Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Software Engineering II
Wintersemester 2014/2015

Requirements and Design Documentation

Praktikums-Gruppe: 2.3

Name	Vorname	Matrikel-Nr.	E-Mail
Kirstein	Katja	2125137	katja.kirstein@haw-hamburg.de
Kowalka	Anne-Lena	2081899	anne-lena.kowalka@haw-hamburg.de
Triebe	Marian	2124897	marian.triebe@haw-hamburg.de
Winter	Eugen	2081992	eugen.winter@haw-hamburg.de

15. Dezember 2014*

*Dokument-Version: 0.93

Versionsverlauf

Version	Autor	Datum	Anmerkungen
0.1	Thomas Lehmann	17.09.2014	Überarbeitung des Templates
0.2	Anne-Lena Kowalka	07.10.2014	Use-Cases samt Diagramm, Requirements und Arbeitspakete hinzugefügt
0.3	Eugen Winter	16.10.2014	Abnahmetests hinzugefügt
0.4	Eugen Winter	02.11.2014	RDD als LaTeX-Dokument erstellt
0.5	Anne-Lena Kowalka	05.11.2014	Diverse Updates, Softwarearchitektur konkretisiert in Komponenten-Diagramm, Testprotokoll hinzugefügt
0.6	Eugen Winter	11.11.2014	Umlaute in .tex-Datei geändert und Formatierungen an den Tabellen vorgenommen.
0.7	Eugen Winter	13.11.2014	Interrupt Implementierung und Automaten Diagramme hinzugefügt.
0.8	Alle Team-Mitglieder	27.11.2014	Implementierungen von Dispatcher, Automaten und Timer hinzugefügt. Unit-/Komponenten-Tests für HAL, IRQ, Dispatcher und Timer hinzugefügt.
0.5	Anne-Lena Kowalka	05.11.2014	Diverse Updates, Softwarearchitektur konkretisiert in Komponenten-Diagramm, Testprotokoll hinzugefügt
0.6	Eugen Winter	11.11.2014	Umlaute in .tex-Datei geändert und Formatierungen an den Tabellen vorgenommen.
0.7	Eugen Winter	13.11.2014	Interrupt Implementierung und Automaten Diagramme hinzugefügt.
0.8	Alle Team-Mitglieder	27.11.2014	Implementierungen von Dispatcher, Automaten und Timer hinzugefügt. Unit-/Komponenten-Tests für HAL, IRQ, Dispatcher und Timer hinzugefügt.
0.9	Eugen Winter	02.12.2014	Timer-Werte und Öffnungsdauer der Weiche in den Non-functional Requirements angepasst und separate Seite für den Versionsverlauf im RDD erstellt.
0.91	Anne-Lena Kowalka	03.12.2014	Allgemeine Überarbeitung, Repository-Konzept aktualisiert, Requirements angepasst, System-Test-Szenarien hinzugefügt
0.92	Anne-Lena Kowalka	10.12.2014	Update Requirements, Use-Case hinzugefügt (UC4), Use-Case-Diagramm angepasst
0.93	Marian Triebe	13.12.2014	Regressions-Tests aktualisiert, "Lessons Learned" begonnen

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation

Es gilt, eine Werkstück-Sortieranlage zu programmieren. Die Anlage besteht aus zwei Förderbändern, die durch eine serielle Schnittstelle miteinander verbunden sind und jeweils durch einen eigenen GEME-Rechner angesteuert werden. Es gibt drei Werkstücke unterschiedlicher Art (flach, mit Bohrung und Metall, mit Bohrung ohne Metall). Am Ende von Band 2 sollen nur normal hohe Werkstücke mit Bohrung nach oben ankommen, wobei sich Werkstücke mit bzw. ohne Metall abwechseln.

2 Team-Organisation

2.1 Verantwortlichkeiten

Entscheidungen werden gemeinsam im Team gefällt.
Ansprechpartner gesamtes Team: Eugen Winter
Github-Verwaltung: Marian Triebe
Protokollführerin: Anne-Lena Kowalka
RDD-Führerin: Anne-Lena Kowalka
Implementierung: Katja Kirstein, Anne-Lena Kowalka, Marian Triebe, Eugen Winter
Testen: Katja Kirstein, Anne-Lena Kowalka, Marian Triebe, Eugen Winter

2.2 Absprachen

Termin für Meetings: Freitags 14:00 (Stand: 26.9.2014)
Weitere Termine: Nach Absprache

3 Projektplan

3.1 PSP/Zeitplan/Tracking

Verwendetes Vorgangsmodell: V-Modell

Termine der Milestones und Liste der Arbeitspakete:

1. Milestone (1. Praktikumstermin): **16.10.2014 | (OK am 21.10.2014)**
2. Milestone (2. Praktikumstermin): **23.10.2014 | (OK am 24.10.2014)**
3. Milestone (4. Praktikumstermin): **13.11.2014 | (OK am 15.11.2014)**
4. Milestone (5. Praktikumstermin): **27.11.2014 | (OK am 27.11.2014)**
5. Milestone (6. Praktikumstermin): **04.12.2014 | (verschoben auf den 18.12.2014)**
6. Milestone (7. Praktikumstermin): **18.12.2014**

*6. Milestone (8. Praktikumstermin): **15.01.2015 (Reserve)***

3.2 Arbeitspakete

Arbeitspaket	Dauer
Meeting abhalten	1,5 Stunden / Woche
Moderation & Agenda planen	0,5 Stunden / Woche
Protokollführung	1,0 Stunden / Woche
RDD bearbeiten	2,0 Stunden / Woche
Git-Repository Verwaltung	1,0 Stunden / Woche
Code-Qualität sicherstellen	1,0 Stunden / Woche
Debugging und Fehlerbehandlung	30,0 Stunden
Testing	16,0 Stunden
0. Milestone	
Kick-Off Meeting abhalten	1,0 Stunden
1. Milestone	
Interface für HAL erstellen	3,0 Stunden
Use-Cases feststellen	5,0 Stunden
Requirements feststellen	5,0 Stunden
UML-Diagramme erstellen	8,0 Stunden
Regressions-Tests planen	0,5 Stunden
2. Milestone	
Projektstrukturplan erstellen	3,0 Stunden
HAL der Aktorik implementieren	8,0 Stunden
Serielle Schnittstelle implementieren	4,0 Stunden
Testprogramm für Aktorik und serielle Schnittstelle erstellen	1,0 Stunden
3. Milestone	
Projektstrukturplan fertigstellen	3,0 Stunden
HAL der Sensorik implementieren (via ISRs und Pulse Messages)	8,0 Stunden
Anlagensteuerung mit Zustandsautomaten modellieren	2,0 Stunden
Regressions-Tests implementieren	7,5 Stunden
4. Milestone	
Callback-Mechanismus für Sensorik implementieren (Reactor Pattern)	6,0 Stunden
Testprogramm für Implementierung des Callback-Mechanismus erstellen	1,0 Stunden
Zustandsautomaten der Anlagensteuerung implementieren	8,0 Stunden
Testprogramm für Implementierung der Zustandsautomaten erstellen	1,0 Stunden
5. Milestone	
Ablauf über beide Förderbänder implementieren (ohne Ausnahmebehandlung)	5,0 Stunden
Dokumentation des fehlerfreien Testablaufs mit allen Bauteilen erstellen	2,0 Stunden
Timer für Ausnahmebehandlung implementieren	5,0 Stunden
Timingverhalten zwischen HW- und BS-Timer im RDD diskutiert	1,0 Stunden
6. Milestone	
Ablauf über beide Förderbänder implementieren (inkl. Ausnahmebehandlung)	40,0 Stunden
Bedienhandbuch für die Werkstück-Sortieranlage erstellen	10,0 Stunden
Abnahmetest erstellen	8,0 Stunden
Dokumentation vervollständigen (inkl. "Lessons Learned")	9,0 Stunden

3.3 Repository-Konzept

Coding Style: Google C++ Style Guide, konkrete Beschreibung im Anhang.

Branching Strategie: Die aktuelle Entwicklung findet auf dem *develop*-Branch statt. Es gibt die Möglichkeit, Feature-Branches auf Basis des *develop*-Branches zu erstellen. Rechtzeitig zu einem Praktikumstermin wird der aktuelle Entwicklungsstand auf den *master*-Branch verschoben.

3.4 Qualitätssicherung

Durch Testen nach jeder Phase, bzw. Unit-Tests, soll die Qualität sichergestellt werden.

4 Randbedingungen

4.1 Entwicklungsumgebung

Momentics IDE für QNX, Doxygen, Visual Paradigm

4.2 Werkzeuge

Betriebssystem: QNX und QNX-VM mit SEAP Simulation
Hardware: GEME Embedded Controller

4.3 Programmier-Sprachen

C++ (nur STL)

5 Requirements und Use-Cases

5.1 Stakeholder

- Entwickler
- Tester
- Kunde
- Betreuer
- Personal

5.2 Requirements

5.2.1 Functional Requirements

ID	Titel	Bereich	Beschreibung
FR-001	Typen von Werkstücken	Werkstück	Es gibt 3 Typen von Werkstücken:Zu flach, mit Bohrung, sowie mit und ohne Metalleinsatz.
FR-002	Anzahl der Förderbänder	Anlage	Für die Werkstück-Sortieranlage stehen 2 Förderbänder zur Verfügung.
FR-003.1	Ziel der Werkstück-Sortieranlage	Anlage	Am Ende von Band 2 sollen die Werkstücke im Wechsel mit und ohne Metalleinsatz ankommen.
FR-003.2	Ziel der Werkstück-Sortieranlage	Anlage	Am Ende von Band 2 sollen die einzelnen Werkstücke mit der Bohrung nach oben ankommen.
FR-004	Zuführung eines Werkstücks in die Werkstück-Sortieranlage	Anlage	Das Werkstück wird vom Personal an den Anfang von Band 1 in den Bereich der Lichtschranke gelegt.
FR-005.1	Entnahme eines Werkstücks aus der Werkstück-Sortieranlage	Anlage	Nach dem erfolgreichen Durchlaufen der Sortieranlage, wird das Werkstück am Ende von Band 2 vom Personal entnommen.
FR-005.2	Entnahme eines Werkstücks aus der Werkstück-Sortieranlage	Anlage	Sobald ein Werkstück am Ende von Band 2 entnommen wurde, läuft Band 2 direkt weiter, sofern auf Band 1 noch ein Werkstück auf den Weitertransport auf Band 2 wartet.
FR-006.1	Erkennen und Aussortieren von zu flachen Werkstücken	Sensorik	Zu flache Werkstücke werden auf Band 1 mit Hilfe der Höhenmessung erkannt.
FR-006.2	Erkennen und Aussortieren von zu flachen Werkstücken	Anlage	Nach der Erkennung werden zu flache Werkstücke auf Band 1 mit Hilfe der Weiche aussortiert.
FR-007.1	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Sensorik	Mit Hilfe der Höhenmessung erkennt Band 1, ob ein Werkstück mit der Bohrung nach oben oder unten auf das Band gelegt wurde.
FR-007.2	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Anlage	Das verkehrt liegende Werkstück mit der Bohrung nach unten wird an das Ende von Band 1 befördert und Band 1 hält an.
FR-007.3	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Anzeige	Die gelbe Signalleuchte der Ampelanlage von Band 1 signalisiert mit einem Blinken dem Personal, dass ein Wenden des Werkstücks notwendig ist.
FR-007.4	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Sensorik	Ein Timer wird beim Eintreten in den wartenden Zustand gestartet und räumt dem Personal zum Wenden des Werkstücks eine Zeit von 15 Sekunden ein.
FR-007.5	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Personal	Das Personal wendet das Werkstück von Hand mit der Bohrung nach oben, legt es zurück in die Ausgangslichtschranke von Band 1 und betätigt die Start-Taste, um den Normalbetrieb wieder aufzunehmen.
FR-007.6	Erkennen und Ausrichten verkehrt liegender Werkstücke	Fehler	Es kommt zu einem Fehler, wenn das Werkstück nicht innerhalb von 15 Sekunden gewendet worden ist.

ID	Titel	Bereich	Beschreibung
FR-008.1	Erkennen und Aussortieren verkehrt liegender Werkstücke	Sensorik	Mit Hilfe der Höhenmessung erkennt Band 2, ob ein Werkstück mit der Bohrung nach unten auf dem Band liegt.
FR-008.2	Erkennen und Aussortieren verkehrt liegender Werkstücke	Anlage	Nach Erkennung eines verkehrt liegenden Werkstücks auf Band 2, wird dieses mit Hilfe der Weiche aussortiert.
FR-009.1	Einhalten der korrekten Reihenfolge der Werkstücke	Sensorik	Mit Hilfe des Metallsensors auf Band 2 wird erkannt, ob hintereinander zwei gleichartige Werkstücke (mit/ohne Metalleinsatz) befördert worden sind.
FR-009.2	Einhalten der korrekten Reihenfolge der Werkstücke	Anlage	Nach Erkennung der falschen Reihenfolge wird das betroffene Werkstück an den Anfang von Band 2 befördert.
FR-009.3	Einhalten der korrekten Reihenfolge der Werkstücke	Anzeige	Die gelbe Signalleuchte der Ampelanlage von Band 2 signalisiert mit einem Blinken dem Personal, dass ein Entfernen des Werkstücks notwendig ist.
FR-009.4	Einhalten der korrekten Reihenfolge der Werkstücke	Personal	Das Personal entfernt das betroffene Werkstück von Hand
FR-010	Hinzufügen von Werkstücken auf Anfang von Band 1	Anlage	Es dürfen, sobald der Anfang mit der Lichtschranke von Band 1 frei ist, weitere Werkstücke auf den Anfang von Band 1 gelegt werden.
FR-011	Anzahl der Werkstücke auf Band 1	Anlage	Es dürfen sich maximal fünf Werkstücke zeitgleich auf Band 1 befinden.
FR-012.1	Übergabe von Werkstücken von Band 1 an Band 2	Anlage	Die Werkstücke von Band 1 werden einzeln an Band 2 übergeben, wenn dieses frei ist.
FR-012.2	Übergabe von Werkstücken von Band 1 an Band 2	Anlage	Es darf sich nur ein Werkstück zeitgleich auf Band 2 befinden.
FR-013	Identifizieren eines Werkstücks	Werkstück	Jedes Werkstück bekommt intern nach der Vermessung auf Band 1 eindeutige Werkstück-Eigenschaften zugewiesen.
FR-014	Zusammensetzung der Werkstück-Eigenschaften	Anlage	Die Werkstück-Eigenschaften beinhalten: ID aus fortlaufender Zahl, Typ des Werkstücks (zu flach, mit Metalleinsatz, ohne Metalleinsatz, Bohrung nach oben, Bohrung nach unten) und den Höhenmesswerten von Band 1 und Band 2.
FR-015.1	Ausgeben der Werkstück-Eigenschaften	Anlage	Wenn ein Werkstück das Ende von Band 1 erreicht hat, werden die ID und der Höhenmesswert von Band 1 auf der Konsole ausgegeben.
FR-015.2	Ausgeben der Werkstück-Eigenschaften	Anlage	Wenn ein Werkstück das Ende von Band 2 erreicht hat, werden die ID, der Typ und die Höhenmesswerte auf den Terminals von Band 1 und Band 2 ausgegeben.
FR-016	Ampelanlage	Anzeige	Die Werkstück-Sortieranlage besitzt an beiden Bändern jeweils eine Ampelanlage, mit der sich der Betriebszustand des jeweiligen Bandes und der gesamten Anlage abbilden lässt.
FR-017	Grüne Signalleuchte	Anzeige	Die grüne Signalleuchte der jeweiligen Ampelanlage signalisiert den fehlerfreien Betrieb.

ID	Titel	Bereich	Beschreibung
FR-018.1	Gelbe Signalleuchte	Anzeige	Die gelbe Signalleuchte von Band 1 signalisiert einen Hinweis an das Personal das Werkstück von Hand mit der Bohrung nach oben zu drehen.
FR-018.2	Gelbe Signalleuchte	Anzeige	Die gelbe Signalleuchte von Band 2 signalisiert einen Hinweis an das Personal, das Werkstück vom Anfang (bei falscher Reihenfolge) oder Ende (bei Beendigung eines Durchlaufs) des Bandes zu entfernen.
FR-019.1	Rote Signalleuchte	Anzeige	Die Anlage besitzt eine rote Signalleuchte um zu signalisieren, dass ein Fehler aufgetreten ist: Rutsche voll; zu lange Laufzeit; zu kurze Laufzeit.
FR-019.2	Rote Signalleuchte	Anzeige	Ein nicht quittierter Fehler lässt die rote Signalleuchte schnell blinken (1Hz).
FR-019.3	Rote Signalleuchte	Anzeige	Die Quittierung eines Fehlers ändert das Blinken der roten Signalleuchte in ein Dauerlicht.
FR-019.4	Rote Signalleuchte	Anzeige	Ein Fehler, der verschwunden ist oder sich von selbst gelöst hat, lässt die rote Signalleuchte langsam blinken (0.5Hz).
FR-019.5	Rote Signalleuchte	Anzeige	Solange keine Fehler aufgetreten sind, ist die rote Signalleuchte erloschen.
FR-020	Ruhezustand	Anlage	Befinden sich keine Werkstücke auf den Bändern, sollen diese angehalten werden.
FR-021	Verschwinden von Werkstücken	Fehler	Bei zu langen Laufzeiten zwischen den Lichtschranken liegt ein Verschwinden des Werkstücks vor. Es wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Anlage stoppt.
FR-022	Hinzufügen von Werkstücken mitten auf dem Band	Fehler	Bei zu kurzen Laufzeiten zwischen den Lichtschranken wurde ein Werkstück mitten auf das Band gelegt. Es wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Anlage stoppt.
FR-023	Rutsche voll	Fehler	Bei zu vielen Werkstücken in der Rutsche für das Aussortieren fehlerhafter Werkstücke wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Anlage gestoppt.
FR-024.1	Ansteuerung der Weiche	Weiche	Die Weiche ist im geschlossenen Zustand stromlos und führt Strom, wenn sie geöffnet ist.
FR-024.2	Ansteuerung der Weiche	Gefahr	Eine dauerhaft geöffnete Weiche muss aufgrund von Überhitzung des Motors vermieden werden!
FR-025	Not-Aus der Anlage	Gefahr	Die Anlage darf erst nach einem Reset und einem erneuten Starten durch die Start-Taste wieder in Betrieb gehen und nicht bereits nach der Behebung des Fehlers!
FR-026	Bandlaufgeschwindigkeit bei Höhenmessung	Sensorik	Bei der Höhenmessung auf Band 1 und Band 2 werden die Werkstücke im langsamen Modus des Bandes befördert.
FR-027	Start-Taste	Taster	Die Anlage besitzt eine Start-Taste samt zugehöriger Leuchte zum Einschalten der Anlage.
FR-028	Stopp-Taste	Taster	Die Anlage besitzt eine Stopp-Taste zum Stoppen des Förderbandes.

ID	Titel	Bereich	Beschreibung
FR-029.1	Reset-Taste	Taster	Die Anlage besitzt eine Reset-Taste samt zugehöriger Leuchte zur Quittierung von Fehlern im Betrieb der Anlage.
FR-029.2	Reset-Taste	Taster	Jeder Fehler muss zuerst quittiert werden. Erst dann kann der Normalbetrieb durch das Betätigen der Start-Taste wieder aufgenommen werden.
FR-030.1	E-Stopp-Taste	Taster	Die Anlage besitzt eine E-Stopp-Taste zur Schnellabschaltung und Stilllegung der gesamten Werkstück-Sortieranlage.
FR-030.2	E-Stopp-Taste	Taster	Die E-Stopp-Taste ist LOW-aktiv.
FR-030.3	E-Stopp-Taste	Taster	Nach Betätigung der E-Stopp-Taste muss das Programm neu gestartet werden.

5.2.2 Non-functional Requirements

ID	Titel	Bereich	Beschreibung
NFR-001	Timer für das Wenden eines Werkstücks am Ende von Band 1	Sensorik	Nachdem erkannt wird, dass ein Werkstück mit der Bohrung nach unten auf Band 1 liegt, wird es in die Lichtschranke am Ende von Band 1 gefahren und es läuft ein Timer für 15 Sekunden. In dieser Zeit muss das Werkstück vom Personal gewendet werden, ansonsten wird eine Fehlermeldung ausgelöst.
NFR-002	Timer für das Entfernen eines Werkstücks in falscher Reihenfolge am Anfang von Band 2	Sensorik	Nachdem das korrekt sortierte Werkstück in falscher Reihenfolge auf Band 2 erkannt wurde, fährt es in die Lichtschranke am Anfang von Band 2 zurück und es läuft ein Timer für 15 Sekunden. In dieser Zeit muss das Werkstück vom Personal entfernt werden, ansonsten wird eine Fehlermeldung ausgelöst.
NFR-003	Timer für das Entfernen eines korrekt sortierten Werkstücks am Ende von Band 2	Sensorik	Nachdem das korrekt sortierte Werkstück das Ende der Lichtschranke von Band 2 erreicht hat, läuft ein Timer für 15 Sekunden. In dieser Zeit muss das Werkstück vom Personal entfernt werden, ansonsten wird eine Fehlermeldung ausgelöst.
NFR-004.1	Timer für die Beförderung eines Werkstücks durch die Werkstück-Sortieranlage	Sensorik	Ein korrektes Werkstück durchläuft die einzelnen Bänder der Werkstück-Sortieranlage jeweils innerhalb eines Intervalls von 12 Sekunden.
NFR-004.2	Timer für die Beförderung eines Werkstücks durch die Werkstück-Sortieranlage	Sensorik	Eine Laufzeitmessung durch die Lichtschranken von weniger als 6 Sekunden bedeutet, dass ein weiteres Werkstück unter Fremdeinwirkung auf das Band gelegt worden ist. Das Band wird angehalten und es wird eine Fehlermeldung ausgelöst.
NFR-004.3	Timer für die Beförderung eines Werkstücks durch die Werkstück-Sortieranlage	Sensorik	Eine Laufzeitmessung durch die Lichtschranken von mehr als 6 Sekunden bedeutet, dass ein Werkstück unter Fremdeinwirkung vom Band entfernt worden ist. Das Band wird angehalten und es wird eine Fehlermeldung ausgelöst.
NFR-005	Mindestabstand für das Hinzufügen neuer Werkstücke auf Band 1	Anlage	Nachdem ein Werkstück in die Lichtschranke am Anfang von Band 1 gelegt worden ist und das Band läuft, muss beim Hinzufügen des nächsten Werkstückes zwingend ein Mindestabstand von 5 Zentimetern eingehalten werden, da sonst ein reibungsloser Betrieb nicht mehr garantiert ist.
NFR-006	Öffnungsdauer der Weiche	Sensorik	Für das Durchlassen gültiger Werkstücke wird die Weiche geöffnet, nachdem ein gültiges Werkstück den Sensor für den Weichen-Bereich durchbrochen hat und wieder geschlossen, sobald das gültige Werkstück den Sensor des Weichen-Bereichs wieder verlassen hat.

5.3 Use-Cases

5.3.1 UC1

Titel: Akzeptiertes Werkstück
Akteur: Personal
Ziel: Werkstück kommt am Ende von Band 2 an
Auslöser: Ein Werkstück wird in die Lichtschranke am Anfang von Band 1 gelegt. B[0]=0

Vorbedingung:

1. Band 1 befindet sich im Betriebszustand
2. Die Lichtschranke am Anfang von Band 1 ist frei. B[0]=1

Nachbedingung:

- Keine

Erfolgsszenario:

1. Dem Werkstück wird eine ID vergeben
2. Die Höhe des Werkstückes wird durch den Höhenmesser ermittelt. B[1]=0
3. Die Höhe des Werkstücks ist im Toleranzbereich. B[1]=1
4. Die Weiche des ersten Bandes wird geöffnet und das Werkstück durchgelassen. B[2]=0 und B[5]=1
5. Die Weiche wird geschlossen. B[5]=0
6. Das Werkstück kommt auf Band 2, wenn dieses frei ist
7. Der Typ des Werkstücks wird festgelegt. Das Werkstück mit Bohrung nach oben und mit Metalleinsatz, bzw. ohne Metalleinsatz wird im Wechsel akzeptiert. (Metall-Kunststoff oder Kunststoff-Metall)
8. Die Weiche wird geöffnet und das Werkstück durchgelassen. B[2]=0 und B[5]=1
9. Die Weiche wird geschlossen. B[5]=0
10. Das Werkstück erreicht die Lichtschranke am Ende von Band 2. B[7]=0
11. Band 2 bleibt stehen
12. Das Werkstück wird vom Personal entfernt. B[7]=1

Fehlerszenario:

1. Das Werkstück liegt nicht im Toleranzbereich der Höhe und wird aussortiert
2. Die Kommunikation zwischen beiden Laufbändern funktioniert nicht
3. Die Reihenfolge der Werkstücke ist falsch
4. Werkstücke werden mitten im Betrieb hinzugefügt oder weggenommen

5.3.2 UC2

Titel: Nicht akzeptiertes Werkstück (zu flach)
Akteur: -
Ziel: Werkstücke die zu flach sind, werden von Band 1 aussortiert
Auslöser: Höhenmesser ermittelt die Höhe des Werkstücks. B[2]

Vorbedingung:

1. Band 1 befindet sich im Betriebszustand
2. Eingelegtes Werkstück ist zu flach

Nachbedingung:

- Aussortiertes Werkstück liegt in der Rutsche

Erfolgsszenario:

1. Die Höhe des Werkstückes wird durch den Höhenmesser ermittelt. B[1]=0
2. Das Werkstück ist zu flach. B[2]=1
3. Die Weiche bleibt im geschlossenen Zustand. B[5]=0
4. Das Werkstück wird aussortiert

Fehlerszenario:

1. Rutsche ist voll
2. Werkstück bleibt in der Lichtschranke hängen

5.3.3 UC3

Titel: Nicht akzeptiertes Werkstück auf Band 1 (Bohrung nach unten)
Akteur: Personal
Ziel: Werkstück am Ende von Band 1 wird mit der Bohrung nach oben umgedreht
Auslöser: Höhenmesser ermittelt die Höhe des Werkstücks. B[2]

Vorbedingung:

1. Band 1 befindet sich im Betriebszustand
2. Es befindet sich ein Werkstück auf Band 1

Nachbedingung:

- Ein Werkstück befindet sich am Ende von Band 1

Erfolgsszenario:

1. Die Höhe des Werkstückes wird durch den Höhenmesser ermittelt. B[1]=0
2. Ein Werkstück mit Bohrung nach unten wird erkannt
3. Die Weiche wird geöffnet und das Werkstück durchgelassen. B[2]=0 und B[5]=1
4. Das Werkstück wird am Ende von Band 1 von der Lichtschranke registriert
5. Das Band bleibt stehen und die gelbe Signalleuchte blinkt. A[6]=1
6. Das Personal dreht das Werkstück per Hand mit der Bohrung nach oben um
7. Das Personal betätigt die Start-Taste

5.3.4 UC4

Titel: Falsche Reihenfolge auf Band 2 (Metall-Metall oder Nicht-Metall - Nicht-Metall)
Akteur: Personal
Ziel: Werkstücke mit / ohne Metall kommen im Wechsel am Ende von Band 2 an
Auslöser: Metallsensor erfasst zwei Mal denselben Typ. B[2]

Vorbedingung:

1. Band 2 befindet sich im Betriebszustand
2. Werkstücke in falscher Reihenfolge auf Band 1

Nachbedingung:

- Die richtige Reihenfolge der Werkstücke ist wieder hergestellt

Erfolgsszenario:

1. Der Werkstück-Typ wird ermittelt. B[4]
2. Es wird erkannt, dass zweimal hintereinander derselbe Typ erfasst wurde
3. Das Werkstück fährt rückwärts an den Anfang von Band 2
4. Das Werkstück wird am Anfang von Band 2 von der Lichtschranke registriert
5. Das Band bleibt stehen und die gelbe Signalleuchte blinkt. A[6]=1
6. Das Personal entnimmt das Werkstück

5.3.5 UC5

Titel: Rutsche voll
Akteur: Personal
Ziel: Rutsche wieder frei. B[6]=1
Auslöser: Sensorik erkennt, dass die Rutsche voll ist. B[6]=0

Vorbedingung:

1. Band befindet sich im Betriebszustand
2. Die Rutsche ist voll

Nachbedingung:

1. Die Rutsche ist wieder frei für mindestens ein Werkstück
2. Das Band befindet sich im Betriebszustand. B[6]=1 und A[5]=1

Erfolgsszenario:

1. Band bleibt stehen. Rote Signalleuchte blinkt schnell (1Hz) → anstehend unquittiert. A[7]=1
2. Das Personal drückt die Reset-Taste → LED Reset-Taste leuchtet nicht mehr. C[1]=0
3. Rote Signalleuchte leuchtet (Dauerlicht) → anstehend quittiert. A[7]=1
4. Das Personal leert die Rutsche. B[6]=1
5. Das Personal bestätigt die Leerung der Rutsche durch Drücken der Start-Taste
6. Anlage läuft wieder → Rote Signalleuchte erlischt, grüne Signalleuchte leuchtet. A[7]=0 und A[5]=1

Fehlerszenario:

1. Das Personal leert die Rutsche, aber quittiert den Fehler nicht
2. Die Start-Taste wird nicht nach Leerung der Rutsche gedrückt
3. Der Fehler wird quittiert und die Anlage gestartet, ohne dass die Rutsche geleert wurde

5.3.6 UC6

Titel: Verschwinden von Werkstücken
Akteur: Personal
Ziel: Das Fehlen des erfassten Werkstückes wird durch die Anlage signalisiert
Auslöser: Das Programm meldet zu lange Laufzeiten zwischen Lichtschranken

Vorbedingung:

1. Band befindet sich im Betriebszustand
2. Ein Werkstück wird vom Band entfernt

Nachbedingung:

- Band läuft wieder (nur die grüne Signalleuchte leuchtet). A[5]=1

Erfolgsszenario:

1. Band bleibt stehen. Rote Signalleuchte blinkt schnell (1 Hz) → anstehend unquittiert. A[7]=1
2. Das Personal drückt die Reset-Taste → LED Reset-Taste leuchtet nicht mehr. C[1]=0
3. Rote Signalleuchte leuchtet nicht mehr
4. Das Personal betätigt die Start-Taste
5. Anlage läuft wieder → Grüne Signalleuchte leuchtet. A[7]=0 und A[5]=1

5.3.7 UC7

Titel: Hinzufügen von Werkstücken mitten auf dem Band
Akteur: Personal
Ziel: Das nicht erfasste Werkstück wird entfernt
Auslöser: Das Programm meldet zu kurze Laufzeiten zwischen Lichtschranken

Vorbedingung:

1. Band befindet sich im Betriebszustand
2. Ein Werkstück wird mittendrin auf das Band gelegt

Nachbedingung:

- Band läuft wieder (nur die grüne Signalleuchte leuchtet). A[5]=1

Erfolgsszenario:

1. Band bleibt stehen. Rote Lampe blinkt schnell (1 Hz) → anstehend unquittiert. A[7]=1
2. Personal drückt die Reset-Taste → LED Reset-Taste leuchtet nicht mehr. C[1]=0
3. Rote Lampe leuchtet (Dauerlicht) → anstehend quittiert. A[7]=1
4. Das Personal entfernt das Werkstück
5. Das Personal bestätigt das Entfernen des Werkstücks durch Drücken der Start-Taste
6. Anlage läuft wieder → Rote Signalleuchte erlischt, grüne Signalleuchte leuchtet. A[7]=0 und A[5]=1

Fehlerszenario:

1. Personal entfernt das Werkstück nicht
2. Personal entfernt das falsche Werkstück

5.3.8 UC8

Titel: Zurücksetzen des Bandes
Akteur: Personal
Ziel: Band in Ursprungszustand versetzen
Auslöser: Das Personal betätigt die Reset-Taste. C[6]=1

Vorbedingung:

- Band befindet sich im Betriebszustand

Nachbedingung:

- Auf der Anlage befindet sich kein Werkstück

Erfolgsszenario:

1. Das Band bleibt stehen
2. Das Personal entnimmt alle Werkstücke von der Anlage
3. Das Personal betätigt erneut die Reset-Taste. C[6]=0
4. Band ist betriebsbereit → Grüne Signalleuchte leuchtet. A[5]=1

5.3.9 UC9

Titel: Starten der Anlage nach Schnellabschaltung
Akteur: Personal
Ziel: Die gesamte Anlage ist wieder betriebsbereit
Auslöser: E-Stopp-Taste wird gedrückt. C[7]=0

Vorbedingung:

- Anlage ist angeschaltet

Nachbedingung:

- Band ist betriebsbereit. A[5]=1

Erfolgsszenario:

1. Die ganze Anlage (Band 1 und Band 2) steht still
2. Alle Ampeln sind aus
3. Alle Weichen sind geschlossen
4. Das Personal drückt die Start-Taste
5. Die Anlage läuft wieder

5.4 Use-Case-Diagramm

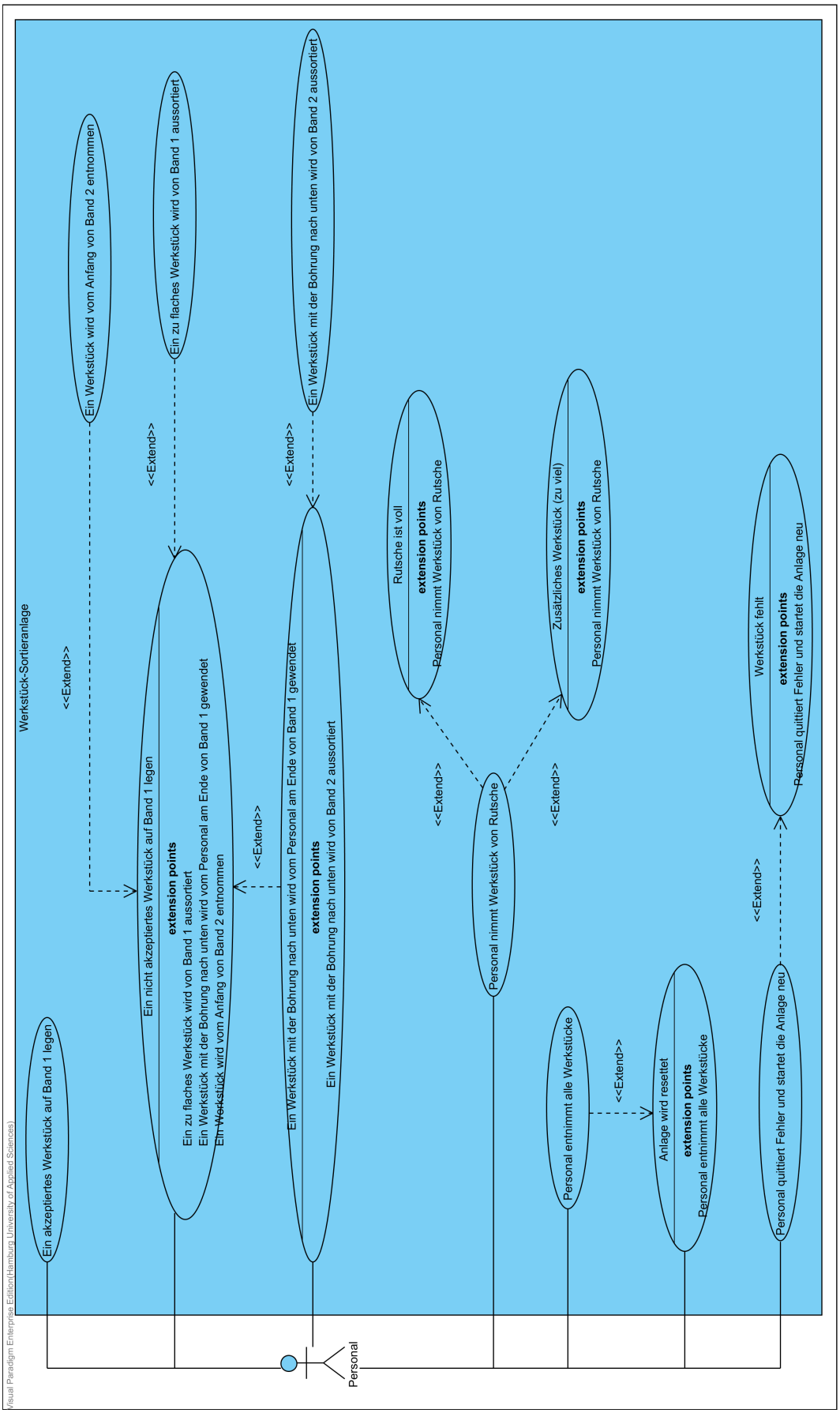


Abbildung 1: Use-Case-Diagramm

5.5 Systemanalyse

Das System wird über ein C++-Programm gesteuert, welches auf einem bzw. zwei (bei Nutzung von zwei Förderbändern) GEME-Rechnern läuft. Die Aktorik und Sensorik werden über 3 Ports angesteuert, wobei die Sensoren die Werte mittels Interrupts dem System mitteilen.
Die Kommunikation der beiden Förderbänder läuft über eine serielle Schnittstelle. Es werden hier z.B. die Messergebnisse von Band 1 an Band 2 übergeben, damit, wenn ein Puk das Ende von Band 2 erreicht, seine zugehörigen Daten ausgegeben werden können. Nachrichteneingänge über die serielle Schnittstelle werden ebenfalls durch Interrupts realisiert.

6 Design

6.1 System-Architektur

Das System verfügt über folgende Module: HAL zum Ansteuern/Auslesen der Aktorik und Sensorik, seriellen Bus zur Ansteuerung der seriellen Schnittstelle, FSM zur Anlagensteuerun, Dispatcher, der die Pulse Messages entgegennimmt, Timer zur Zeitmessung/-kontrolle und util(mutex, condvar, lockguard, logging, singleton_mgr, HAWThread, light_mgr). Des Weiteren gibt es zugehörige Unit-Tests.

6.1.1 Komponenten-Diagramm

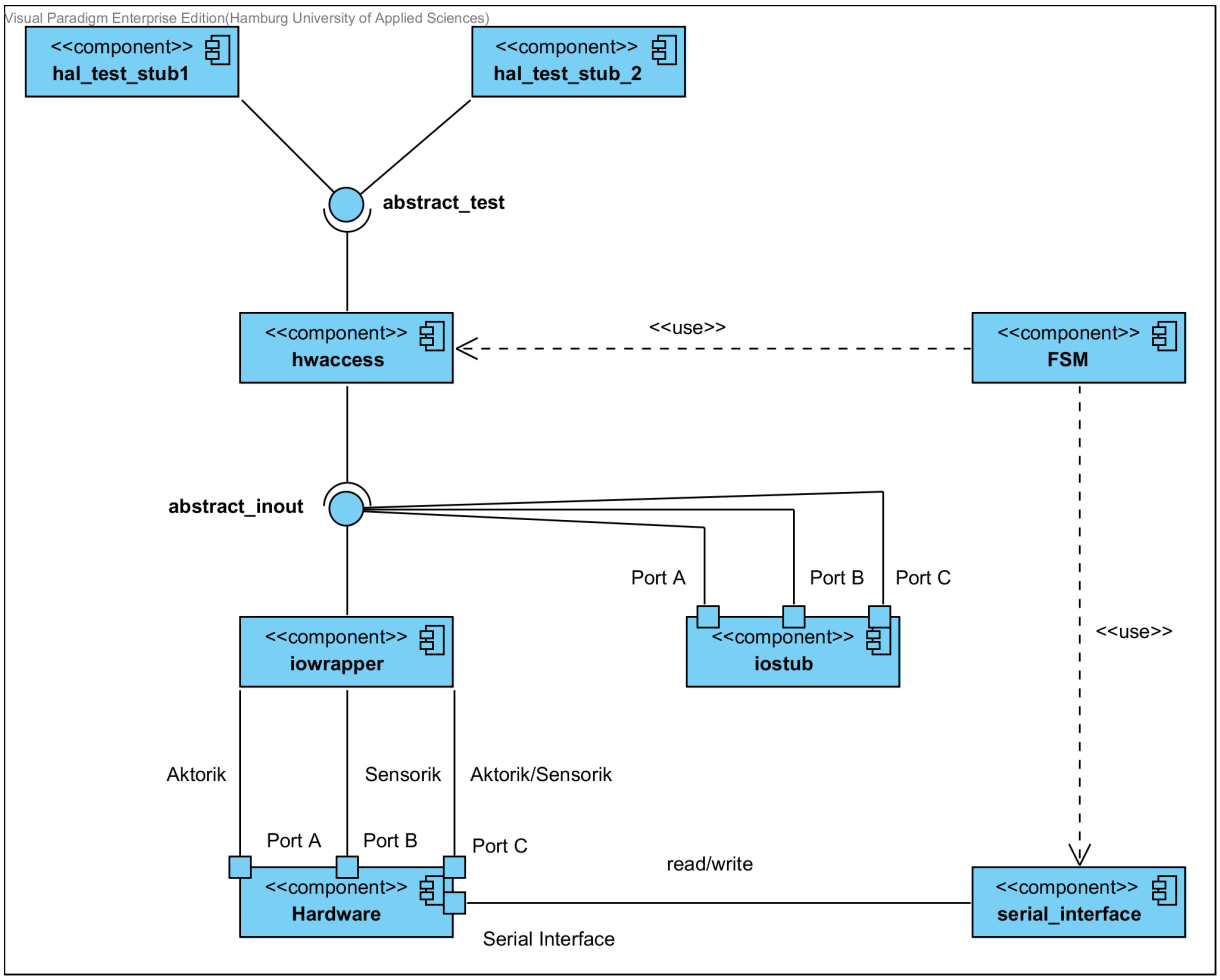


Abbildung 2: Komponenten-Diagramm

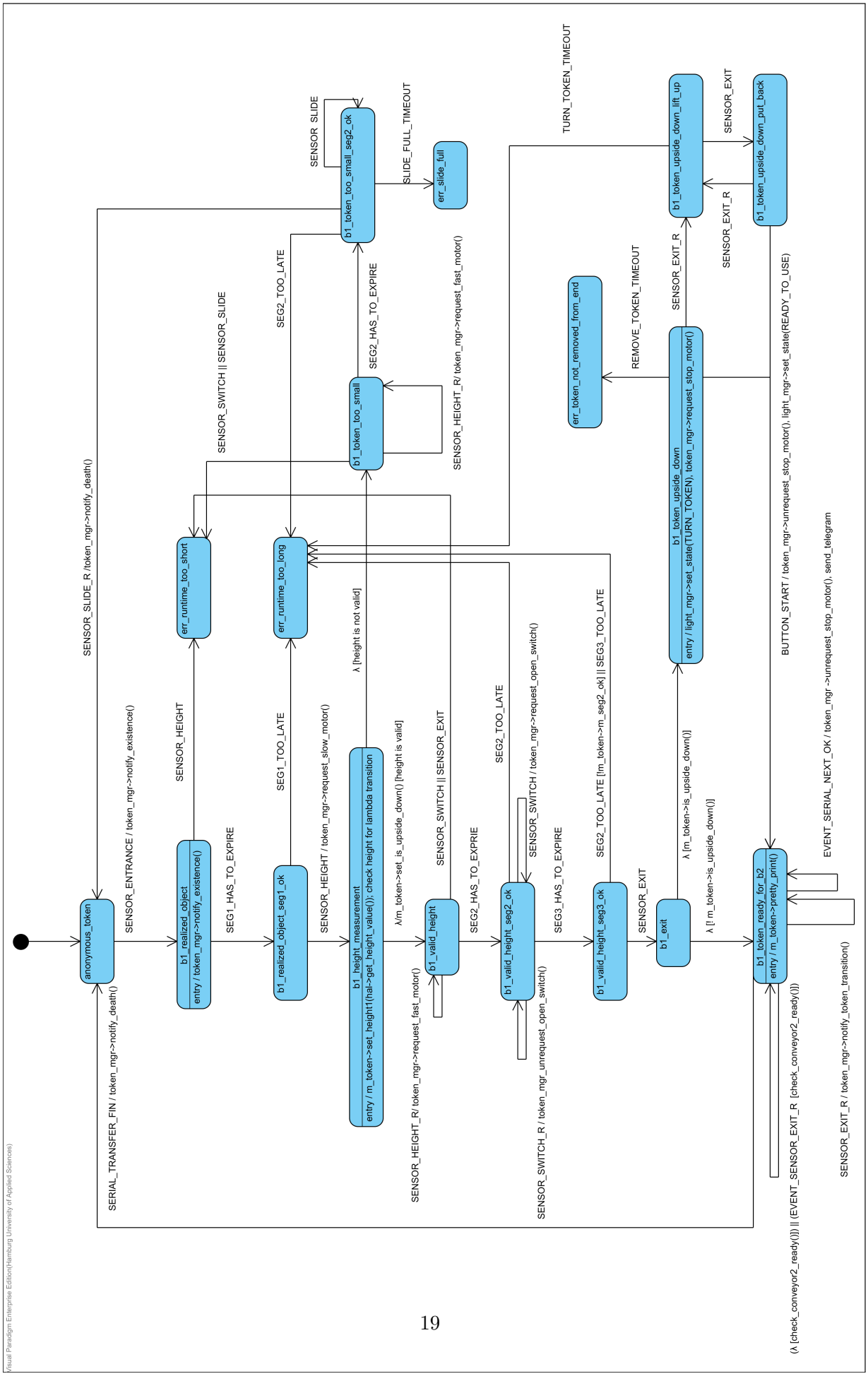
6.2 Datenmodell

siehe Klassendiagramm im imgs-Ordner

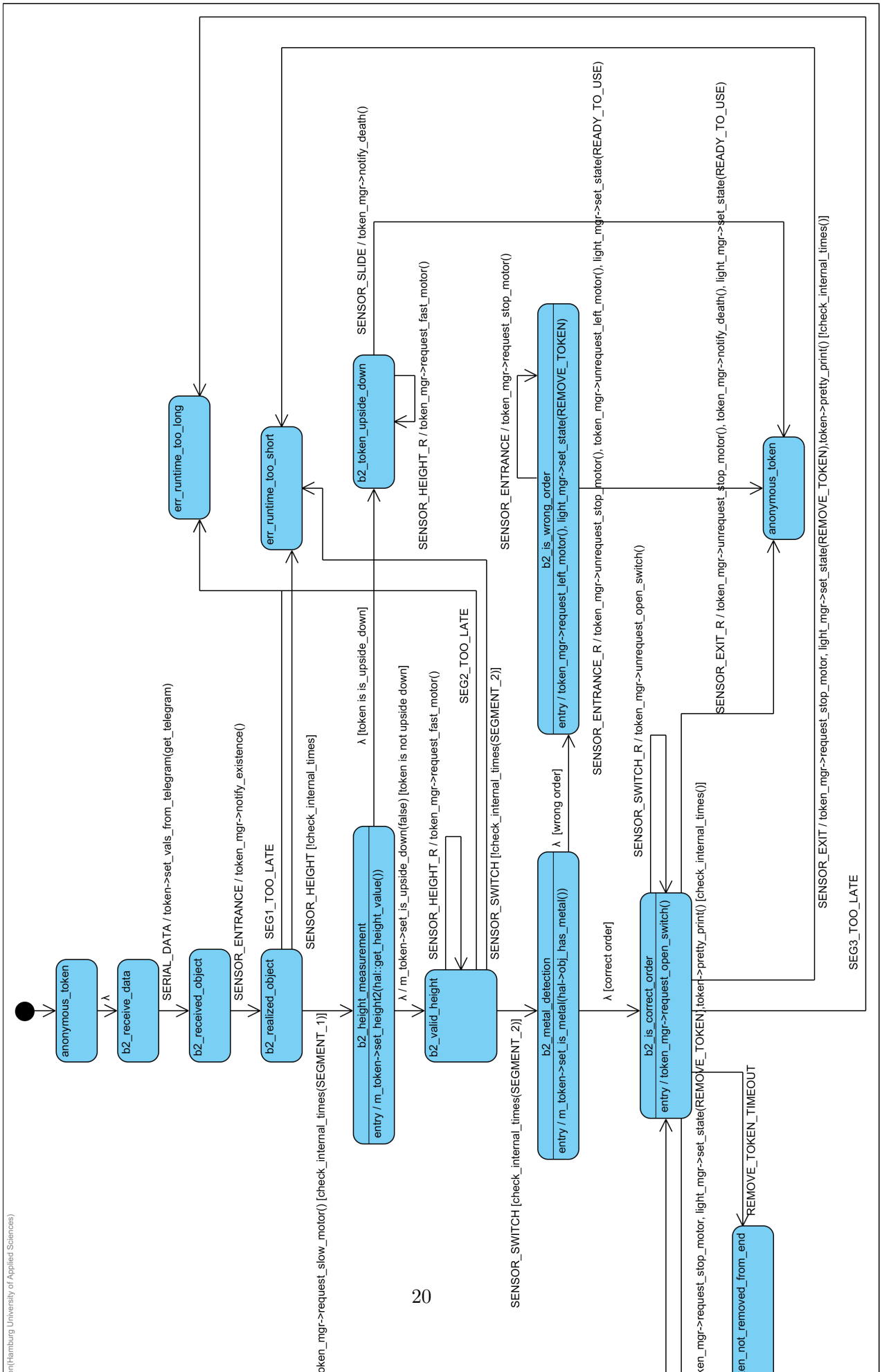
6.3 Verhaltensmodell

siehe Abbildungen 3-5 auf den Seiten 19-21

6.3.1 Automat für Band 1



6.3.2 Automat für Band 2



6.3.3 Automat für die Fehlerbehebung

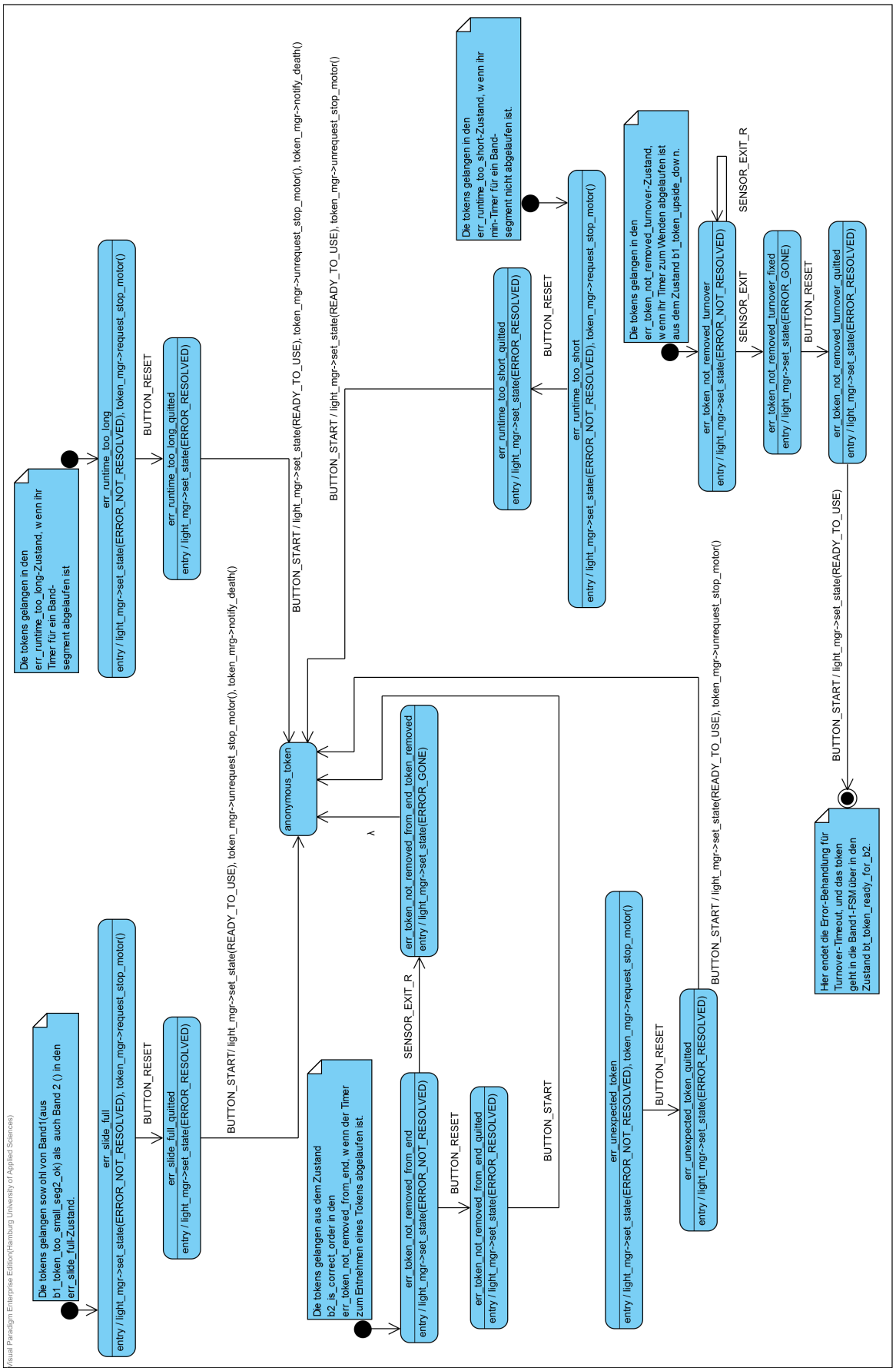


Abbildung 5: Automat für die Fehlerbehebung

7 Implementierung

7.1 Patterns

Scoped Locking, DCLP, Singelton, Delegator, Factory, Dispatcher-/Reactor-Pattern und GoF-State-Pattern nach Pareigis.

7.2 Interrupt-Implementierung

Die ISR soll eine Pulse Message generieren. Diese landet im Pulse Message Channel, der vom Dispatcher abgehört wird. Der Code in der Pulse Message spezifiziert die Quelle des Ereignisses. Als zusätzlicher Integer wird das geänderte Bit angehängt. Dabei wird Port A um 8 Bits nach links geschoben. Port B wird per Veroderung angehängt. Als Vergleich dienen die Port-Werte vor dem Interrupt. Um nun das geänderte Bit zu erkennen, werden aktueller Wert und alter Wert per Exklusiv-Oder verknüpft.

7.3 Dispatcher-Implementierung

Die Implementierung des Dispatchers verteilt Events (Eingangsereignisse) an angemeldete Zustände. Als Quellen für Eingangssignale dienen ISR, Timer, Serielle Schnittstelle. Intern werden die Signale nur an den ersten Zustand einer FIFO weitergereicht. Für jeden anmeldbaren Zustand gibt es eine eigene FIFO.
Als FIFO Container wurde die std::queue benutzt. Jede Queue geht über Pointer-to-Memberfunktionen.
Im System existiert ein Pulse Message-Channel, in den die Eingangssignalquellen Pulse Messages schreiben. Der Dispatcher implementiert einen eigenen Thread, der diese Pulse Messages aus dem Channel liest und die passende Pointer-to-Memberfunktion aufruft.

7.4 Automaten-Implementierung

Die Automaten werden nach dem GoF-State-Pattern nach Pareigis umgesetzt. Die Transition findet durch den Placement-New Operator statt. Die Kontext-Klasse *token* dient der Abbildung eines Pucks. In ihr werden die Eigenschaften des Pucks und dessen Zustand gespeichert.
Die Zustände des Pucks werden durch die Klasse *state* repräsentiert. Sie leitet sich von der Klasse *events* ab, die die Transitionen in Form von *pure virtual* Funktionen vorgibt.
Jeder Subzustand von *state* meldet sich für ein Event beim Dispatcher an und implementiert die Transition für diesen.
Der Start- und Endzustand eines jeden Tokens ist *anonymous_token*.
Der Dispatcher führt eine Queue über die Anzahl der maximal auf einem Band befindlichen Tokens, die mit dem Zustand *anonymous_token* vorinitialisiert werden.

7.5 Timer Implementierung

Die QNX eigenen Timer-Funktionen werden in *timer_wrapper* gewrapped, um von dem *timer_handler* verwaltet zu werden. Bei diesem *timer_handler* können Timer mit einer Zeitspanne registriert werden. Die registrierten Timer können pausiert, fortgesetzt, addiert, subtrahiert und gestoppt werden.

Timer werden eingesetzt:

- Um zu prüfen, ob Werkstücke hinzugefügt oder entfernt wurden
- Um zu prüfen, ob die Rutsche voll ist
- Um die Ampel blinken zu lassen

7.5.1 Diskussion der Hardware- und Betriebssystem-Timer

QNX stellt 3 Arten von Timern zu Verfügung:

- Realtime
- Monotonic
- Softtime

Der Realtime-Timer lässt sich durch Zeitänderung ein wenig manipulieren. Der Timer wird aktiv, sobald der Zeitpunkt: Timer-Zeit plus Startzeitpunkt erreicht wurde. Wenn z.B. die BS Zeit sich während des Timers synchronisiert und dadurch um einen Augenblick erhöht, so schlägt der Realtime-Timer trotzdem an dem errechneten Zeitpunkt an, auch wenn die Zeit in Wirklichkeit noch nicht verstrichen ist.
Der Monotonic-Timer hingegen lässt sich nicht von diesen Zeiten beeinflussen. Er zählt seine Takte und wenn diese erreicht wurden, wird er aktiv.
Ein Softtime-Timer ist nur aktiv, wenn auch die CPU läuft. Dieser Timer kann die CPU nicht wecken und schlägt erst Alarm, wenn er wieder aktiv ist.

8 Testen

8.1 Testplan

Da nach dem V-Modell vorgegangen wird, wird zu jedem Milestone die Funktionalität der für den Milestone benötigten Punkte getestet.

8.2 Unit-Test/Komponenten-Test

Es gibt Testfälle für die einzelnen Komponenten. Für die Unit-Tests steht eine Testumgebung zur Verfügung. Jeder Unit-Test muss das Unit-Test-Interface implementieren, damit diese automatisiert ausgeführt werden können.

8.2.1 HAL

Im Unit Test für die HAL werden 2 verschiedene Stubs verwendet. Die Hardware wird dafür nicht verwendet, da diese Stubs das Verhalten der Hardware emulieren. Alle Funktionen der HAL werden bei dem Test einmal durchlaufen und es wird geprüft, ob die Funktionen die erwarteten Rückgabewerte liefern.

8.2.2 IRQ

Der automatisierte IRQ/ISR Test öffnet einmal die Weiche. Dabei wird die Lichtschranke der Weiche unterbrochen, was eine Pulse Message generiert. Diese muss im Channel liegen.

8.2.3 Dispatcher

Für den Dispatcher gibt es verschiedene Unit-Tests. Zum einen wird getestet, ob das Mapping vom Event-enum zum internen Dispatched-Event-enum passt. Zum anderen wird geprüft, ob in dem Funktionsadressen-Array die korrekten Adressen liegen.
Ein weiterer Test prüft, ob der Dispatcher die Events sequenziell verteilt. Dazu gibt es eine FSM, die nur aus einem Zustand besteht, jedoch für jede Eingabe eine Transition auf sich selbst hat. Bei der Transition wird geprüft, ob das erhaltene Eingangssignal das erwartete Eingangssignal ist. Die FSM wird zweimal durchlaufen. Beim ersten Mal wird der Dispatcher-Thread umgangen, indem die Events direkt aufgerufen werden. Das zweite Mal schreibt Pulse Messages in den Channel, die vom Dispatcher verteilt werden.

8.2.4 Timer

Beim Timer werden die Grundfunktionalitäten getestet.
Zum Testen der Registrierungsfunktion wird ein Timer gestartet und auf die Pulse Message gewartet.
Um die Funktionen add, sub, pause und continue zu testen, wird jedoch ein weiterer Timer registriert. Dieser zusätzliche Timer sendet eine andere Message beim Ablaufen, wodurch verhindert wird, dass kein Interrupt geworfen wird.

8.3 Integrations-Test/System-Test

Beim Systemtest werden folgende Szenarien getestet:

1. Es werden zu flache Pucks auf Band 1 gelegt, um zu prüfen, ob diese von Band 1 aussortiert werden.

2. Es werden mehrere Werkstücke gleichzeitig auf Band 1 gelegt. Dabei wird überprüft, ob Band 1 stoppt und mit der Übergabe der Pucks wartet, bis Band 2 frei ist.

3. Es werden Werkstücke in richtiger und falscher Reihenfolge auf Band 1 gelegt. Dabei wird überprüft, ob Band 2 ein betreffendes Puck zurück an den Anfang fährt und auf dessen Entnahme wartet, um die richtige Reihenfolge wiederherzustellen.

4. Es werden Werkstücke mit der Bohrung nach unten auf Band 1 gelegt. Dabei wird überprüft, ob Band 1 stoppt, damit das Personal den Puck wenden kann, und bei Zurücklegen des Pucks weiterfährt, sofern Band 2 frei ist.

5. Es werden Werkstücke mit der Bohrung nach unten auf Band 1 gelegt, die nicht vom Personal gewendet werden, um zu prüfen, ob diese Pucks von Band 2 aussortiert werden.

6. Es werden Pucks im laufenden Betrieb an allen Segmenten entnommen oder hinzugefügt, um zu prüfen, ob die Zeitüberwachung dieser Segmente richtig arbeitet.

7. Es werden zu flache Pucks auf Band 1 gelegt, bis die Rutsche voll ist, um zu prüfen, ob dessen Fehlerabarbeitung von Band 1 richtig arbeitet.

8. Pucks mit der Bohrung nach unten werden am Ende von Band 2 nicht gewendet, bis die Rutsche von Band 2 voll ist, um zu prüfen, ob dessen Fehlerbearbeitung von Band 2 richtig arbeitet.

8.4 Regressions-Test

Die wichtigsten Hauptkomponenten haben jeweils eigene Regressions-Tests. Diese sind möglichst unabhängig voneinander und werden zur Qualitätssicherung durchgeführt.

1. **Test der HAL**
   a) Alle HAL Funktionalitäten werden auf ihre positiven Fälle geprüft. (Benötigt keine Hardware, da durch Stubs realisiert)
   b) Alle HAL Funktionalitäten werden einmal auf Ihr invertiertes Verhalten geprüft. (Benötigt keine Hardware, da durch Stubs realisiert)
2. **Test der ISR/IRQ**
   a) Die Weiche wird per HAL geöffnet. Die Lichtschranke der Weiche durchbrochen, dadurch wird die ISR ausgeführt und eine Pulse Message generiert. Diese wird ausgewertet.
3. **Test des Dispatchers**
   a) Es wird geprüft ob das Enum-Mapping vom externen Typ *event_values* zum internen Typ *dispatcher_events* korrekt funktioniert.
   b) Es wird geprüft ob im Funktionspointerarray des Dispatchers die korrekten Adressen stehen.
   c) Die Dispatcher interne Funktion zum ausführen der Funktionspointer wird geprüft, dazu wird jedes Event einmal direkt mit der Funktion aufgerufen.
   d) Der Dispatcher selbst wird geprüft indem jede gültige Pulse Message in den Channel des Dispatchers geschrieben wird, die korrekte Reihenfolge der Abarbeitung wird hierbei geprüft.
4. **Test der Timer**
   a) Ein normaler Timer wird erstellt, dieser soll nach einer Millisekunde einen Wert in einen Pulse Message Channel schreiben. Der Wert der Pulse Message wird geprüft.
   b) Ein Timer mit kurzer Laufzeit und ein zweiter Timer mit längerer Laufzeit wird erstellt. Der erste Timer wird pausiert. Es wird blockiert bis eine Pulse Message vorhanden ist. Danach wird der kurze Timer fortgesetzt und auf die Pulse Message gewartet.
   c) Es werden 3 Timer erstellt. Einer mit 500 Millisekunden Laufzeit, einer mit 1 Sekunden Laufzeit, sowie einer mit 3 Sekunden. Nachdem alle gestartet sind, wird dem 500 Millisekunden Timer 1 Sekunde hinzugefügt. Die korrekte Reihenfolge der Pulse Messages wird ausgewertet.
5. **Test der Seriellen Schnittstelle**
   a) Senden/Empfangen eines Daten-Telegramms
   b) Auswerten der Daten (Prüfung ob Daten korrekt empfangen wurden)
   c) Senden/Empfangen im Full-Duplex-Betrieb

Die Regressions-Tests wurden in den Unit-Tests umgesetzt.

8.5 Abnahme-Test

Um eine komplette Abdeckung der zu Beginn des Projekts aufgestellten Requirements zu gewährleisten, wurden Abnahme-Tests entworfen.
Die Auflistung dieser Tests findet sich in den Unterpunkten 8.5.1 und 8.5.2.
Eine Übersicht, welcher Abnahme-Test welche Requirements abdeckt, findet sich in den darauffolgenden Abbildungen der Unterpunkte 8.5.3 - 8.5.5.

8.5.1 Abnahme-Tests für die Grundfunktionen der Anlage

Mindestabstand: 5cm

Test-ID	Beschreibung	Erwartung	Requirement-ID
TG00	Hardware-Check	Es gibt zwei hintereinander gestellte, richtig angeschlossene und funktionsfähige Förderbänder, auf die nur die definierten Pucks gelegt werden. Beide Förderbänder besitzen jeweils eine Ampelanlage.	FR-001, FR-002, FR-016, FR-019.1, FR-024.1, FR-024.2, FR-027, FR-028, FR-029.1, FR-030.1, FR-030.2
TG01	Es wird ein zu kleiner Puck auf B1 gelegt.	Der Puck fährt langsam durch die Höhenmessung und wird auf B1 aussortiert.	FR-004, FR-006.1, FR-006.2, FR-014, FR-019.5
TG02	Es werden Pucks mit dem Mindestabstand von 5cm in der Reihenfolge Metall, Nicht-Metall, Metall auf B1 gelegt. Sobald ein Puck das Ende von B2 erreicht, wird dieser entfernt.	Der erste Puck (Metall) fährt bis ans Ende von B2, gibt auf der Konsole die Daten (ID, Höhenmesswert von B1, Höhenmesswert von B2, Typ) aus und wartet. Die B2-Ampel blinkt orange, bis dieser Puck entfernt wird. Der zweite Puck (Nicht-Metall) fährt bis ans Ende von B1 und wartet, bis der erste von B2 entfernt wird. Sobald der erste Puck entfernt wird, fährt der zweite ans Ende von B2 und gibt dann seine Daten aus. Der dritte Puck verhält sich wie der Zweite. Er hält am Ende von B1 und fährt auf B2, sobald dieses wieder frei ist. Während der gesamten Zeit leuchtet die Ampel auf B1 grün. Wenn der dritte Puck auf B2 ist, hält B1 an und auch wenn er von B2 entnommen wird fährt keines der beiden wieder los.	FR-003.1, FR-003.2, FR-004, FR-005, FR-008.1, FR-009.1, FR-009.3, FR-009.4, FR-010, FR-011, FR-012.1, FR-012.2, FR-013, FR-014, FR-015, FR-017, FR-018.2, FR-020, FR-026, NFR-003, NFR-004.1, NFR-005
TG03	Ein Nicht-Metall-Puck wird mit der Bohrung nach unten auf B1 gelegt. Am Ende von B1 wird der Puck gewendet und die Start-Taste wird betätigt.	Der Puck fährt bis ans Ende von B1. B1 hält an und die Ampel blinkt orange. Erst nach Betätigen der Start-Taste erlischt das orange Blinken und der Nicht-Metall-Puck fährt an das Ende von B2.	FR-004, FR-007.1, FR-007.2, FR-007.3, FR-007.4, FR-007.5, FR-009.4, FR-014, FR-015, FR-018.1, FR-019.5, FR-026, NFR-001, NFR-003, NFR-004.1

Test-ID	Beschreibung	Erwartung	Requirement-ID
TG04	Ein Metall-Puck und ein verkehrt herum liegender Nicht-Metall-Puck werden mit dem Mindestabstand von 5cm auf B1 gelegt. Der erste richtig herum liegende Puck wird entnommen, sobald der zweite Puck das Ende von B1 erreicht hat. Der verkehrt herum liegende Puck wird nicht gewendet und die Start-Taste auf B1 wird betätigt.	Der Metall-Puck fährt bis ans Ende von B2. B1 hält an, sobald der verkehrt herum liegende Puck das Ende erreicht, und die orange Ampel blinkt. B1 fährt nicht los, auch wenn der erste Puck von B2 entfernt wird. Die Starttaste von B1 wird ohne Wenden des Pucks betätigt, sodass der verkehrt herum liegende Puck auf B2 aussortiert wird.	FR-003.2, FR-004, FR-005, FR-007.1, FR-007.2, FR-007.3, FR-007.4, FR-008.1, FR-008.2, FR-009.3, FR-009.4, FR-010, FR-011, FR-012.1, FR-012.2, FR-013, FR-014, FR-015, FR-018.1, FR-018.2, FR-019.5, FR-026, NFR-003, NFR-004.1, NFR-005
TG05	Zwei Pucks ohne Metall werden mit dem festgelegten Mindestabstand von 5cm auf B1 gelegt. Die Pucks werden entnommen, sobald die Ampel von B2 orange blinkt.	Der erste Puck fährt bis ans Ende von B2. Der zweite Puck fährt auf B2, sobald der erste entfernt wurde, jedoch nur bis zum Metallsensor. Dann wird er wieder an den Anfang von B2 zurück befördert. Sobald der Puck den Anfang von B2 erreicht, hält dieses an und die Ampel von B2 blinkt orange, bis der Puck entfernt wird.	FR-003.2, FR-004, FR-005, FR-009.1, FR-009.2, FR-009.3, FR-009.4, FR-010, FR-011, FR-012.1, FR-012.2, FR-013, FR-014, FR-015, FR-017, FR-018.2, FR-019.5, FR-020, NFR-003, NFR-004.1, NFR-005
TG06	Zwei Pucks mit Metall werden mit dem Mindestabstand von 5cm auf B1 gelegt. Die Pucks werden entnommen, sobald die Ampel von B2 orange blinkt.	Der erste Puck fährt bis ans Ende von B2. Der zweite Puck fährt auf B2, sobald der erste entfernt wurde, jedoch nur bis zum Metallsensor und wird dann wieder an den Anfang von B2 befördert. Dort hält er an und die Ampel von B2 blinkt orange, bis der Puck entfernt wird.	FR-003.2, FR-004, FR-005, FR-009.1, FR-009.2, FR-009.3, FR-009.4, FR-010, FR-011, FR-012.1, FR-012.2, FR-013, FR-014, FR-015, FR-017, FR-018.2, FR-019.5, FR-020, NFR-003, NFR-004.1, NFR-005

8.5.2 Abnahme-Tests für die Fehlerfälle der Anlage

Mindestabstand: 5cm

Test-ID	Beschreibung	Erwartung	Requirement-ID
TF01	Ein Metall-Puck und ein Nicht-Metall-Puck mit Bohrung nach unten werden mit dem Mindestabstand von 5cm auf B1 gelegt. Der erste Puck wird entnommen, wenn er am Ende von B2 ist und sobald der zweite Puck das Ende von B1 erreicht hat. Der verkehrt herum liegende Puck wird nicht gewendet oder entnommen und die Start-Taste von B1 wird betätigt.	Der zweite Puck fährt bis ans Ende von B1. Dieses hält an und die Ampel von B1 blinkt orange. Das orange Blinken wechselt nach ca. 15 Sekunden in ein rotes Blinken. Sobald der Fehler quittiert wird, wechselt das rote Blinken in ein Dauerlicht. Sobald der Puck entfernt, der Fehler quittiert und die Start-Taste betätigt wird, geht das Band wieder in den betriebsbereiten Zustand und die Ampel von B1 leuchtet grün.	FR-004, FR-007.1, FR-007.2, FR-007.3, FR-007.4, FR-007.5, FR-013, FR-014, FR-017, FR-018.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-029.2
TF02	Ein Nicht-Metall-Puck wird auf B1 gelegt. Der Puck wird auf B2 vor der Höhenmessung entfernt.	Das Band hält an und die Ampel von B1 blinkt rot.	FR-004, FR-010, FR-011, FR-016, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-021, FR-025, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.3
TF03	Ein Metall- und ein Nicht-Metall-Puck werden mit dem Mindestabstand von 5cm auf B1 gelegt. Zwischen Höhenmessung und Weiche wird der Metall-Puck von dem Band entfernt.	Das Band hält an und die Ampel von B1 blinkt rot.	FR-004, FR-010, FR-011, FR-016, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-021, FR-025, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.3
TF04	Es werden Nicht-Metall-, Metall-, Nicht-Metall-Pucks auf B1 gelegt. Nach der Weiche wird der Metall-Puck (Zweite) von B1 entfernt. Der Fehler wird quittiert und die Bänder neu gestartet. Danach wird ein Metall-Puck auf B1 gelegt.	Das Band hält an und die Ampel von B1 blinkt rot. Nach dem Quittieren und Starten leuchtet die Ampel wieder grün und das Band ist betriebsbereit. Der neue Metall-Puck wird wieder befördert.	FR-004, FR-010, FR-011, FR-016, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-021, FR-025, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.3

Test-ID	Beschreibung	Erwartung	Requirement-ID
TF05	Manuell werden drei zu kleine Pucks in die Rutsche von B1 gelegt. Danach wird ein zu kleiner Puck an den Anfang von B1 gelegt. Nach Auftreten des Fehlers wird ein Puck aus der Rutsche genommen.	Der zu kleine Puck wird auf B1 aussortiert. Es wird erkannt, dass die Rutsche voll ist. B1 geht in den Fehlerzustand über, die Ampel blinkt schnell rot. Wenn der Puck entfernt wird, wechselt das schnelle Blinken in ein langsames.	FR-004, FR-006.1, FR-006.2, FR-011, FR-016, FR-017, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.4, FR-019.5, FR-023
TF06	Zwei Nicht-Metall-Pucks werden so auf B1 gelegt, dass ein weiterer Puck dazwischen passt. Vor der Höhenmessung wird ein Metall-Puck dazwischen gelegt.	Das Band hält an und die Ampel von B1 blinkt rot.	FR-009.1, FR-009.2, FR-009.3, FR-009.4, FR-011, FR-016, FR-017, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.2
TF07	Ein Metall-Puck wird auf B1 gelegt. Sobald der Puck in der Höhenmessung auf B2 ist, wird ein Nicht-Metall-Puck vor den Metallsensor auf B2 gelegt.	Das Band hält an und die Ampel von B2 blinkt rot.	FR-004, FR-012.2, FR-016, FR-017, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-022, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.2
TF08	Ein Nicht-Metall-Puck wird auf B1 gelegt. Während der Puck noch vor der Weiche ist, wird ein Metall-Puck hinter die Weiche gelegt.	Das Band hält an und die Ampel von B1 blinkt rot.	FR-004, FR-011, FR-017, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-022, FR-029.1, FR-029.2, NFR-004.1, NFR-004.2
TF09	Ein Metall-Puck wird auf B1 gelegt. Wenn dieser Puck am Ende von B2 ankommt, wird er nicht entnommen, sodass das Band in den Fehlerzustand übergeht. Dann wird der Puck entnommen und ein weiterer Metall-Puck wird an den Anfang von B1 gelegt.	Der erste Puck fährt bis ans Ende von B2 und löst den Fehlerzustand aus. Wenn der Puck von B2 entfernt wird und ein neuer Puck auf B1 liegt, darf dieser nur bis ans Ende von B1 fahren, aber nicht weiter, da B2 noch im Fehlerzustand ist.	FR-004, FR-005.1, FR-005.2, FR-015.2, FR-017, FR-018.2, FR-019.1, FR-019.2, FR-019.3, FR-019.5, FR-029.1, NFR-003

Test-ID	Beschreibung	Erwartung	Requirement-ID
TF10	Ein Metall-Puck wird auf B1 gelegt. Sobald der Puck auf B2 ist, wird ein weiterer Metall-Puck auf B1 gelegt. Anschließend wird die E-Stopp-Taste von B2 gedrückt.	Beide Bänder gehen in den Safe-State und die Programme beenden sich.	FR-004, FR-012.1, FR-017, FR-030.1, FR-030.2, FR-030.3
TF11	Ein Metall-Puck wird mit der Bohrung nach unten auf B1 gelegt. Am Ende von B1 wird dieser entnommen.	Etwa 15 Sekunden nachdem der Puck entnommen wurde, geht das Band in den Fehlerzustand.	FR-004, FR-007.1, FR-007.2, FR-007.3, FR-007.4, FR-007.6, FR-013, FR-014, FR-015.1, FR-016, FR-017, FR-018.1, FR-019-2

8.5.3 Abdeckung der Functional Requirements [1/2]

Abdeckung	Test ID	TG00	TG01	TG02	TG03	TG04	TG05	TG06	TF01	TF02	TF03	TF04	TF05	TF06	TF07	TF08	TF09	TF10	TF11
Functional Requirement-ID																			
FR-001		✓																	
FR-002		✓																	
FR-003.1				✓															
FR-003.2				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FR-004			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FR-005.1				✓		✓	✓	✓									✓		
FR-005.2				✓		✓	✓	✓									✓		
FR-006.1			✓										✓						
FR-006.2			✓										✓						
FR-007.1					✓	✓			✓										✓
FR-007.2					✓	✓			✓										✓
FR-007.3					✓	✓			✓										✓
FR-007.4					✓	✓			✓										✓
FR-007.5					✓				✓										
FR-007.6																			✓
FR-008.1				✓		✓													
FR-008.2						✓													
FR-009.1				✓			✓	✓						✓					
FR-009.2							✓	✓						✓					
FR-009.3				✓		✓	✓	✓						✓					
FR-009.4				✓	✓	✓	✓	✓						✓					
FR-010				✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓							
FR-011				✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			
FR-012.1				✓		✓	✓	✓				✓						✓	
FR-012.2				✓		✓	✓	✓							✓				
FR-013				✓	✓	✓	✓	✓	✓										✓
FR-014			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										✓
FR-015.1				✓	✓	✓	✓	✓											✓
FR-015.2				✓	✓	✓	✓	✓									✓		

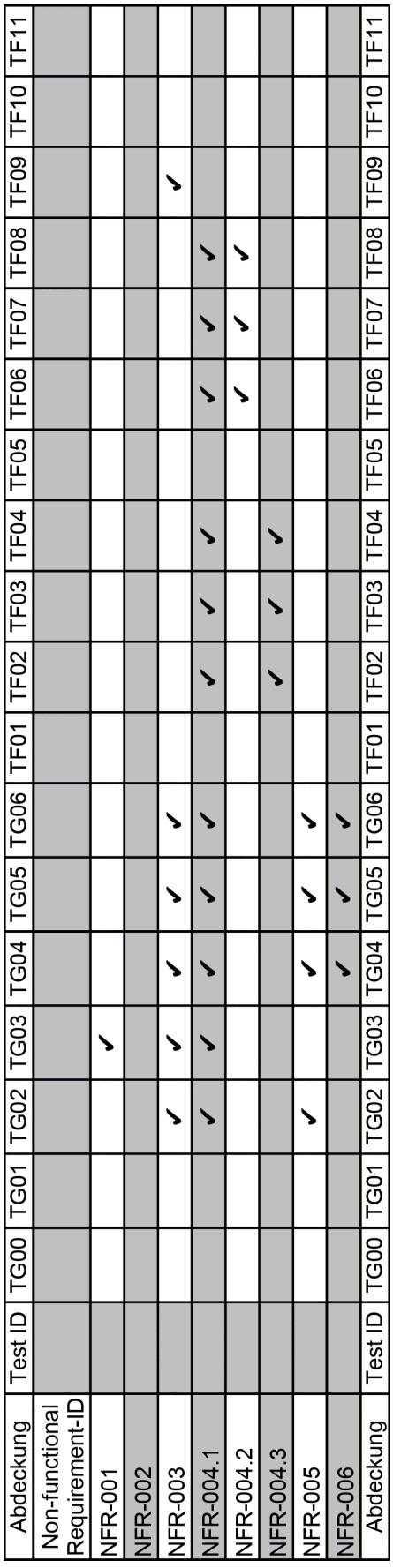
Abbildung 6: Abdeckung der Functional Requirements [1/2]

8.5.4 Abdeckung der Functional Requirements [2/2]

Abdeckung	Test ID	TG00	TG01	TG02	TG03	TG04	TG05	TG06	TF01	TF02	TF03	TF04	TF05	TF06	TF07	TF08	TF09	TF10	TF11
Functional Requirement-ID																			
FR-016		✓								✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
FR-017				✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FR-018.1					✓	✓			✓										✓
FR-018.2				✓		✓	✓	✓									✓		
FR-019.1		✓								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
FR-019.2									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
FR-019.3									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
FR-019.4													✓						
FR-019.5			✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
FR-020				✓			✓	✓											
FR-021										✓	✓	✓							
FR-022														✓	✓	✓			
FR-023													✓						
FR-024.1		✓																	
FR-024.2		✓																	
FR-025										✓	✓	✓							
FR-026				✓	✓	✓													
FR-027		✓																	
FR-028		✓																	
FR-029.1		✓							✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
FR-029.2									✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			
FR-030.1		✓																✓	
FR-030.2		✓																✓	
FR-030.3																		✓	

Abbildung 7: Abdeckung der Functional Requirements [2/2]

8.5.5 Abdeckung der Non-functional Requirements



Abdeckung	Test ID	TG00	TG01	TG02	TG03	TG04	TG05	TG06	TF01	TF02	TF03	TF04	TF05	TF06	TF07	TF08	TF09	TF10	TF11
Non-functional Requirement-ID																			
NFR-001					✓														
NFR-002																			
NFR-003				✓	✓	✓	✓	✓									✓		
NFR-004.1				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓			
NFR-004.2														✓	✓	✓			
NFR-004.3										✓	✓	✓							
NFR-005				✓		✓	✓	✓											
NFR-006						✓	✓	✓											
Abdeckung	Test ID	TG00	TG01	TG02	TG03	TG04	TG05	TG06	TF01	TF02	TF03	TF04	TF05	TF06	TF07	TF08	TF09	TF10	TF11

Abbildung 8: Abdeckung der Non-functional Requirements

8.6 Testprotokolle und Auswertungen

04.11.2014: Testen der HAL, insbesondere der Sensorik
Nachdem die korrekte Ansteuerung der Aktorik und die serielle Schnittstelle mit dem zweiten Milestone abgenommen wurde, wurde die Sensorik getestet. Es wurde beobachtet, dass der Höhensensor (korrekte) Messwerte liefert. Weiterhin wurde beobachtet, dass das Programm sich aufhängt, sobald ein Messwert geliefert bzw. ein Interrupt von der Sensorik ausgelöst wurde. Dies benötigt weitere Bearbeitung.

06.11.2014: Der Interrupt für die Sensorik funktioniert.

04.12.2014: Fehlerhafte Übergabe auf Band 2 bei folgender Werkstück Anordnung: Korrekt liegendes Werkstück, falsch liegendes Werkstück. Werkstück wird am Ende des Bandes gewendet.

04.12.2014: Fehlerhaftes Aussortieren von zu großen Werkstücken. Werkstück Anordnung: Korrekte Höhe, falsche Höhe.

08.12.2014: Der Fehler bei der Übergabe von Werkstücken wurde behoben. Dieser Fehler wurde ausgelöst durch einen Zustand der nicht korrekt bei dem Dispatcher angemeldet war. Das hatte zur folge, das beim zurücklegen des Werkstückes die Lichtschranke durchbrochen wurde, jedoch das falsche Werkstück auf das Event sensitiv war.

08.12.2014: Ein Fehler beim Aussortieren wurde behoben. Dieser Fehler wurde ausgelöst dadurch, dass das zu kleine Werkstück (welches auf dem Band vor dem korrekten Werkstück liegt) in die Lichtschranke der Weiche gekommen ist, jedoch nicht auf dessen Event sensitiv war. Das nachfolgende Werkstück mit korrekter Höhe war jedoch sensitiv auf dieses Event. Das nachfolgende Werkstück hat die Weiche geöffnet, dadurch konnte dann das zu kleine Werkstück die Weiche passieren und den Weichenbereich verlassen. Die Weiche wurde geschlossen und das Werkstück mit korrekter Höhe wurde aussortiert.

Das letzte Testprotokoll ist das Abnahmeprotokoll, das bei der abschließenden Vorführung erstellt wird. Es enthält eine Auflistung der erfolgreich vorgeführten Funktionen des Systems sowie eine Mängelliste mit Erklärungen der Ursachen der Fehlfunktionen und Vorschlägen zur Abhilfe

9 Lessons Learned

Durch dieses Projekt haben wir viele Erfahrungen sammeln können. Sowohl bezüglich der Team-Organisation und Zusammenarbeit, als auch in der Entwicklung, Implementierung und Dokumentation eines größeren Projektes.
Das Klima im Team war sehr angenehm. Getroffene Absprachen wurden eingehalten und jeder hat die ihm zugeteilten Aufgaben erledigt.
Durch die Aufgabenverteilung konnte effizient und gleichzeitig an verschiedenen Aufgaben gearbeitet werden, was durchaus sinnvoll war, wenn wie bei diesem Projekt, Deadlines eingehalten werden mussten und entsprechend unter Zeitdruck gearbeitet wurde.
Die Verteilung der Aufgaben hat allerdings dazu geführt, dass man wenig Einblick in die Arbeit der anderen bekommen hat und z.B. keine Architektur-Diskussionen geführt wurden, was Fehler von vornherein hätte vermeiden können. Als die Fehler schließlich aufkamen, war es teilweise schon zu spät, grundlegende Änderungen vornehmen zu können, sodass kleinere Workarounds notwendig wurden.
Außerdem hat sich herausgestellt, dass eine Team-Organisation sehr schwierig ist, wenn die Wissensstände zu unterschiedlich sind.
Des Weiteren wurde es als sehr anstrengend und schwierig empfunden, streng nach dem V-Modell vorzugehen. Diese Vorgehensweise hatten wir zu Beginn des Projektes zwar ausgewählt, es hat sich aber herausgestellt, dass die Verwendung des Scrumm- oder V-Modell-XT vermutlich besser gewesen wäre, weil damit eine gelockerte Vorgehensweise möglich ist.
Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Aufteilung eines großen Projektes in kleinere Milestones sehr hilfreich ist, um den Überblick zu behalten und gesetzte Deadlines einzuhalten. Die Deadlines sollten dabei schon früh angesetzt werden, damit die Aufgaben auch wirklich pünktlich fertig sind.
Trotz Aufgaben-Splitting stellten wir fest, dass die Granularität der Commits bzw. Pushes auf GitHub immer noch teilweise zu grob war. Besonders bei der Bearbeitung von Binärdateien, an denen mehrere Personen gearbeitet haben. Hier ist es wahrscheinlich sinnvoller, die Commits und Pushes auf Grundlage von kleineren Paketen durchzuführen, was aber möglicherweise einer weiteren Fragmentierung der vorgegebenen Milestones bedarf.
Etwas, worauf wir bei der Arbeit häufiger gestoßen sind, war die Tatsache, dass die Dokumentation, bzw. die UML-Diagramme nicht auf demselben Stand wie der Code waren. Daher sollte man, um Inkonsistenzen von vornherein zu vermeiden, dafür zu sorgen, dass bei Arbeiten am Code auch direkt alle dazugehörigen Dokumente mitbedacht werden.

10 Glossar

Ampel, Signal:	Warnsignalanlage der Förderbänder
Bohrung:	Aushöhlung der Werkstücke
DCLP:	Double-Checked Locking Pattern: Muster in der Softwareentwicklung
Förderband, Band:	Fließband des Festo-Typs
GEME:	General Embedded Machine Engine: Controller eines Förderbandes
Interrupt:	Asynchrone Nachricht einer Systemkomponente
Personal:	Geschultes Personal, das die Werkstück-Sortieranlage bedient
QNX:	Proprietäres Echtzeitbetriebssystem für eingebettete Systeme
Rutsche:	Lagerplatz für aussortierte Werkstücke
Singleton:	Modell zur Sicherstellung einer singulären Instanz
SEAP Simulation:	Grafische Software-Simulation der Werkstück-Sortieranlage
Stakeholder:	Gruppen, die mit der Anlage interagieren
Steuerung:	Software, um die Hardware zu koordinieren
Stub:	Programmcode, der als Platzhalter ein Verhalten / Hardware emuliert
V-Modell-XT:	Standard für die Softwareentwicklung (Erweiterung des V-Modell)
Weiche:	Schranke, um Pucks auszusortieren oder durchzulassen
Werkstück:	Puck

11 Abkürzungen

B1:	Sortierband 1
B2:	Sortierband 2
FIFO	First In First Out
FSM	Finite State Machine (Deterministischer Endlicher Automat)
HAL	Hardware Abstraction Layer
IRQ	Interrupt Request
ISR	Interrupt Service Routine
RDD	Requirements and Design Documentation
WS:	Werkstück

12 Anhänge

12.1 Coding Style: Google C++

12.1.1 General Rules

- Use 2 spaces per indentation level.
- The maximum number of characters per line is 80.
- Never use tabs.
- Vertical whitespaces separate functions and are not used inside functions: use comments to document logical blocks.
- Header filenames end in *.hpp*, implementation files end in *cpp*.
- Never declare more than one variable per line.
- Ampersand & binds to the *type*, e.g., *const std::string& arg*.
- Namespaces do not increase the indentation level.
- Access modifiers, e.g. *public*, are indented one space.
- Use the order *public*, *protected*, and then *private*.
- Use *typename* only when referring to dependent names.
- Keywords are always followed by a whitespace: *if (...)*, *template <...>*, *while (...)*, etc.
- Always use *{}* for bodies of control structures such as *if* or *while*, even for bodies consiting only of a single statement.
- Opening braces belong to the same line:

```
if (my_condition) {
  my_fun();
} else {
  my_other_fun();
}
```

- Use standard order for readability: C standard libraries, C++ standard libraries, other libraries, your headers:

```
#include <sys/types.h>
#include <vector>
#include "some/other/library.hpp"
#include "myclass.hpp"
```

- When declaring a function, the order of parameters is: outputs, then inputs. This follows the parameter order from the STL.
- Never use C-style casts.

12.1.2 Naming

- Class names, constants, and function names are all-lowercase with underscores.
- Types and variables should be nouns, while functions performing an action should be "command" verbs. Classes used to implement metaprogramming functions also should use verbs, e.g., *remove_const*.
- Member variables use the prefix *m_*.
- Thread-local variables use the prefix *t_*.
- Static, non-const variables are declared in the anonymous namespace and use the prefix *s_*.
- Template parameter names use CamelCase.
- Getter and setter use the name of the member without the *m_* prefix:

```
class some_fun {
 public:
  // ...
  int value() const {
    return m_value;
  }
  void value(int new_value) {
    m_value = new_value;
  }
 private:
  int m_value;
};
```

12.1.3 Headers

- Each *.cpp* file has an associated *.hpp* file. Exceptions to this rule are unit tests and *main.cpp* files.
- All header files should use *#define* guards to prevent multiple inclusion.
- Do not *#include* when a forward declaration suffices.
- Use *inline* for small functions (rule of thumb: 10 lines or less).

12.1.4 Breaking Statements

- Break constructor initializers after the comma, use four spaces for indentation, and place each initializer on its own line (unless you don't need to break at all):

```
my_class::my_class()
    : my_base_class(some_function()),
      m_greeting("Hello there! This is my_class!" ),
      m_some_bool_flag(false) {
  // ok
 }
other_class::other_class() : m_name("tommy"), m_buddy("michael") {
  // ok
}
```

- Break function arguments after the comma for both declaration and invocation:

```
intptr_t channel::compare(const abstract_channel* lhs,
                          const abstract_channel* rhs) {
  // ...
}
```

- Break before tenary operators and before binary operators:

```
if (today_is_a_sunny_day()
    && it_is_not_too_hot_to_go_swimming()) {
  // ...
}
```