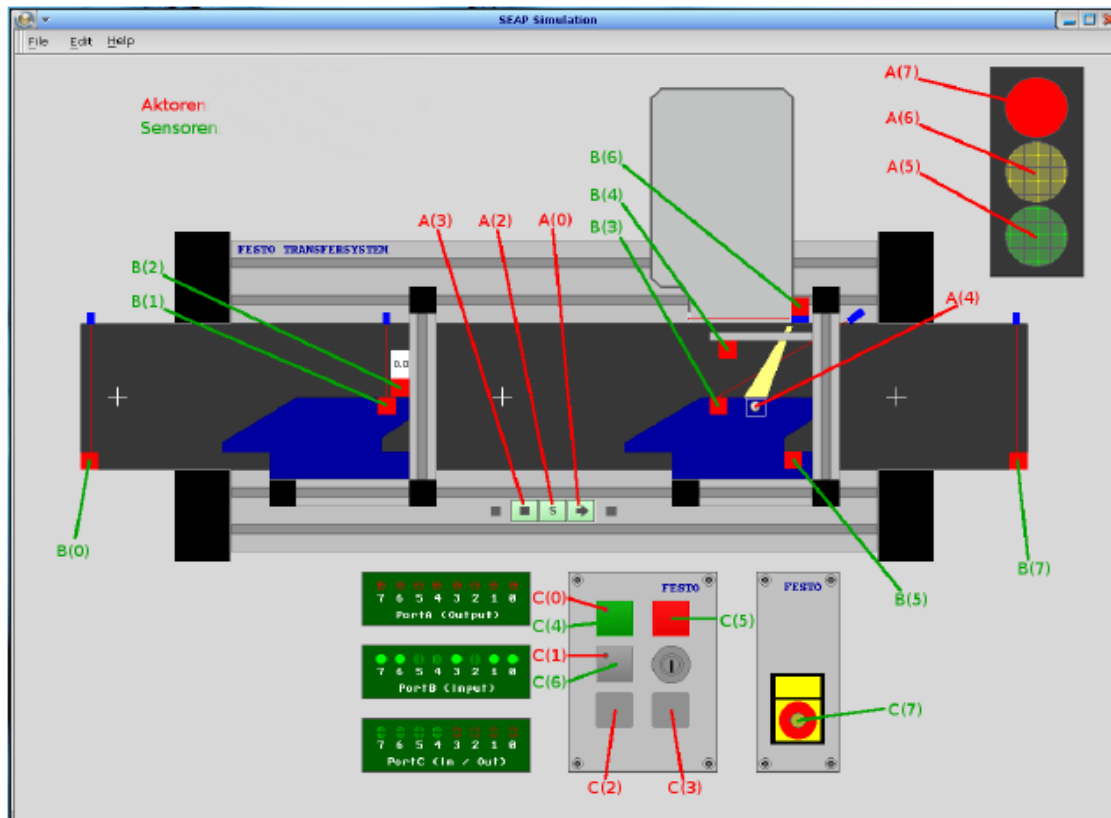


Abbildung 3: Anlagenschema

Festo Signale am Beaglebone Black

GPIO 0, folgende Bits sind Eingänge

Bit	Funktion
2	Werkstück im Einlauf = low when true
3	Werkstück in Höhenmessung = low when true
4	Werkstück Höhe OK = high when true
5	Werkstück in Weiche = low when true
7	Werkstück Metall = high when true
14	Weiche offen = high when true
15	Rutsche voll = low when true
20	Werkstück im Auslauf = low when true
22	TasteStart = high, wenn betätigt
23	TasteStop = low, wenn betätigt
26	TasteReset = high, wenn betätigt
27	E-Stop = low, wenn betätigt

GPIO 1, folgende Bits sind Ausgänge:

Bit	Funktion
12	Motor Rechtslauf
13	Motor Linkslauf
14	Motor langsam
15	Motor Stop
16	Rote Lampe an
17	Gelbe Lampe an
18	Grüne Lampe an
19	Weiche öffnen

GPIO 2, folgende Bits sind Ausgänge:

Bit	Funktion
2	LED Taste Start
3	LED Taste Reset
4	Signalleuchte Q1
5	Signalleuchte Q2