

Seminararbeit

**Von C# nach Python: Software-Konzeptionierung einer
robotergestützten Lagerverwaltung**

Analyse bestehender Software und Konzeptionierung einer integrierten Python-Anwendung mit
kameragestützten Validierungsprozessen in der Industrie 4.0-Plattform Modellfabrik μ Plant

Lennart Schink

Matrikelnummer:

33237484

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Kroll

Betreuer:

Dip.-Ing. Axel Dürrbaum

Tag der Abgabe:

19. Juni 2023

MRT-Nr.:

N.N

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Motivation und Zielsetzung	1
Symbolverzeichnis	1
Index	1
2. Softwarearchitektur der bestehender Programme	3
2.1. Lagerverwaltung 3.0	3
2.1.1. Klassenstruktur des Datenmodells	4
2.1.2. Klassenstruktur zur Steuerung des ABB Industrieboter IRB 140	8
2.1.3. GUI	11
2.2. Controller	14
2.3. RFID Server	16
2.4. Funktionsanalyse	19
2.4.1. Lagerverwaltung 3.0	19
2.4.2. Controller	20
2.4.3. RFID Server	20
3. Konzeptionierung einer integrierten Python Anwendung	23
3.1. PySide6 und QuickQml 2.0	25
3.2. GUI - Konzeptionierung	30
3.3. Konzepte zur Datenmodellierung	32
3.4. Konzepte für Controller- und Serviceklassen	33
3.5. Teilautomatisierte Code Dokumentation mit Sphinx	35
3.5.1. Sphinx Erweiterungen	36
3.6. Sonstige Festlegungen	37
3.6.1. Virtual Environment	37
3.6.2. Verwendete Programme	37
4. Analyse zur Fehlerbehandlung	39
5. Ideensammlung zu kameragestützten Validierungsprozessen in der Lagerverwaltung	41
5.0.1. Konzepte	41
5.0.2. Abgeleitete Anforderungen an die Kamera	41
5.0.3. Kameraauswahl	41
6. Zusammenfassung und Ausblick	43
A. Dies ist der erste Anhang	XIII

Tabellenverzeichnis

2.1. Werte der Klasse ModbusBaseAddress	10
3.1. Benötigte Serviceklassen	35
3.2. Werte der Klasse ModbusBaseAddress	35

Abbildungsverzeichnis

2.1. Ansicht des Startbildschirms	5
2.2. Klassendiagramm Datenmodells	6
2.3. Klassendiagramm ABBRobotics Controller	9
2.4. Klassendiagramm Modbus	11
2.5. Klassendiagramm des Controllers	14
2.6. Ansicht des Controller- Startbildschirm	15
2.7. Startbildschirm des Programms RFID-Server	17
2.8. Klassendiagramm des Programms RFID Server	18
3.1. Beispiel: Referenzielle Integrität	24
3.2. Model-View Konzept mit zusätzlichem Controller und Service	29
3.3. Mockup des Startbildschirms	31
3.4. Mockup des Menüs für die manuelle Lagersteuerung	31
3.5. Mockup der Commission List	32
3.6. Objektdiagramm	33
3.7. Klassendiagramm Datenmodell	34

Listings

- 3.1. Beispiel einer einfachen App mittels PySide6. Zunächst wird eine Instanz der Application-Klasse und der QmlEngine erzeugt. Danach werden Objekte eines Datenmodells und eines Controllers erzeugt und als rootContext der QmlEngine registriert. Anschließend wird die QML Datei des Hauptfensters geladen, was die App startet. 27
- 3.2. Beispiel einer QML DateiDiese QML Datei erzeugt ListView QML Type, der zum Anzeigen der Daten in einem ListModel verwendet wird. Innerhalb eines Rechtecks mit farbigem Rand werden in einem RowLayout Type die Datensätze des Datenmodells gerendert und über die Funktionslogik von Signalen der QML Types und der Controllerklasse farblich markiert. 27

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
GUI	G raphical U ser I nterface
UML	U nified M odeling L anguage
MES	M anufacturing E xecuting S ystem
C#	An object oriented, component oriented programming language
C++	A high level, general purpose programming language
QML	Q t-Project's I nterface M arkup L anguage
LZ	L agerzelle der μ Plant
FZ	F ertigungszelle der μ Plant
AuE	A bfüll- und E ntleer - Station der μ Plant
RFID	R adio F requency I Dentification
TCP/IP	T ransmission C ontrol P rotocoll / I nternet P rotocoll
MVC	M odel - V iew - C ontroller, Ein Design-Konzept für Software
URI	U niform R essource I dentifier, Im Qt Framework kann dies eine beliebige Ressource sein. Z.B. eine URL, ein Bild oder ein Programmteil.
QML Type	Ein QML Basiselement. Enthält alle für die Visualisierung nötigen Attribute. Eine Liste aller QML Types findet sich hier [1]
RAPID	Eine speziell für die Robotersteuerung entwickelte Programmiersprache
RST	R estructured T ext Eine einfache markup language die in Sphinx benutzt wird

1 Motivation und Zielsetzung

Das Institut für Mess- und Regelungstechnik an der Universität Kassel hat in den letzten Jahren eine Modellfabrik μ Plant gebaut. Aus über 70 Einzelarbeiten ist ein modernes Industrie-4.0 Konzept geschaffen worden. Teil der μ Plant ist ein vollautomatisiertes Lager. Das Lager besteht aus einem abgetrennten Raum, dessen Zugang über eine Tür mit einem Türschalter überwacht ist. In diesen Bereich können autonome mobile Roboter (Turtlebots) einfahren. In dem abgetrennten Bereich steht ein Industrieroboter Typ ABB IRB 140 und ein Lagerregal mit ausgewiesenen 18 Lagerplätzen. Außerdem befindet sich neben einer Andockstation für den Turtlebot ein Kommissioniertisch.

Ein pneumatischer Greifer kann Paletten, die je mit bis zu zwei Bechern bestückt werden können, zwischen dem mobilen Roboter und dem Lagerregal transportieren. Von einem PC-Arbeitsplatz aus können mittels Software die Lagerprozesse überwacht werden. Im Fehlerfall kann eingeschritten werden oder es können manuell Prozesse ausgelöst werden. Die Software ist derzeit in 3 Programme aufgeteilt: Einerseits gibt es die Lagerverwaltung 3.0 - die Hauptsoftware. Sie bildet die automatisierten Prozesse ab und verfügt über ein GUI welches u.A. den Bestand visualisiert. Daneben gibt es den Warehouse Controller, der dazu verwendet wird, manuelle Prozesse auszulösen. Zudem gibt es ein Programm „RFID-Server“ mit dem über RFID Leser der Fa. Feig Tags der Transportbehälter ausgelesen werden können.

Mit dem Wechsel des Betriebssystems von Windows 7 auf Windows 10 ist die Kompatibilität der C# Implementierung nicht mehr gegeben. Außerdem laufen Teilfunktionen des Programms nicht fehlerfrei oder tolerieren kaum Fehlbedienungen. Die Dreiteilung der Software ist im Allgemeinen auch nicht mehr erwünscht.

Diese Seminararbeit beschäftigt sich mit der Analyse der bestehenden Software: Es wird ermittelt, aus welchen Programmteilen und Funktionen die Software besteht. Aus den Erkenntnissen wird ein Konzept entwickelt, welches die Funktionen der drei Software Teile zusammenführt. Dies soll die Grundlage für eine Migration der Software nach Python schaffen.

Erkenntnisse aus der studentischen Arbeit von Sebastian Hübler aus dem Jahr 2019 [2] sollen überprüft und vertieft werden um Anforderungen an Kameras und arUco Marker zu ermitteln, die später eine automatisierte Inventur ermöglichen sollen.

2 Softwarearchitektur der bestehender Programme

Analysemethoden der Informatik für Software sind in der Regel für die verschiedenen Design-Phasen entwickelt worden. Eine von mir durchgeführte Recherche ergab, dass sich Analyse-Tools und Methoden für bestehende Software vor allem darauf fokussieren, die Performance, Speichermanagement und Benutzererfahrung zu bewerten. Die Architektur einer Software spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Für die Neuentwicklung der bestehenden Software wird allerdings im Folgenden die Programmstruktur dargestellt und analysiert. Die Performance und der Speicherverbrauch spielen für die μ Plant eine untergeordnete Rolle. Eine Bewertung der Programmkomponenten sollte also anhand folgender Kriterien bewertet werden:

- Ihrem Nutzen für den Anwender
- Zuverlässigkeit im Betrieb
- Umgang mit erwartbaren Fehlern

Der Programmcode sollte zudem

- Leicht lesbar und verständlich,
- Zuverlässig und robust, und
- gut erweiterbar sein.

In einem C# Projekt sind UI und Logik in getrennten Dateien implementiert. XAML Dateien sind eine angepasste Form von XML Dateien und legen somit fest, wie das GUI gerendert wird. XAML.CS Dateien enthalten die dahinterliegende Logik und Schnittstellen zu anderen Programmteilen. Am Beispiel des Startbildschirms des Programms „Lagerverwaltung 3.0“ wird der Programmaufbau geschildert. Im Weiteren Verlauf dieser Arbeit wird, wegen der Komplexität und des fehlenden Mehrwerts, darauf verzichtet. Aus gleichem Grund wird auf die detaillierte Beschreibung der Funktionsweise von grafischen Elementen ihrer Events sowie ihrer Eventhandler verzichtet.

In den erstellten Klassendiagrammen ist gut ersichtlich, welche Klassen Events nutzen. Sie erben von der Klasse `INotifyPropertyChanged`, welche die benötigten Listener dafür bereitstellt.

2.1. Lagerverwaltung 3.0

Wie in dem einleitenden Abschnitt angekündigt wird zunächst der grundlegende Aufbau des Programms beschrieben.

Die Datei `App.xaml` ist der Einstiegspunkt des Programms. In ihr wird ein Objekt der

Application-Klasse mit allen benötigten Ressourcen erzeugt. Als Start URL ist `MainWindow.xaml` angegeben.

In der Datei ist beschrieben, wie der Startbildschirm gerendert wird. Zunächst wird ein Banner gerendert, bestehend aus dem Titel des Programms, dem Logo des Instituts und der μ Plant (Siehe Abb.2.1 Bereich „A“). Es werden außerdem alle benötigten Datenobjekte erzeugt. Sie lassen sich wie folgt einteilen:

- Objekte und Variablen, die dem Lager zugeordnet sind:
 - Ein Objekt `inventory` der Klasse `Inventory` für das Inventar mit `null` initialisiert.
 - Ein Objekt `storageMatrix` von der Klasse `PalletMatrix` erzeugt.
 - Ein Objekt `commissionMatrix` von der Klasse `PalletMatrix` erzeugt.
 - Ein Objekt `mobileRobot` von der Klasse `MobileRobot` erzeugt.
 - Außerdem eine Variable `lastCupRead` vom Datentyp `ushort` (16-Bit-Ganzzahl, vorzeichenlos) mit 0 initialisiert.
- Objekte und Variablen initialisiert, die dem ABB Controller zugeordnet sind:
 - Ein Objekt `commands` von der Klasse `controllerCommandList`.
 - Ein Objekt `controllerProperties` von der Klasse `RobotControllerProperties`.
 - Ein Objekt `controllerBase` von der Klasse `RobotControllerBas`, mit dem Initialisierungswert `null`.
 - Ein Objekt `controllerSim` von der Klasse `RobotSimulator`.

Im Constructor der Klasse `MainWindow` werden zudem der ModBus und der Roboter Controller initialisiert und gerendert (Abb.2.1 Bereiche „B“ und „C“). Die Produktliste wird aus der Datei `Produkte.db` geladen und gerendert (Abb.2.1 Bereich „D“). Daten des Lagers und des mobilen Roboters sowie die Kommissionsdaten werden aus der Datei `CommissionData.db` geladen und anschließend das Inventar gerendert (Abb.2.1 Bereich „E“ und „G“).

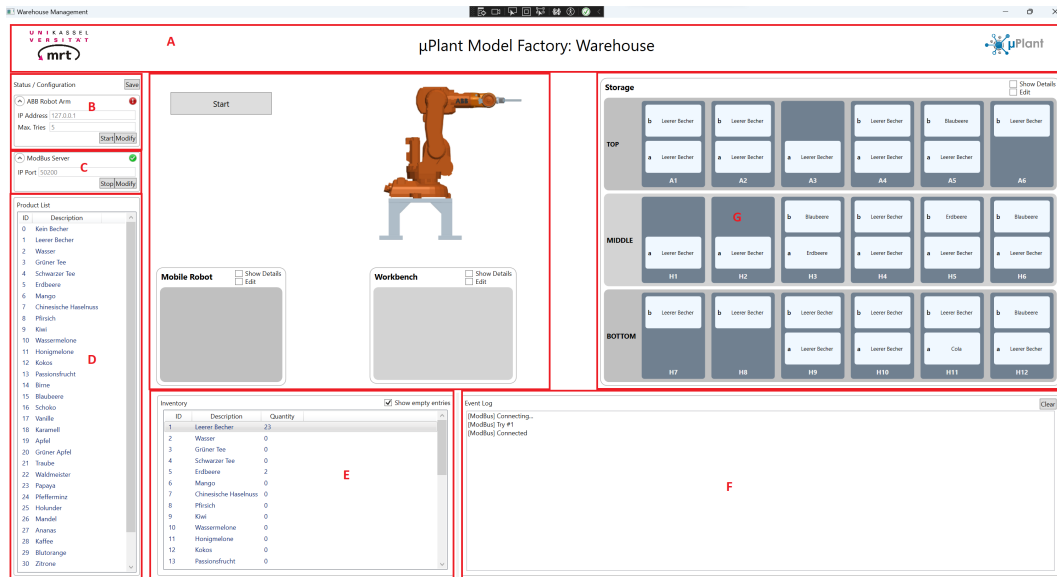
Im Bereich „F“ werden alle Ereignisse der Software als Text angezeigt. Das können Fehler sein aber auch Fortschritte im Programmablauf.

Im mittleren Bereich ist die Anordnung von Roboter, Andockstation und Kommissioniertisch symbolisiert. Der „Start“-Knopf startet den Automatikbetrieb. Wenn keine Verbindung zum Modbus hergestellt werden kann, wird dem Benutzer angeboten die Vorgänge zu simulieren. Im Klassendiagramm Abb.2.2 wird jedoch schnell deutlich, dass dieser Simulationsbetrieb nicht dazu genutzt werden kann, um etwaige Fehler zu erkennen, da dazu eine ganz andere Klasse verwendet wird. Im Bereich „Mobile Robot“ wird nach erfolgreichem Andocken das erkannte Produkt angezeigt. Dem Bediener wird hier angeboten die Daten manuell zu manipulieren oder Details auszublenden. Im Bereich „Workbench“ werden bis zu zwei Paletten mit ihrem Inhalt gerendert. Auch hier wird dem Benutzer angeboten, die Daten per Hand zu manipulieren.

2.1.1. Klassenstruktur des Datenmodells

Die bestehende Software dient dazu Lagerpakete vom mobilen Roboter auf die Werkbank oder ins Lager zu bewegen. Oder alle möglichen Kombinationen davon. Das Konzept der

Abbildung 2.1.: Startbildschirm der Anwendung, zur besseren Beschreibung sind die Bedienbereiche rot umrandet und mit Buchstaben gekennzeichnet

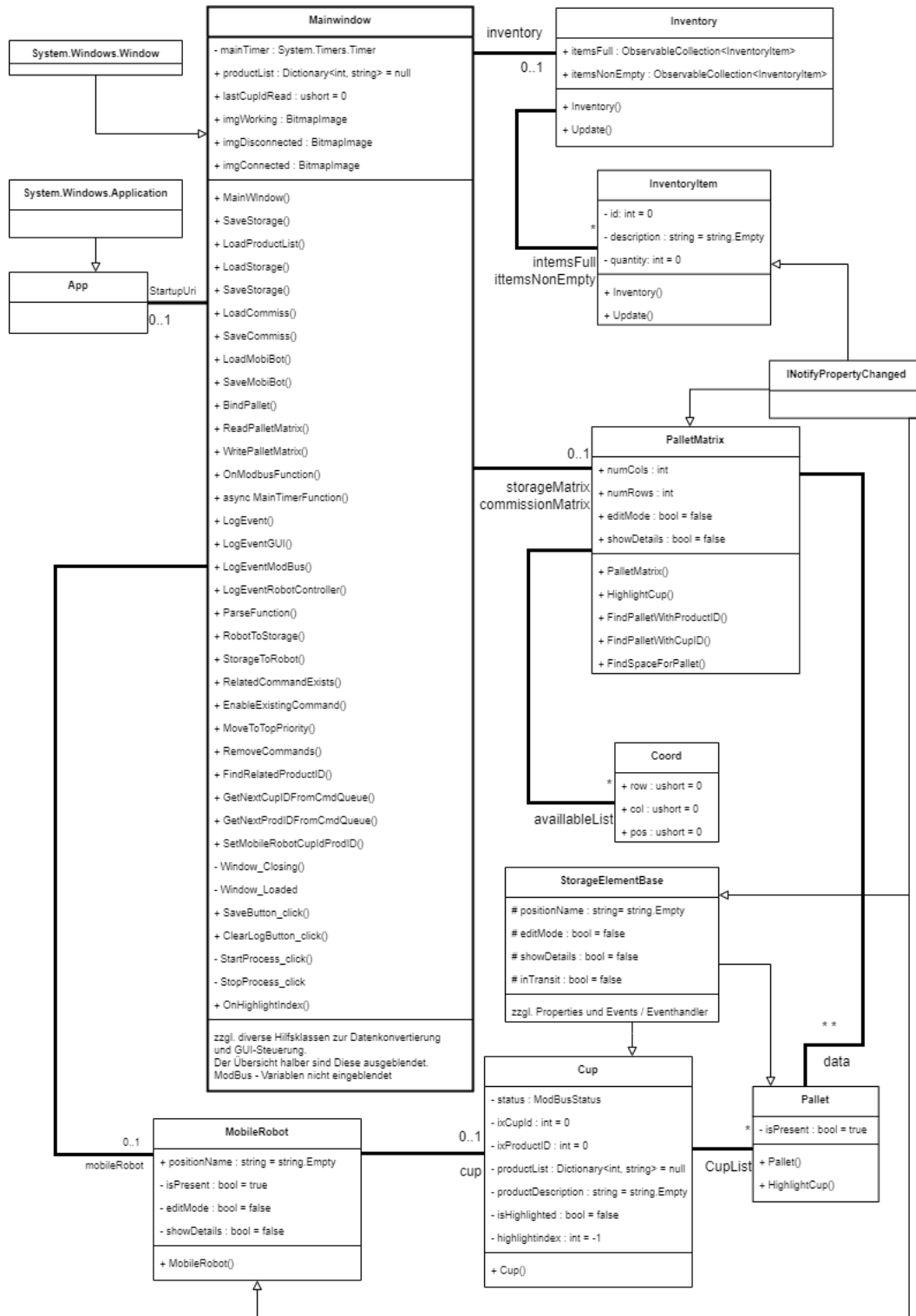


μPlant beschränkt sich dabei auf eine Palette, die so ausgeführt ist, dass der Greifer des Industrieroboters sie sicher bewegen kann. Im Wesentlichen ist es ein Quader mit zwei seitlichen Längsnuten. Eine Palette enthält zwei senkrechte Bohrungen, die es ermöglichen je einen Becher aufzunehmen. Ein Becher ist ein transparentes, zylindrisches Gefäß aus Acrylglas mit einem Absatz, der etwa mittig in der Höhe angebracht ist, sodass der Greifer die Becher einzeln bewegen kann. Es wird also immer entweder

- Eine Palette
- Ein Becher
- eine Palette mit einem oder mehreren Bechern

bewegt. Der Programmierer hat sich diese Struktur angeeignet und in der Datenmodellierung umgesetzt. In Abb.2.2 ist gut ersichtlich, dass die Klasse `StorageElementBase` an die Klassen `Cup` und `Palett` vererbt (schmale Linie mit leerem Pfeil, in Anlehnung an UML). Eigenschaften, die sowohl Palette als auch den Becher betreffen, sind in dieser Klasse implementiert. Weiterhin findet sich das Lager als eigene Klasse `Inventory` und der mobile Roboter als `MobileRobot` wieder. Die `Inventory`-Klasse ist jedoch nicht das Lager im Sinne von Abb.2.2 Bereich „G“, sondern auf die Liste in Bereich „E“.

Abbildung 2.2.: Klassendiagramm der MainWindow-Klasse mit vererbenden- und Datenmodell-Klassen



Zentrales Element ist die `MainWindow` Klasse. Sie implementiert eigentlich die Interface-Klasse `System.Windows.Window`. Der Programmierer hat sie allerdings als Daten-Hub verwendet. Wie oben geschildert werden beim Rendern des Fensters alle benötigten Datenobjekte erzeugt oder aus Dateien geladen.

- In der Klasse `Inventory` wird der Inhalt der Datei `Produkte.db` in zwei Listen geladen, sodass eine Liste mit lagernden Produkten und eine vollständige Produktliste gespeichert werden. Eine Instanz `inventory` wird zur Laufzeit erzeugt. Wenn die Dateien `Produkte.db` und `StorageData.db` zu dem Zeitpunkt nicht verfügbar ist, stürzt das Programm ab.
- In der Klasse `PalletMatrix` wird die Datei `StorageData.db` bzw. `CommissionData.db` geladen um einen zweidimensionalen Array `data` zu erzeugen. Jedes Array-Element ist ein Objekt der Klasse `Pallet` und enthält eine Liste `CupList` von Objekten der Klasse `Cup`. Diese Struktur wird dazu verwendet, um das reale Lager zu visualisieren. Zur Laufzeit werden zwei Objekte der Klasse `PalletMatrix` erzeugt:
 - `storageMatrix` bildet das Datenmodell um die Visualisierung in [Abb.2.2](#) Bereich "G" zu realisieren.
 - `commissionMatrix` bildet das Datenmodell für die Visualisierung des mobilen Roboters und der Workbench.

2.1.2. Klassenstruktur zur Steuerung des ABB Industrieroboter IRB 140

Um dem Industrieroboter ABB IRB 140 Befehle zu erteilen, muss das Programm mit der Steuerung IRC5 kommunizieren. Im Programmcode finden sich dazu wie in Abb.2.3 gezeigt, die Klassen der Bibliothek ABBRobotics. Instanzen dieser Bibliotheksbestandteile werden in der Klasse RobotController erzeugt, die von der Klasse RobotControllerBase erbt. Interessanter Weise wird in der MainWindow Klasse kein Objekt von RobotController erzeugt, sondern von der Klasse RobotControllerBase. Die Klasse ControllerCommandList erbt von einer Liste der Klasse ControllerCommand. Beim Initialisieren des Programms wird eine leere ControllerCommandList erzeugt. Die Methoden und Variablen in der Klasse implizieren, dass die Commands aus einer Datei geladen werden. Diese Methoden werden jedoch nie genutzt. Die Klasse ControllerCommand hat 5 statische Methoden. Jede von ihnen gibt ein Objekt der Klasse ControllerCommand zurück.

- StorageToWorkBench übermittelt der Steuerung den Befehl eine Palette vom Lager zum Kommissioniertisch zu transportieren.
- WorkBenchToStorage übermittelt der Steuerung den Befehl eine Palette vom Kommissioniertisch zum Lager zu transportieren.
- WorkBenchToRobot übermittelt der Steuerung den Befehl eine Palette vom Kommissioniertisch auf den mobilen Roboter zu platzieren.
- RobotToWorkBench übermittelt der Steuerung den Befehl eine Palette vom mobilen Roboter auf den Kommissioniertisch zu transportieren.
- WorkBenchToWorkBench übermittelt der Steuerung den Befehl, dass eine Palette den Platz auf dem Kommissioniertisch wechseln soll.

Als Parameter in der Methodensignatur werden die Koordinaten der Start- und Endpunkte übergeben sowie Pallet Objekte am Start- und Endpunkt. In dem ControllerCommand Objekt werden zwei Strings erzeugt, die am Beispiel StorageToWorkBench erklärt werden:

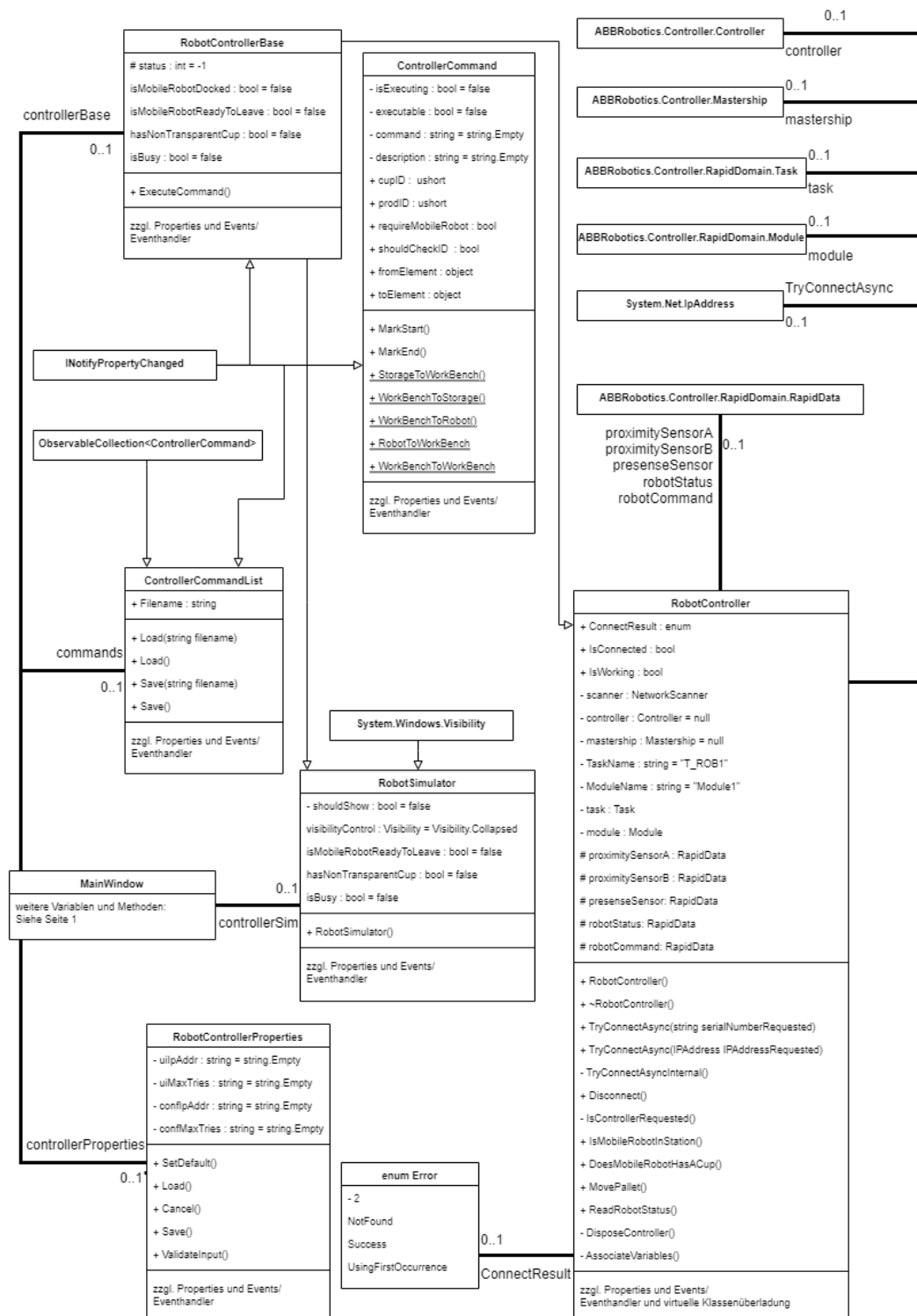
```
command = string.Format("Palette_{0}_{1}_1_{2}",  
station, position, w_col +1)
```

station ist ein Integer mit dem Wert von 3, wenn die oberste Regalreihe ausgewählt wurde, oder 2 sonst. position ist ein Integer, der sich aus der Spalte des Lagerregals errechnet. w_col+1 ist die Angabe des Ortes am Kommissioniertischs.

```
Description = string.Format("[{0}.{1}] {2}({3}) -> {4}({5})",cupID, prodID,  
str_title_Storage, PositionName, str_title_Commissioning,PositionName)
```

Damit wird ein String erzeugt, der eine Beschreibung des Vorgangs enthält. Die ControllerCommands werden in Methoden der MainWindow Klasse erzeugt. Die Parameter der Funktions-signatur stammen aus dem Objekt commissionMatrix welche in Kapitel 2.1.1 bereits beschrieben wurde. Die MainWindow Klasse hat eine Timer-gesteuerte Funktion MainTimerFunction, die die Commands fallweise abarbeitet. Wie genau die Daten vom Modbus Server in die commissionMatrix geschrieben werden ließ sich mit meinen eher bescheidenen C# Kenntnissen nicht evaluieren.

Abbildung 2.3.: Klassendiagramm der MainWindow-Klasse mit Klassen aus dem ABBRobotics Controllerframework.



Klassenstruktur Modbus TCP/IP

Modbus ist ein open-source Kommunikationsprotokoll welches 1979 von Modicon (heute Schneider Electric) veröffentlicht wurde. Es wird dazu verwendet Client-Server Verbindungen einzurichten und ist laut Modbus Organization de facto Standard in industriellen Herstellungsprozessen. Modbus unterstützt verschiedene Kommunikationsstrukturen. Modbus TCP/IP ist lediglich eine Variante, die 1999 entwickelt und veröffentlicht wurde. TCP/IP ist das übliche Transportprotokoll des Internets und besteht aus einer Reihe von Layer Protokollen, die einen zuverlässigen Datentransport zwischen Maschinen bereitstellen. Die Verwendung von Ethernet TCP/IP in der Fabrik ermöglicht eine echte Integration mit dem Unternehmensintranet und MES-Systemen, die die Fabrik unterstützen. Die Protokollspezifikation und Implementierungsanleitung sind auf der Seite der Modbus Organization frei verfügbar[3].

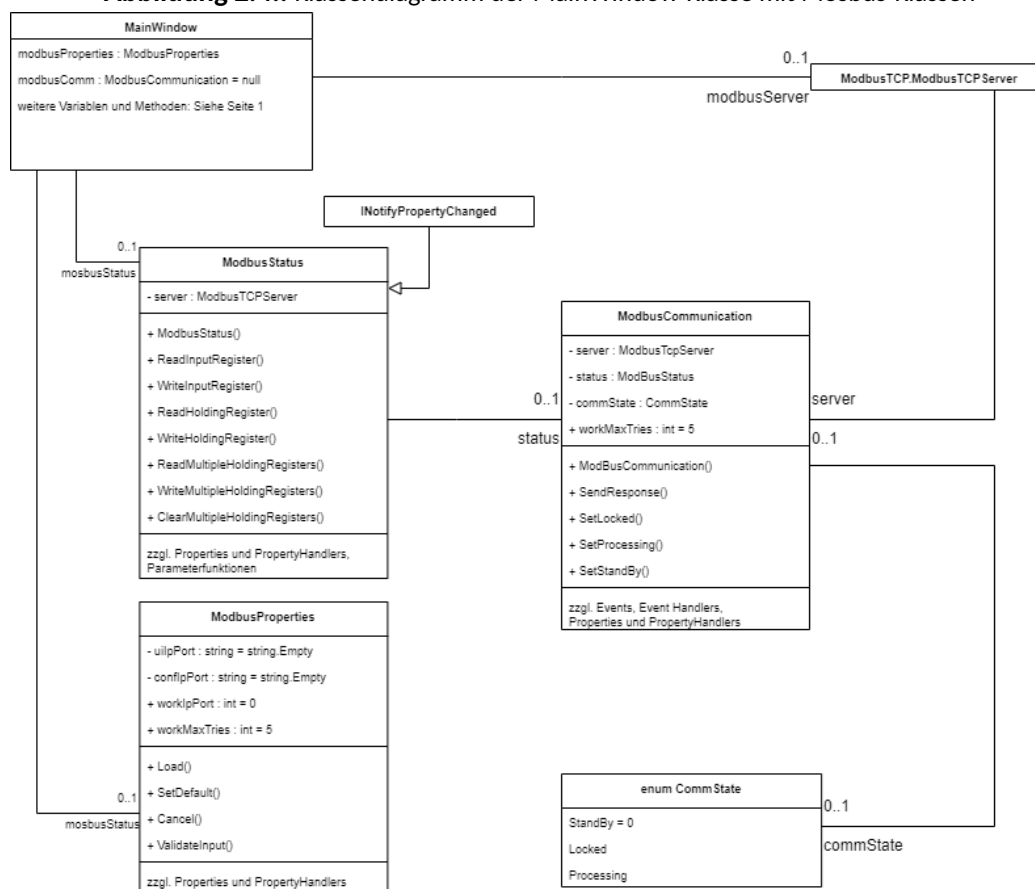
Lars Kistner [4] hat in seiner Bachelorarbeit aus dem Jahr 2016 die Kommunikationsstruktur der μ Plant festgelegt. Wie er beschreibt, existiert ein zentraler Modbus Server, der die „Kommandos“ in die entsprechenden Modbus Adressen und/oder Funktionsregister schreibt. Diese Adressen sind in der Datei `ModbusBaseAddress.cs` niedergeschrieben und um die Adressen des mobilen Roboters ergänzt.

Tabelle 2.1.: Werte der Klasse `ModbusBaseAddress`

Adresse	Wert	Beschreibung
Status	1	
KeepAlive	2	
Working	3	
FunctionReady	5	
ResponseReady	6	
Done	7	
AgentLockID	8	
AgentLockRequest	9	
FunctionID	10	
FunctionParameters	11	
FunctionParametersLength	32	
ResponseID	43	
ResponseParameters	44	
ResponseParametersLength	32	
StorageCup	1024	
StorageProduct	1280	/// 1024 + 256
CommissionCup	2048	
CommissionProduct	2080	/// 2048 + 32
MobileRobotCup	2560	
MobileRobotProduct	2568	/// 2560+8
MobileRobotDocked	2576	
MobileRobotReadyToLeave	2580	

Schaut man sich das Klassendiagramm der Modbus - Implementierung 2.4 an, stellt man fest, dass es die Klasse `MainWindow` Objekte von drei verschiedenen Klassen instanziiert, die sich dem Modbus Protokoll zuordnen lassen. Sie besitzt ein Objekt der

Abbildung 2.4.: Klassendiagramm der MainWindow-Klasse mit Mosbus-Klassen



Klasse ModbusStatus welches ein Objekt der Klasse ModBusCommunication besitzt. modbusTCP.modbusTCPServer wird ebenfalls als Objekt in MainWindow erzeugt. Gleichzeitig wird sie aber auch in ModbusCommunication instanziiert. Die dritte Klasse ist ModbusProperties. -> Methoden analysieren und Übergang zu ABB Klassen schaffen.

CommissionMatrix Die Klasse RobotController übersetzt diese in Strings und schickt sie an die IRC5 Steuerung. Wenn diese den Befehl ausgeführt hat, meldet sie „Fertig“ zurück. Das muss anhand von Code gezeigt werden.

Im Anhang B.5 seiner Arbeit sind die Modbus-Adressen, die dem Lager zugeordnet sind, aufgelistet. Der Adressenbereich ist lückenlos zwischen 1024 und 1105. Jeder Ablageort eines Bechers (z.B. L1a für Lagerort L1, vorne) hat zwei Adressen: Eine für die Cup ID und eine für die Product ID. Das schließt den Kommissioniertisch und den mobilen Roboter mit ein.

2.1.3. GUI

Das GUI besteht aus einem Fenster, welches in 8 Bereiche unterteilt ist (siehe Abb.2.1). Der Bereich „A“ hat keine Bedienfunktion.

Der Bereich „B“ ermöglicht dem Benutzer die Verbindungsdaten zur Steuerung des ABB Roboter IRB140 zu konfigurieren und die Verbindung herzustellen. Die Verbindungsdaten sind voreingestellt und die Felder sind standardmäßig für die Eingabe deaktiviert. Die

Felder können über die Taste „Modify“ wird die Eingabe freigeschaltet. Mit der Taste „Save“ können die Änderungen gespeichert werden. Mit der „SStart“-Taste wird die Verbindung hergestellt. Die Taste verändert daraufhin ihren Text zu „Connecting...“ und bei erfolgreich hergestellter Verbindung zu „Stop“. Ein Symbolbild informiert dabei über den Verbindungsstatus.

Im Bereich „C“ kann der IP-Port des Modbus-Servers über die Taste „Modify“ angepasst werden. Nach meiner Beobachtung funktioniert der Bereich nicht wie er soll, denn die Verbindung wird direkt nach Programmstart direkt als hergestellt angezeigt. Die Verbindungstaste zum Starten steht zum Programmstart auf „Stop“.

Im Bereich „D“ befindet sich eine scrollbare Liste aller möglicher Produkte mit zwei Spalten. Es wird neben dem Produktnamen die Produkt-ID angezeigt. Wahrscheinlich wurde die Liste als Nachschlagewerk gebaut, denn es sind ansonsten keine Bedienfunktionen verfügbar.

Im Bereich „E“ ist die gleiche Liste um eine Spalte erweitert, in der die gelagerte Menge aufgeführt ist. Die Liste bildet somit eine gute Übersicht über das Inventar und ist daher auch als „Inventory“ gekennzeichnet. Mit der Checkbox „Show empty entries“ können die Produkte ohne eingelagerte Menge ausgeblendet werden.

Bereich „F“ ist ein Eventlog. Hier werden von dem Programm aus verschiedenste Mitteilungen an den Benutzer getätigt. Mit der Taste „clear“ werden alle existierenden Einträge gelöscht.

Bereich „G“ ist die Visualisierung des Lagers. Die drei Reihen „TOP“, „MIDDLE“ und „BOTTOM“ sollen die drei Regalböden des Lagerregals nachbilden. Sie sind als hellgraues Rechteck gerendert. Die Slots A1...A6, H1...H6 sowie H7...H12 sind die Plätze für je eine Palette, die wiederum Platz für je zwei Becher hat. Der Ursprung dieser Bezeichnung konnte während der Vorbereitungen auf diese Arbeit nicht geklärt werden. Das reale Pendant ist mit L1...L18 gekennzeichnet.

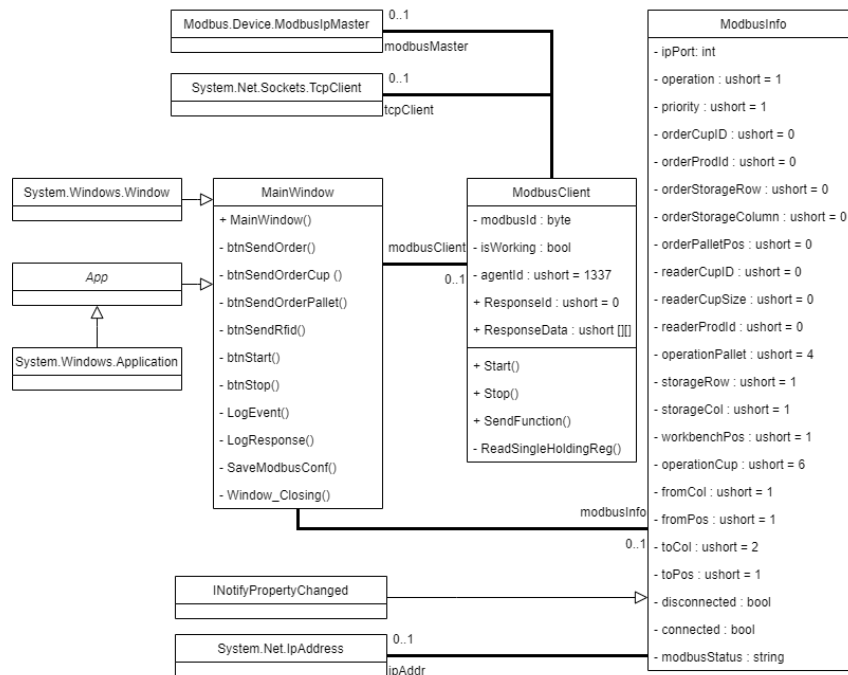
Das dunkelgraue Rechteck mit der Lagerort-Beschriftung symbolisiert die Palette. Die beiden weißen Rechtecke darauf symbolisieren je einen Becher. Sie sind mit „a“ für vorne und „b“ für hinten gekennzeichnet und zeigen den Produktnamen an. Ist ein Slot für einen Becher leer, wird kein entsprechendes Rechteck gerendert. Ein leerer Becher ist ein Produkt im Sinne des Programms. Ist keine Palette vorhanden, verbleibt der gesamte Bereich der Palette leer. In der oberen rechten Ecke kann der Benutzer mit der Checkbox „Show Details“ zusätzlich die Cup-ID und die Produkt-ID ein- und ausblenden. Mit der Checkbox „Edit“ kann der Benutzer alle Daten (Palette vorhanden/ nicht vorhanden, Cup-ID, Produkt-ID) als Eingabefeld sehen und ändern. Der Produktname wird dabei über die Produkt-ID referenziert. Die Änderungen werden gespeichert, indem die Checkbox einfach wieder abgewählt wird.

Im mittleren Bereich ist links der Bereich für den mobilen Roboter gerendert. Rechts ist der Bereich des Kommissioniertisches gerendert. Beide Bereiche geben dem Benutzer, wie das Lager auch, die Möglichkeit über die Checkboxes „Show Details“ und „Edit“ die Cup- bzw. Produkt-ID ein- und auszublenden oder die Daten manuell zu überschreiben. Darüber ist der Roboter IRB 140 als Symbolbild gerendert. Das Bild bietet keinerlei Bedienfunktion. Links daneben befindet sich die „Start“-Taste. Sie startet bei verbundenem Modbus den Automatikbetrieb. Ist der Modbus nicht verbunden, erscheint nach dem Klick ein Dialogfenster. Dieses fragt den Benutzer ob wegen der fehlenden Verbindung der Controller simuliert werden soll. Klickt man nun auf „Ja“ wird über dem mobilen Roboter ein weiteres Rechteck gerendert. Es enthält zwei Checkboxes „Mobile Robot is

present “und „Robot has non transparent cup “. Erstere rendert nach dem Klick einen mobilen Roboter (schwarzes Oval) und gibt dem Benutzer die Möglichkeit wie gewohnt über die beiden Checkboxes im oberen, rechten Bereich, Daten eines Bechers und Produkts einzugeben. Klickt man nun wieder auf die Taste, die nun mit „Stop “beschriftet ist, erscheint für etwa eine Sekunde der Schriftzug „Wait. . .“ bevor das Programm wieder in den Ausgangszustand wechselt.

Weiterhin bietet das Programm keine Möglichkeit den Roboter zu steuern.

Abbildung 2.5.: Klassendiagramm des Warehouse-Controllers mit allen vererbenden Klassen jedoch ohne Klassen die lediglich Datentypen konvertieren.



2.2. Controller

Der Controller ist ein kleines Programm, welches die manuelle Bedienung der Lagerzelle ermöglicht. Wie in 2.6 ersichtlich, ist das Fenster einfach strukturiert und übersichtlich. Ganz oben können die Modbus Verbindungsdaten konfiguriert werden und ganz unten ist ein Eventlog, derüber alle Fehler und Fortschritte in Textform berichtet. Dazwischen sind über eine Registeransicht die Basisfunktionen, wie sie in den statischen Methoden aus Kapitel 2.1.2 schon beschrieben wurden. In dem Reiter kann ein Befehl konfiguriert werden und mit „Send“ wird der Befehl über die implementierten Modbus-Klassen an die Steuerung IRC5 des Industrieroboters IRB 140 gesendet.

Mit dem RFID Server Tool, darunter dargestellt, können Speicherblöcke eines RFID-Tags mit der Cup ID oder mit der Produkt ID beschrieben werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Becher in der Andockstation des mobilen Roboters steht.

In Abb.2.5 sieht man, dass das Programm aus zwei wesentlichen Klassen neben dem MainWindow besteht. ModbusClient implementiert den Modbus Clienten zur Kommunikation mit den Modbus Servern, die in 2.1.2 beschrieben sind. Die Klasse implementiert auch das in [?] beschriebene Agentensystem. ModbusInfo dagegen hält die Daten, die zur Erzeugung der Kommandos benötigt werden.

Die Implementierung der RFID - Funktionen können anhand des Klassendiagramms nicht gezeigt werden. In Vorbereitung auf diese Arbeit habe ich nicht ausprobiert, ob das Programm diese Funktionen so erfüllt wie sie in dem GUI impliziert wird. Für die weitere Arbeit würde dies auch keinen Mehrwert bieten wie sich in Kapitel 3 noch zeigen wird.

Abbildung 2.6.: Ansicht des Controller Startbildschirms.

Warehouse Controller

Modbus Configuration

IP Address

127.0.0.1

IP Port

502

Disconnected

Start

Order

Basic

Pallet

Cup

Operation

Robot → Storage

Request Type

Prepare

Cup ID

0

Product ID

0

Storage Position (optional)

Any

Any

Cup Position (optional)

Any

Note: Cup ID or Product ID must be set.

Send

RFID Server

Cup ID

0

Cup Size (optional)

Any

Product ID (optional)

0

Send

Event Log

Error connecting to modbus server.

2.3. RFID Server

Dieses kleine Programm implementiert einen Modbus TCP/IP Server wie in [2.1.2](#) beschrieben. Statt mit dem ABB Controller zu kommunizieren, hält dieser Server Daten, die aus einem RFID-Tag stammen. In jeder Fertigungszelle der μ Plant gibt es einen RFID Leser der Fa. Feig. Stationen in der μ Plant können einen Tag am Becher beschreiben wenn sie das Produkt im Becher manipulieren. Anschließend können Stationen die einen Becher erhalten, den angekündigten Becher und das Produkt beim Eintreffen in der Station verifizieren. Die Verfahren dazu sind in [\[?\]](#) gut beschrieben. Die Daten der Tags sollen beim Schreiben und Lesen auf die Modbus Adresse des RFID Servers der jeweiligen Station geschrieben werden. Die Auftragsverwaltung der μ Plant kann die Daten der Tags dann von den RFID Servern abrufen. Wie das funktioniert, konnte ich in Vorbereitung auf diese Arbeit nicht untersuchen.

Das GUI des RFID-Servers ist einfach gehalten und ist in [Abb.2.7](#) dargestellt. Das Hauptelement ist eine Liste. Jedes Listenelement enthält Daten zu einem RFID Modbus Server und einem Tag mit seinen Daten. Mit der Taste „Add New“ können neue, leere, Listenelemente erzeugt werden. Standardmäßig sind die Eingabefelder deaktiviert, können jedoch mit der Taste „Modify“ zum Bearbeiten freigeschaltet werden. Mit der Taste „Start“ wird die Verbindung hergestellt. Ein Feedback, ob die Verbindung erfolgreich hergestellt werden konnte ist zunächst nicht ersichtlich. Jedes Listenelement enthält eine Checkbox mit der es ausgewählt werden kann. Mit den Tasten „Select All“ und „Select None“ können alle Listenelemente an- oder abgewählt werden. Im unteren, rechten Bereich können mit den Tasten „Start Selected“ und „Stop Selected“ mehrere Server gleichzeitig gestartet und gestoppt werden. Mit der Taste „Remove Selected“ können alle ausgewählten Listenelemente gelöscht werden. Sicherheitsabfrage?!?

Die Programmstruktur kann anhand des Klassendiagramms in [2.8](#) gut erklärt werden. Eine Klasse `MainWindow` hält eine Instanz der Klasse `RFIDProducerCollection`. Diese implementiert die oben beschriebene Liste welche Objekte der Klasse `RFIDProducer` speichert. Ein `RFIDProducer` Objekt enthält ein Objekt der Klasse `ModbusClient` für die Kommunikation über TCP/IP und ein Objekt der Klasse `TagReader` für die RFID Kommunikation.




Abbildung 2.7.: Startbildschirm des Programms RFID-Server

RFID Server

Add New

^

☐ LZ

Tag Info 0 . 0 . 0   

Name

Tag Reader

IP Address

IP Port

End Point

IP Address

IP Port




Modbus Address

Start

Modify




▼

☐ FZ links (entleer)

Tag Info 0 . 0 . 0   




▼

☐ FZ rechts (befüll)

Tag Info 0 . 0 . 0   




▼

☐ AuE1

Tag Info 0 . 0 . 0   

▼

☐ AuE2

Tag Info 0 . 0 . 0   

Select All

Select None

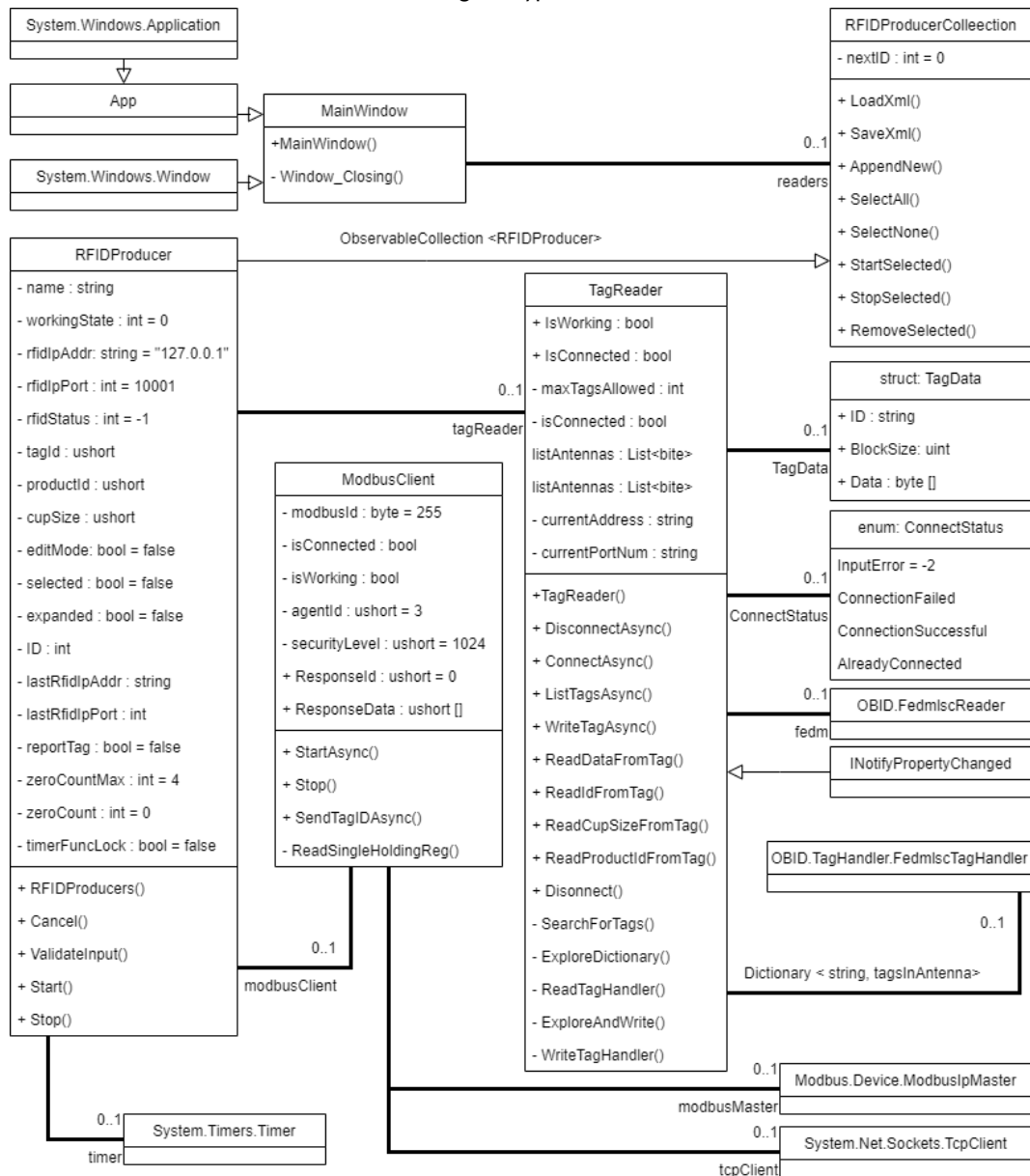
Remove Selected

Start Selected

Stop Selected

17

Abbildung 2.8.: Klassendiagramm des Programms RFID Server mit allen vererbenden Klassen jedoch ohne solche die lediglich Typen konvertieren.



2.4. Funktionsanalyse

In diesem Abschnitt werden die Funktionen der bisher beschriebenen Programme kurz beschrieben und daraus ein gesamter Funktionsumfang abgeleitet, der für das Kapitel 3 dienlich sein wird.

2.4.1. Lagerverwaltung 3.0

Dieses Programm hat genau ein Anwendungsfenster welches dem Benutzer einen umfassenden Überblick über die LZ gibt. Das Fenster hat eine Mindest- und Maximalgröße, ist dazwischen aber beliebig skalierbar. Dialoge werden genutzt, wenn Einträge gelöscht werden, Verbindungen nicht aufgebaut werden können und der Simulationsbetrieb gestartet werden kann. Felder sind standardmäßig deaktiviert und müssen über Checkboxes aktiviert werden.

Bedienfunktionen

Der Benutzer kann über das GUI folgende Eingriffe vornehmen:

- Die Verbindung zu einem Modbus Server konfigurieren, starten und beenden.
- Die Verbindung zur ABB IRC5 Steuerung konfigurieren, speichern, starten und beenden.
- In der Produktliste kann gescrollt werden.
- In der Inventarliste können leere Produkte ein- und ausgeblendet werden.
- Die vergangenen Einträge im Eventlogger können gelöscht werden.
- In der Lagervisualisierung können an den einzelnen Lagerorten
 - Paletten hinzugefügt oder entfernt werden
 - Becher hinzugefügt oder entfernt werden
 - Produkt ID und Cup ID der Becher konfiguriert werden
 - Durch Klick auf einen Becher werden alle Becher gleichen Produkts in der Lagervisualisierung und auch im Inventar blau hervorgehoben.
- Palette, Becher und Produkt auf dem Kommissioniertisch können konfiguriert werden
- Becher und Produkt auf dem mobilen Roboter können konfiguriert werden.
- Der Automatikbetrieb kann gestartet werden
- Wenn die Verbindung zum Modbus Server nicht hergestellt wurde kann ein Simulationsbetrieb gestartet werden
- Im Simulationsbetrieb kann zudem
 - Die Anwesenheit eines mobilen Roboters Simuliert werden
 - ausgewählt werden, dass der Becher auf dem mobilen Roboter nicht transparent ist (Funktion unklar)

Informationsdarstellung

Der Benutzer wird über folgende Inhalte informiert:

- Die Verbindungseinstellungen des Modbus Servers und den Verbindungsstatus
- Die Verbindungseinstellungen des ABB-Controllers und ihren Verbindungsstatus
- Alle möglichen Produkt ID's und die zugehörigen Produktnamen
- Produkte und ihre Lagermengen im Inventarbereich.
- In der Lagervisualisierung:
 - Symbolisierung einer Palette durch dunkelgraues Rechteck, wenn eine Palette vorhanden ist
 - Symbolisierung der Becher durch weißes Rechteck, wenn ein Becher vorhanden ist
 - Produktnamen und auf Wunsch auch Produkt ID und Becher ID
- Im Eventlogger werden folgende Informationen bereit gestellt:
 - Fehler und Events der Verbindung über Modbus TCP/IP
 - Fehler und Events der Verbindung zur Steuerung IRC5 des Industrieroboters
 - Programmfortschritte und Events im Automatikbetrieb oder der Simulation

2.4.2. Controller

Der Benutzer kann folgende Bedienvorgänge durchführen:

- Die Verbindungseinstellungen des Modbus Servers konfigurieren und starten
- Transportbefehle können erzeugt werden:
 - Transportbefehle eines einzelnen Bechers zwischen Lager, Kommissioniertisch und Roboter
 - Transportbefehle für einer Palette zwischen Lager und Kommissioniertisch

Die beiden Befehle können einerseits direkt ausgeführt werden, andererseits können sie auch als Eingabe für die Lagerverwaltungssoftware benutzt werden.

- Ein Becher in der Andockstation kann mittels einem RFID- Lesegerät beschrieben werden.

Der Benutzer wird in diesem Programm nur über seine Eingaben informiert. Die Eingaben erfolgen wo möglich über ein Dropdown Menü

2.4.3. RFID Server

Der Benutzer kann folgende Bedienvorgänge durchführen:

- Einen Neuen Listeneintrag erzeugen
- Einen oder alle Listeneintrag markieren

-
- Markierte Listeneinträge abwählen
 - ausgewählte Listeneinträge Löschen, Verbindung starten oder stoppen
 - Je Listeneintrag kann der Benutzer folgende Einstellungen vornehmen:
 - IP und Port des Tag Readers
 - IP, Port und Modbus Adresse des Endpoints
 - Ein einzelner Listeneintrag kann gestartet werden
 - Mit der Taste „Modify“ kann ein Listeneintrag zum Bearbeiten freigeschaltet werden
 - Mit der Taste „Save“ können Änderungen gespeichert werden.

Der Benutzer sieht in diesem Programme eine Liste aller eingetragenen RFID Reader, Endpoints und Modbus Adressen. Jeder Listeneintrag kann auf eine Zeile minimiert werden die lediglich den Namen des Endpunkts und die gelesenen Tag Daten anzeigt. Im ausgeklappten Zustand sind die Konfigurationen sichtbar, aber grau hinterlegt um anzuzeigen, dass die Bearbeitung gesperrt ist.

3

Konzeptionierung einer integrierten Python Anwendung

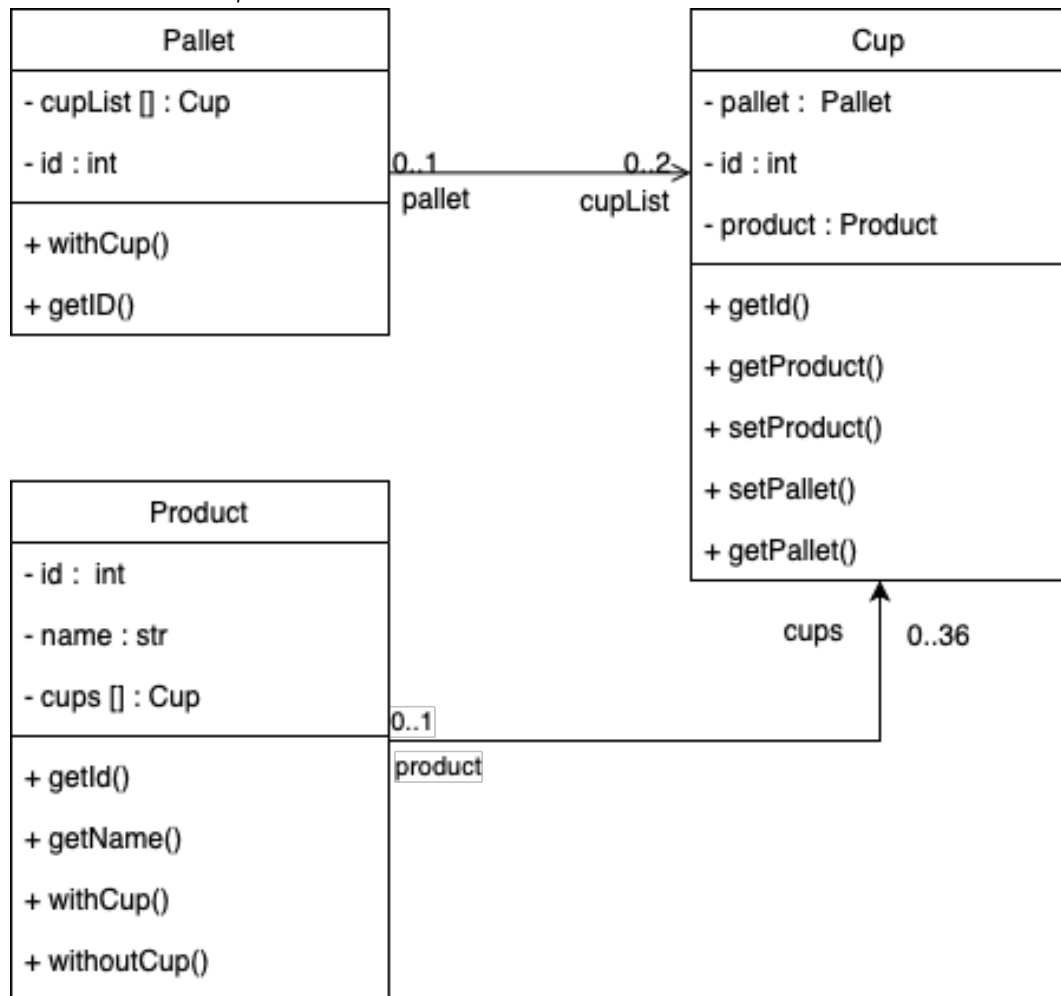
Die Basisanforderungen einer integrierten LZ-Verwaltung lassen sich aus Kapitel 2 ableiten. Hinzu kommen die später in Kapitel 5 beschriebenen Funktionen. Neben den Kriterien Modularität, Erweiterbarkeit und Wartbarkeit ist darüber hinaus wichtig, dass auch Personen, die bei der ursprünglichen Entwicklung der Software nicht involviert waren die Software warten und weiterentwickeln können. Eine saubere Struktur der Software ist daher unerlässlich und impliziert eine objektorientierte Programmierung. Die alte Software nutzte eine GUI-Klasse als Datenhub. Dadurch entstand ein unübersichtliches Klassenkonstrukt, dass es schwer machte den Code zu überschauen. Zum Beispiel wird anhand der Klassendiagramme deutlich, dass Daten der Modbus Adressen in die `commissionMatrix` geschrieben werden müssen, weil sie ausschließlich dort zu RAPID Kommandos für den Industrieroboter übersetzt werden. Wie genau das passiert, lässt sich jedoch anhand des C# Codes nicht nachvollziehen. Mit genügend Zeitaufwand könnte dieses Rätsel aufgelöst werden, jedoch bringt es für die Konzeptionierung der neuen Software keinen Mehrwert.

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, empfiehlt es sich auf branchenübliche Design Patterns zurückzugreifen. Das MVC Konzept sieht vor, dass Daten (Model) und GUI (View) keinerlei Zugriff aufeinander erlauben. Die Schnittstelle zwischen den Daten und dem Benutzer ist ein Controller, der die Programmlogik implementiert. Für die Daten gilt, dass sie in einer Objektstruktur modelliert werden und nicht von außerhalb dieser Objekte verändert werden.

Soll das Datenmodell geändert werden, muss dafür eine öffentliche Methode in dem Modell selbst existieren, die alle möglichen Fehler behandelt und referenzielle Integrität herstellt, sodass das Datenmodell nach jeder berechtigten Änderung konsistent bleibt und unberechtigte Änderungen nicht zulässt.

Die drei Klassen in Abb. 3.1 besitzen private Attribute, was durch das „-“ angedeutet ist. Dafür besitzen sie öffentliche Methoden, die einerseits die Attribute zurückgeben (get-Methoden) oder einen zu verändernden Wert übernehmen (set - Methoden). Werden Listen verwendet, können Objekte mit den `with-` und `without -` Methoden hinzugefügt oder entfernt werden. Ein Objekt der Klasse `Pallet` kann sich also nicht direkt selbst in das entsprechende Feld eines Objekts der Klasse `Cup` eintragen, sondern muss dazu die entsprechende Methode `SetPallet()` aufrufen. Diese Methode muss mindestens die folgenden Kriterien erfüllen um referenzielle Integrität herzustellen: Erstens muss die Gültigkeit der übergebenen Parameter geprüft werden. Zweitens muss überprüft werden ob in dem zu schreibenden Attribut schon ein anderes Objekt vermerkt ist. Drittens müssen die Änderungen jeder betroffenen Klasse mitgeteilt werden und eventuelle Fehlerfälle be-

Abbildung 3.1.: Referenziellen Integrität einer Palette / Becher / Produkt - Kombination wie sie in der μ Plant auftreten könnte.



handelt werden. Wird zum Beispiel einem Objekt der Klasse Cup je ein Objekt der Klasse Pallet und Product übergeben, dann muss am Ende der Änderung das Cup Objekt in der Liste cups der Klasse Product stehen. Das Objekt der Klasse Pallet muss ebenfalls als Feldwert des Attributs cup das Objekt der Cup Klasse haben. Es bleibt anzumerken, dass es die Attribute public, private und protected in Python nicht gibt. Dennoch ist eine modellierte Datenstruktur sinnvoll.

3.1. PySide6 und QuickQml 2.0

Laut der Qt Wiki Website [5] wurde das Qt Framework geboren, als ihre Schöpfer Haavard Nord und Eric Chambe-Eng im Sommer 1990 in Norwegen an einem GUI für eine Ultraschalldatenbank arbeiteten. Die Software sollte damals in C++ implementiert auf Mac, Unix und Windows laufen. Fünf Jahre später veröffentlichten Sie das erste Qt Framework unter dem Firmennamen Troll Tech. Seitdem gewann das Framework immer mehr Popularität. Im Jahr 2006 übernahm Nokia die Firma Troll Tech und verkaufte das Qt Project in den Jahren 2011 und 2012 erst teilweise, dann vollständig an den Digia Konzern. Seit 2014 ist Qt als Tochterunternehmen des Digia Konzerns unter dem Namen „The Qt Company“ ein eigenständiges Unternehmen.

Das Qt Framework ist in C++ implementiert. Die neue Software für die μ Plant soll jedoch in Python implementiert werden. Für diese Zwecke hat Qt u.A. das Framework PySide6 veröffentlicht, welches einen Wrapper für Python Projekte bietet.

GUI's können in PySide6 im Wesentlichen auf zwei Arten erstellt werden. Eine Möglichkeit ist es, das GUI über Widgets[6] zu erstellen, die direkt im Python Code implementiert werden können. Die zweite Möglichkeit ist QtQuick [7] zu nutzen, bei dem das GUI in einer separaten QML Datei erstellt wird und mittels einer QtQmlApplicationEngine Klasse in das Programm eingebunden wird.

Für die Umsetzung eines MVC-Design Patterns empfiehlt sich die Verwendung von Qt-QuickQML. Durch die Verwendung des Frameworks wird die konsequente Trennung zwischen Interface und Datenmodell erzwungen. Veranschaulicht wird dies in Abb. 3.2. Die eigentlichen Daten (von Server oder Datei) werden in ein Datenmodell (Model) überführt. Dieses Datenmodell ist ein beliebig komplexes Klassenkonstrukt, welches referenzielle Integrität aufbaut. In Pyside6 muss dieses Datenmodell von der Basisklasse QAbstractModel abgeleitet werden. Beim Initialisierung der Anwendung wird eine Instanz dieser Klasse (oder einer abgeleiteten Klasse) erstellt und als Root-context der QQmlApplicationEngine registriert. Somit ist das Datenmodell mit dem GUI verknüpft und kann unter seiner URI in jedem QML File angesprochen werden. In einer QML Datei wird ein entsprechender QML Type, z.B. ListView, welches eine einfache Liste erzeugt, und dem Property model die URI des Datenmodells zugewiesen. Dadurch kennt das ListView Objekt die Indices des Datenmodells und erhält beim Rendern der Liste nur die benötigten Daten.

Jede weitere Aktion, die durch den Benutzer auf ein Listenelement ausgelöst wird, bezieht sich auf ein Delegate des Datenmodells. Jede Änderung an dem Delegate wird zunächst gerendert und überprüft bevor das Datenmodell geändert wird. Diese Basisfunktion kommt mit dem Qt Framework an sich und muss nicht implementiert werden. Wie jedoch das Datenmodell mit den geänderten Daten umgeht oder ob die Änderung des Datenmodells automatisch ein Update der Daten auf dem Server oder der Datei auslöst, muss vom Entwickler implementiert werden!

An ein Delegate sind je nach QmlType durch das Framework Signale gebunden. Signale sind Teil des Signal/Slot Prinzips des Qt Framework [8] und stellen die Funktion eines Events dar. Durch die QmlApplicationEngine sind innerhalb eines GUIs alle Root-context Elemente ansprechbar. Wird ein Signal an beliebiger Stelle im GUI emittiert, kann es an jeder anderen Stelle als Event genutzt werden. Dadurch muss man in der Regel keine zusätzlichen Callbacks oder Lamda-Ausdrücke definieren. Außerhalb des QML Contexts, z.B. in einer Python Klasse, muss das Signal der Klasse bekannt sein, indem das Signal an die Klasse gebunden wird. Eine Funktion die mit der Annotation „Slot(str)“ versehen

ist, wird als Slot behandelt und kann mit dem Signal verknüpft werden, sodass diese bei Auftreten des Signals ausgeführt werden. An Signale können Daten übergeben werden, die so in einem Slot weiterverarbeitet werden können.

In meiner Vorbereitung auf diese Arbeit hat sich eine intuitive Vorgehensweise entwickelt, die ich für die Implementierung der Software empfehlen möchte:

Beim Initialisieren des Programms werden alle Datenmodelle (`QAbstractModel` und abgeleitete Klassen), Controller und Serviceklassen instanziiert und als Root-Context der `QQmlApplicationEngine` gesetzt. Siehe dazu das Beispiel 3.1. Damit stehen sie dem Programmierer in jeder QML Datei der Anwendung zur Verfügung.

In einer QML Datei können die Kontexte der `QQmlEngine` nun unter ihrer URI referenziert werden. Dies ist in Beispiel 3.1 gezeigt:

In dem QML Type „`ListView`“ wird dem Property `model` die URI des `ListModel` aus 3.1 zugewiesen. Im weiteren Verlauf des Codes findet sich ein `MouseArea` QML Type. Wird in dem Bereich ein Klick mit linker Maustaste durchgeführt, wird das Signal `onClicked` emittiert. Innerhalb des `MouseArea` Codes wird definiert, dass nach einem Mausklick die Funktion `selectRow(message)` aufgerufen wird. `message` ist dabei der übergebene Parameter. Das Beispiel braucht dabei keinerlei Importe anderer Klassen, was daran liegt, dass sowohl das Datenmodell als auch das Objekt der Controller Klasse als Ressource der `QQmlEngine` registriert wurden.

Im weiteren Verlauf des Codes wird ein QML Type `Connections` erzeugt, bei dem das Signal des Controllers `onRowClicked` mit einer Funktion verbunden wird. Innerhalb des `Connections` Types wird in Javascript die Funktion definiert. Zu beachten ist, dass im Controller selbst das Signal als `RowClicked` definiert wird. Innerhalb der QML Datei werden die Signale dann mit dem Präfix „`on`“ erfasst. Der Signalname wird als Name einer javascript - Funktion verwendet, die mit `function` gekennzeichnet ist. Der Code innerhalb des Funktionskörpers beschreibt dann die Funktionslogik in Javascript. Im Fall des Beispiels wird ein bool'sches Property umgeschaltet, wenn die `id` des Datenmodell - Delegates mit der `message` des Signals übereinstimmt.

Listing 3.1: Beispiel einer einfachen App mittels PySide6. Zunächst wird eine Instanz der Application-Klasse und der QmlEngine erzeugt. Danach werden Objekte eines Datenmodells und eines Controllers erzeugt und als rootContext der QmlEngine registriert. Anschließend wird die QML Datei des Hauptfensters geladen, was die App startet.

```
'''Create Basic Application Class and QML Engine'''
app = QtGuiApplication(sys.argv)
engine = QQmlApplicationEngine()

# Create simple ProductListModel from path to database file
listModel = ProductListModel(getProducts(PRODUCTLIST))
engine.rootContext().setContextProperty("listModel", listModel)

# create InventoryController instance
listController = ProductListController(listModel)
engine.rootContext().setContextProperty("listCon", listController)

# define load main.qml file to start application
qml_file = "../src/qml/main.qml"
engine.load(qml_file)

if not engine.rootObjects():
    sys.exit(-1)

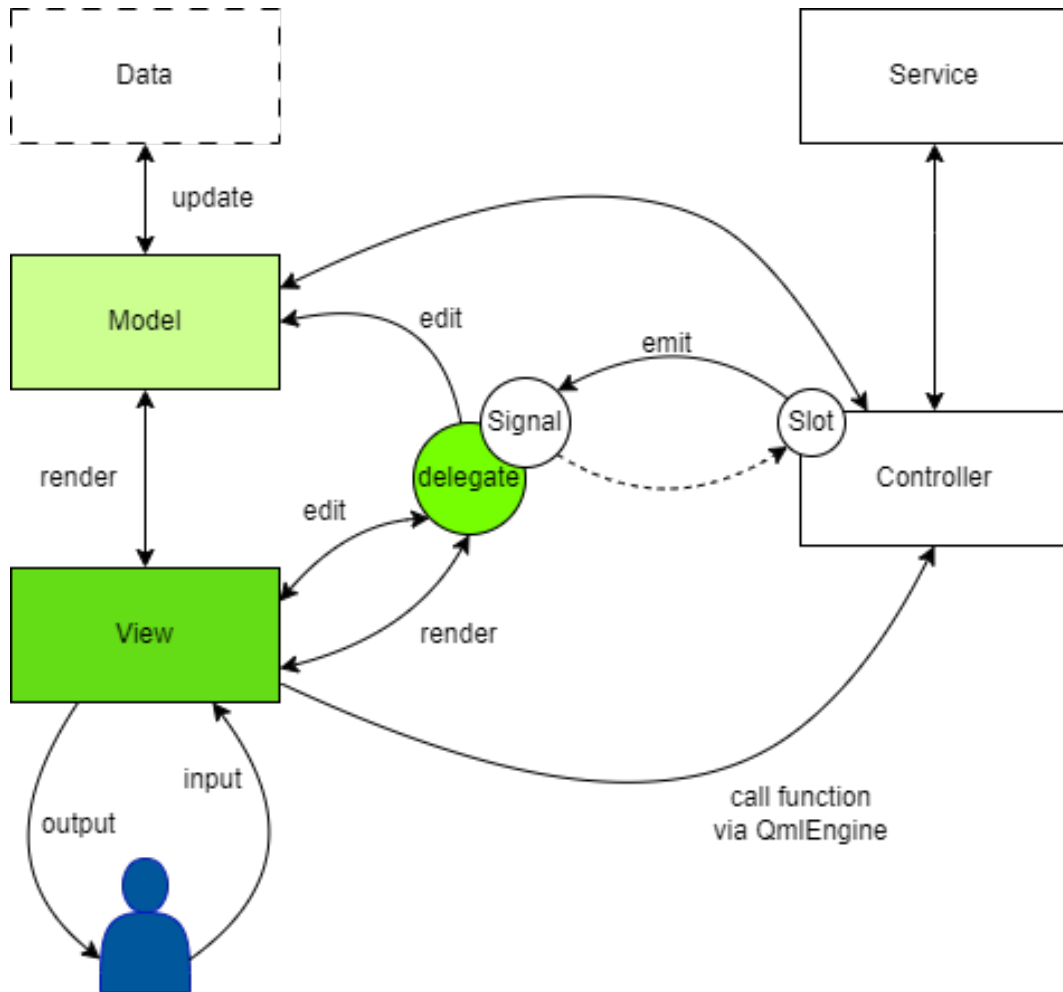
sys.exit(app.exec())
```

Listing 3.2: Beispiel einer QML Datei Diese QML Datei erzeugt ListView QML Type, der zum Anzeigen der Daten in einem ListModel verwendet wird. Innerhalb eines Rechtecks mit farbigem Rand werden in einem RowLayout Type die Datensätze des Datenmodells gerendert und über die Funktionslogik von Signalen der QML Types und der Controllerklasse farblich markiert.

```
ListView {
    id: inventoryList
    model: listModel
    anchors.fill: parent
    anchors.margins: 10
    clip: true
    spacing: 5
    Layout.fillWidth: true
    delegate: Rectangle {
        id: rect1
        width: ListView.view.width
        height: 50
        property bool selected: false
        color: selected ? "#4FC3F7": "white"

        RowLayout {
            id: row
            anchors.fill: parent
            Text {
                id: id
                text: model.id
                font.pixelSize: 20
                verticalAlignment: Text.AlignVCenter
                Layout.fillHeight: true
                Layout.fillWidth: true
                Layout.preferredWidth: 50
            }
        }
    }
}
```


Abbildung 3.2.: Die Abbildung zeigt das in PySide6 verwendete Model-View Konzept, welches um einer Controllerklasse und einer Service Klasse erweitert wurde.



Aus den Beispielen 3.1 und 3.1 lässt sich eine Systematik erkennen: Die Daten sind hinter einem DatenModel geschützt und werden der View zur Verfügung gestellt. Über die QML Dateien erfolgt die GUI Modellierung und Events werden mit dem Signal/Slot Prinzip behandelt. Beliebige Ressourcen können als Teil der QmlEngine registriert werden, um Sie an anderer Stelle verfügbar zu machen. Das künftige Programm soll jedoch auch Programmteile aufweisen, die nicht unbedingt mit den Daten oder dem GUI verknüpft sind.

Das sind beispielsweise die Kommunikationen über ModBus und dem ABB Industrieroboter oder das Übersetzen der Modbus Werte in RAPID Befehle. Diese Programmteile werden als Service Klassen bezeichnet. Wenn sich der Programmcode auf ein GUI auswirkt, wird ein Controller gebraucht, der dieses Verhalten steuert. Selbstverständlich könnten die Funktionen eines Controllers in den Service integriert werden. Dies würde aber die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit verschlechtern. Nach der Systematik wie in 3.2 abgebildet, können beliebig viele Datenmodelle, GUI's, Controller und Services parallel existieren ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.

Als Nachteil kann angeführt werden, dass sich mit zunehmendem Kontextregister der QmlEngine die Performance des Programms verschlechtern wird. Bei dem eher gering erwarteten Funktionsumfang der zu erstellenden Software ist dies jedoch untergeordnet

und könnte durch das dezidierte Aufteilen der Funktionen in Threads reduziert werden.

3.2. GUI - Konzeptionierung

Die Hauptfunktion der Software war bisher das automatisierte Abarbeiten der Kommissionaufträge, die über Modbus TCP/IP von der Auftragsverwaltung der μ Plant übergeben werden. Während diese Funktion abläuft, macht der Benutzer höchstwahrscheinlich einen Soll-Ist-Vergleich zwischen dem GUI und dem was er in der LZ sieht. In Abb. 3.3 ist ein Entwurf dargestellt, der zeigt, welche Elemente im Automatikbetrieb sichtbar sein sollten: Links ist die Andockstation des mobilen Roboters simuliert mit einem RFID Gerät darüber. Die eingelesenen Daten des RFID -Lesers könnten rechts daneben angezeigt werden.

Der Kommissioniertisch ist mit seinen beiden Plätzen „K1 “und „K2 “daneben symbolisiert. Die Visualisierung des Lagers nimmt den gesamten rechten Bildschirm ein.

Die Produktliste, wie sie in 2.1 Bereich „D“ dargestellt ist, kann entfallen. Muss der Bediener ein Produkt an irgendeiner Stelle des Programms überschreiben, so wird ihm nicht mehr die Produkt ID angezeigt, sondern direkt der Name. Zusätzlich könnte die Produktliste als Neues Fenster auf Wunsch des Benutzers eingeblendet werden. Zum Beispiel über die Toolbar.

Sämtliche Einstellungen wie Ip und Port der Kommunikationsschnittstellen sollen nur bei Bedarf angezeigt werden. Dazu wird die Taste zum Aufrufen in der Toolbar platziert und die Einstellungen sollen in einem QML Type QDialog erfolgen. Das hat den Vorteil, dass die Eingabe der Daten ohne viel Implementierung erfolgen kann ohne das Datenmodell zu ändern. Eingegebene Daten müssen bestätigt werden und können auch wieder verworfen werden.

Die Bereiche „E“(Inventarliste) und „F“(Eventlog) aus Abb. 2.1 müssen nicht gleichzeitig sichtbar sein. Sie können in einem Register integriert werden und mit dem QML Type StackView oder einem Loader angezeigt werden. Das Erscheinungsbild der beiden GUI Elemente kann aus der alten Software übernommen werden.

Als Drittes Register soll zusätzlich zum alten Startbildschirm eine Commission List (siehe Abb. 3.5) hinzugefügt werden. Sie soll eine Übersicht über die von der Auftragsverwaltung eingetroffenen Aufträge und ihren Status anzeigen. Um manuelle Überschreibungen der Produkte und Cup IDs vorzunehmen, ist vorgesehen, dass ein Zahnrad-Symbol erscheint, wenn man über dem entsprechenden Bereich den Mauszeiger hält (Hovering). Bei Klick auf das Zahnrad-Symbol soll ein Objekt des QML Types QDialog eingeblendet werden in dem die alten Feldwerte angezeigt und editiert werden können, aber auch das Editieren verworfen werden kann.

Die Funktion des ehemaligen Controllers soll über die Toolbar aufgerufen werden. Der Begriff an sich ist im Zusammenhang mit der neu konzipierten Software irreführend und wird daher verworfen. Der stattdessen wird der Titel „Manual Processing “gewählt. Hiermit sollen manuell Transportaufträge erzeugt werden wie „Räume den Becher aus Lagerort L3a nach L6b “. Dies soll für jede sinnvolle Transportoperation möglich sein. Bei Klick auf den entsprechenden Eintrag in der Toolbar könnte sich ein Fenster oder ein Dialog öffnen wie in 3.4.

Die so neu erzeugten Transportaufträge werden ebenfalls in der Commission List (siehe Abb. 3.5) angezeigt.

Abbildung 3.3.: Die Abbildung zeigt wie der Startbildschirm aussehen könnte um die Funktion des Automatikbetriebs abzubilden:

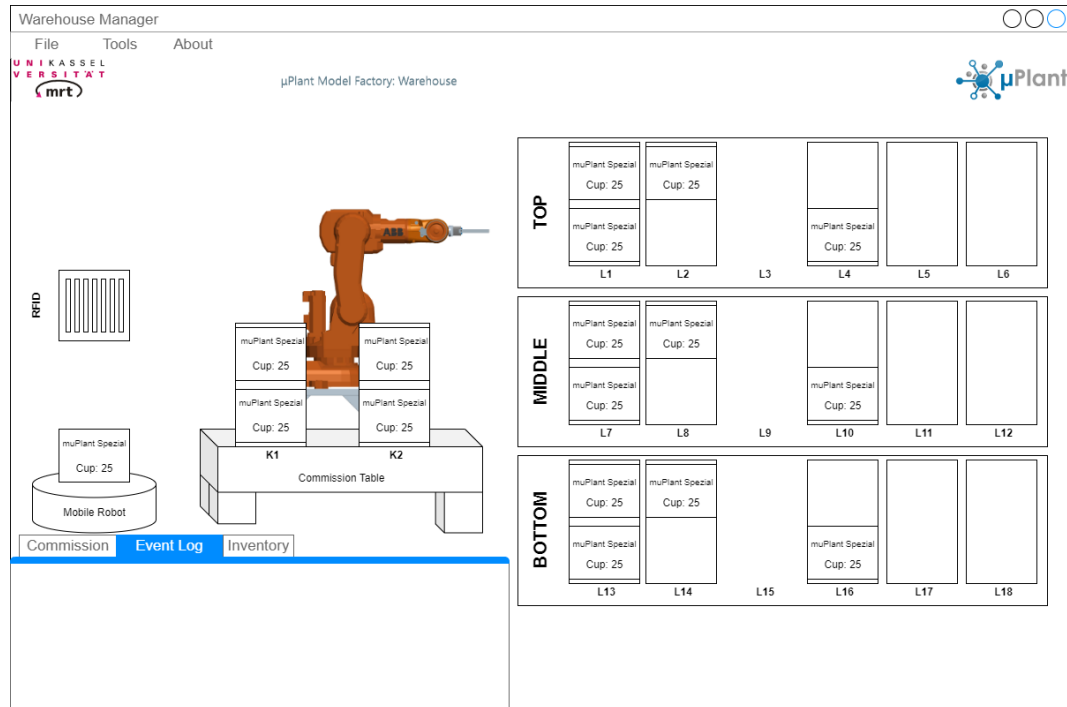


Abbildung 3.4.: Die Abbildung zeigt, dass entweder ein Becher oder eine Palette (mit oder ohne Becher) vom Startort zum Zielort transportiert werden kann. Die Eingabe der Zielorte wird hier über zwei Dropdown Menüs realisiert. Das Mockup impliziert, dass bei Tätigkeit einer Eingabe eine Validierung der Eingaben erfolgt.

Manual Processing

Select Target:

☐ Pallet
☐ Cup

*Pallet transport will transport also eventual containing cups!

Start Destination: Mobile Robot

Pallet at Start Destination: YES

Product in a: Apfelsaft

Product in b: Kein Becher

End Destination: L17 b

WARNING: Illegal Operation!
End Destination is not empty!

Cancel Create Command

Abbildung 3.5.: Die Abbildung zeigt, wie die Commission List aussehen könnte. Sie könnte als Tab in einem Register eingebunden werden.:

Commission List				<input type="checkbox"/> Show processed orders	
ID	Task	Source	Status		
23	Cup 54 from L15 b to K1 a	Manual Process	In Progress...		
24	Cup 67 from MR b to L15 a	Modbus	Pending		
25	Cup 87 from K2 a to L1 a	Manual Process	Pending		
26	Cup 5 from L5 a to MR	Modbus	Pending		

Das GUI des RFID Server Programms war sinnvoll und praktisch und kann so wie bisher umgesetzt werden. Der Aufruf des Programms soll über die Toolbar implementiert werden.

3.3. Konzepte zur Datenmodellierung

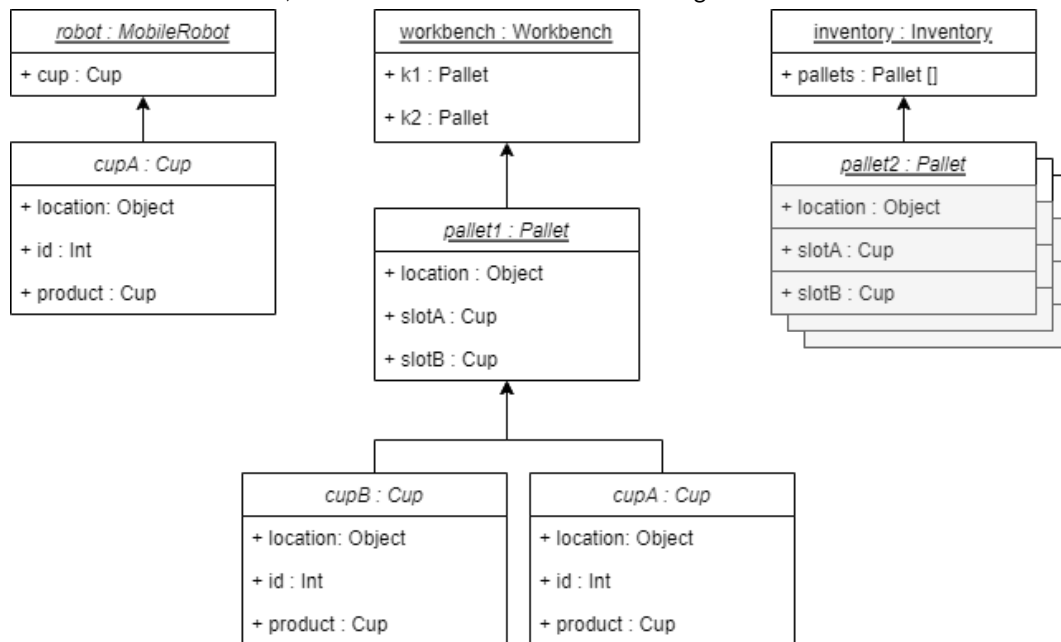
Für die Modellierung der Daten wird das MVC Konzept angewandt und um Serviceklassen erweitert. Bei der Anlieferung eines Bechers wird dieser in eine Palette gestellt und anschließend eingelagert. Ein Objektdiagramm dieser Situation ist in Abb.3.6 dargestellt. Eine Palette kann keinen, einen oder zwei Becher beinhalten. Die Becher in einer Liste zu speichern hat den Nachteil, dass man die Becher in der Palette als Listeneinträge verarbeiten muss und der Slot als weitere Listenspalte geführt wird. Die Becher als zwei separate Objekte in der Palette zu führen hat den Nachteil, dass zwei Orte abgefragt werden müssen. Andererseits ist die Zuordnung des Bechers zum Slot dadurch inhärent. Im Folgenden werden daher die Becher nicht als Liste, sondern als separate Feldwerte in der Palette geführt.

Abb. 3.6 zeigt auch, dass jedes Objekt der Klasse Palette und Cup ein Feld location braucht. Hier wird das Objekt gespeichert in welchem sich die Palette oder Becher gerade befindet. Dies ist erforderlich um referenzielle Integrität zu gewährleisten und erleichtert die Implementierung der Controller, wie eingangs in Kapitel 3 beschrieben. Aus dem Diagramm wird auch deutlich, dass zwischen den Objekten der Klassen MobileRobot, WorkBench und Inventory keinerlei Assoziationen gibt. Es wird also ein weiteres Objekt, z.B. ein InventoryController, gebraucht um aktiv Objekte von einem Lagerort zu einem Anderen zu schreiben.

Als Ergebnis dieser Überlegungen leitet sich ein (Daten-)Klassendiagramm ab (Siehe Abb.3.7).

Weitere Daten des Programms werden erwartungsgemäß nur in den Service-Klassen (siehe Kapitel 3.4) gebraucht. Die werden daher auch dort gespeichert wo sie verarbeitet werden. Immer wenn ein Service Zugriff auf das Datenmodell braucht, wird der entsprechende Controller diese Zugriffe verarbeiten.

Abbildung 3.6.: Die Abbildung zeigt ein Objektdiagramm aus Ablageorten für Paletten und Becher. Es ist ebenfalls ersichtlich, dass keine Verbindungslinien zwischen dem mobilen Roboter, dem Kommissioniertisch und dem Lager existieren.



3.4. Konzepte für Controller- und Serviceklassen

Für die Kommunikation über Modbus TCP/IP, OPC UA, RFID und ABB Robotics wird jeweils eine eigene Serviceklassen angelegt, wobei für Modbus TCP/IP und OPC UA sowohl Client als auch Server gebraucht werden. Das in [4] eingeführte Agentensystem wird ebenfalls als eigener Service implementiert. Da die LZ nicht mit anderen Stationen kommunizieren muss, reicht die Implementierung des Clients.

Controller werden gebraucht um Schnittstellen zwischen Service und Daten oder zwischen Service und GUI zu implementieren. Da Service und GUI im Allgemeinen getrennt sind, macht es am meisten Sinn, den Controller dem GUI zuzuordnen. Controller wie EventlogController machen Sinn, Controller wie ModBusController eher weniger und implizieren eine andere Aufgabe.

Eine besondere Rolle nimmt der InventoryController ein. Er muss zum Start des Programms das Inventar aus Dateien laden und damit das Datenmodell initialisieren. Aus Gründen die in Kapitel 4 erörtert werden, sollte der Controller nach jeder vollständigen Änderung des Datenmodells die Änderung einerseits in der Datei und andererseits in OPC UA sichern.

Eine Liste aller benötigter Service Klassen ist in Tab. 3.1 aufgelistet. Die Controller finden sich in Tab. 3.2.

Abbildung 3.7.: Klassendiagramm für die Datenstruktur der Software der Lagerverwaltung.

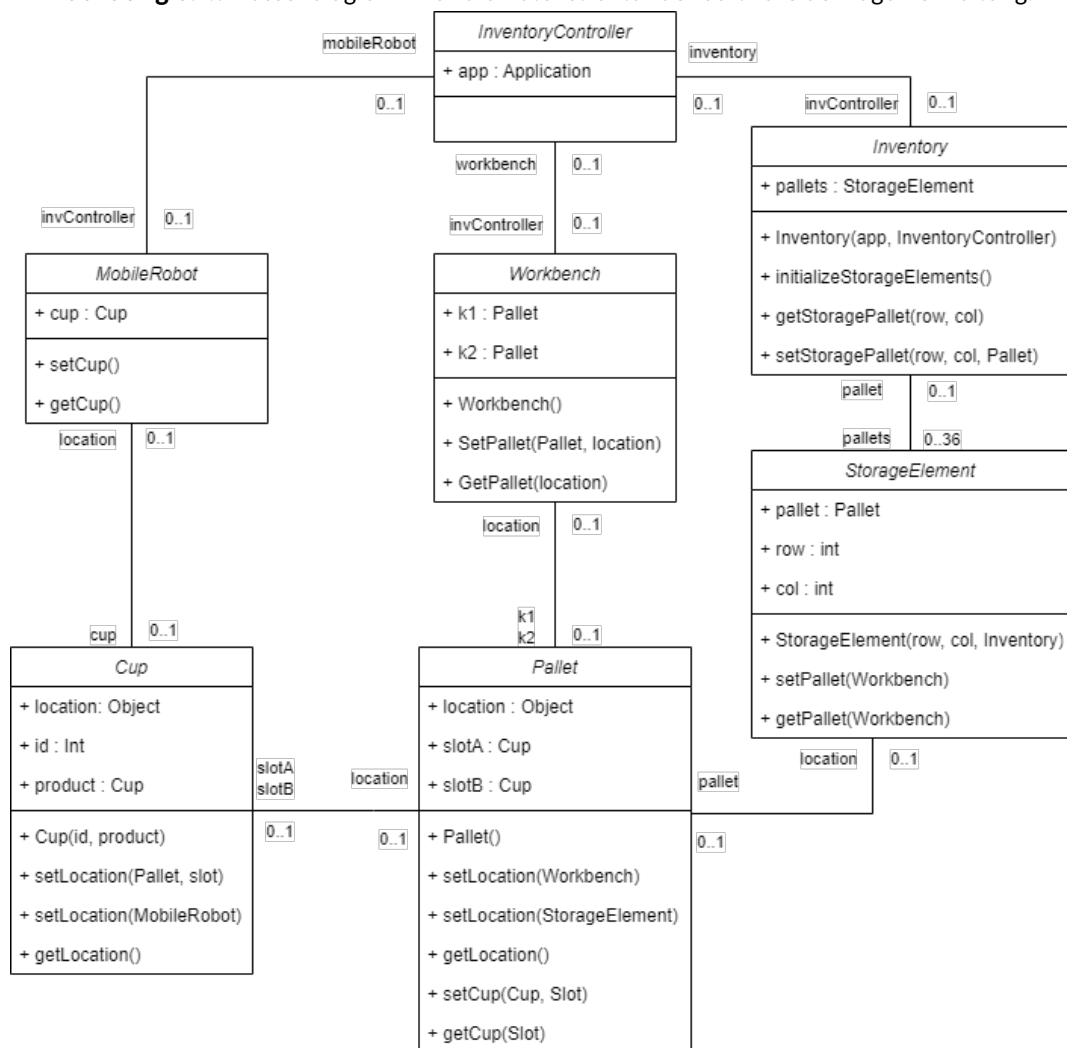


Tabelle 3.1.: Benötigte Serviceklassen

Klassenname	Beschreibung
Modbus Service	Implementiert die Modbus Kommunikation, sendet Modbus Informationen an entsprechende Controller
OPC UA Service	Hält OPC UA Server und Client, organisiert Kommunikation zu anderen OPC UA entities
RFID Service	Erledigt alles was mit RFID zu tun hat

Tabelle 3.2.: Werte der Klasse ModbusBaseAddress

Klassenname	Beschreibung
InventoryController	Führt jede Operation bezüglich des Datenmodells aus
EventlogController	Erzeugt Meldungen für den Eventlog

3.5. Teilautomatisierte Code Dokumentation mit Sphinx

Code-Dokumentation ist ein wichtiger Bestandteil jedes Softwareprojekts und dient dazu den Code anderen Entwicklern zugänglich zu machen. Die Erstellung ist unter Umständen aufwändig, kann aber zumindest teilweise automatisiert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, das Paket Sphinx zu verwenden. Sphinx ist ein Tool, das es Entwicklern ermöglicht, Dokumentationen in verschiedenen Formaten wie HTML, PDF und ePub aus Kommentaren im Code des Python Projekts zu erstellen. Dazu werden die in Python üblich Docstrings verwendet [9].

Das Paket kann über PyPi mit folgendem Kommando über die Eingabeaufforderung installiert werden:

```
pip install -U sphinx
```

Das Sphinx- Paket benutzt Themes um die Dokumentation grafisch darzustellen und zu strukturieren. In Vorbereitung auf diese Arbeit habe ich mir das rtd-theme (Read the Docs [10]) angeschaut und ausprobiert. Es ist ein beliebtes Theme für Sphinx-Dokumentationen, da eine klare und übersichtliche Darstellung der Dokumentation bietet und einfach zu verwenden ist.

Um das rtd-theme in einem Sphinx-Projekt zu verwenden, muss es zunächst installiert werden. Dies kann über den Befehl

```
pip install sphinx_rtd_theme
```

erfolgen, dabei wird das Sphinx Paket auf die Version 6.4.1 angepasst.

Um Sphinx zu nutzen, muss es zunächst konfiguriert werden. Mit dem Kommando

```
sphinx-quickstart
```

wird man über die Konsole aufgefordert einige Optionen festzulegen mit denen die Dokumentation aufgesetzt wird. Anschließend befinden sich in dem ausgewählten Ordner:

- ein Makefile

-
- eine Datei `modules.rst`
 - eine Datei `index.rst`

Index ist in der HTML -Version die Startseite. Im RST-Format [?]kann die Seite gestaltet werden.

In der `modules.rst` dagegen werden die Module aufgelistet, die dokumentiert werden sollen. Nach der Installation des `rtd-theme` kann es in der Konfigurationsdatei von Sphinx aktiviert werden. Dazu muss die Zeile `html_theme = 'sphinx_rtd_theme'` in die Datei `conf.py` eingefügt werden. Sobald das Theme aktiviert ist, wird die Dokumentation im `rtd-Theme` angezeigt.

[Hier noch erklären wie sphinx verwendet wird falls Code aktualisiert oder gar neue Dateien hinzugefügt werden]

3.5.1. Sphinx Erweiterungen

In der Konfigurationsdatei `conf.py` habe ich folgende Zeile eingefügt:

```
extensions = [  
    'sphinx.ext.autodoc',  
    'sphinx.ext.viewcode',  
    'sphinx_copybutton']
```

Autodoc

Autodoc wird dazu verwendet um die Docstrings im Python-Code als Dokumentationstext zu erfassen. Damit dies funktioniert muss ein Modul in der Datei `modules.rst` mit folgendem Syntax hinzugefügt werden:

```
.. automodule:: src.cameraApplication.cameraProcessing  
    :members:
```

Die Dateipfade der Module werden wie im Beispiel vom Makefile aus zur Python-Datei angegeben, jedoch ohne Dateierweiterung. Docstrings in den Modulen werden direkt als HTML gerendert. Inline-Kommentare werden nicht angezeigt.

viewcode

Um den Code des Moduls in dem HTML Dokument einzublenden wird die Erweiterung `viewcode` genutzt. Unterhalb der Modulüberschrift im HTML-Dokument werden zunächst alle Docstrings gerendert. Darunter erscheint nun ein grauer Bereich, in dem Python Code mit Farbformatierung angezeigt wird. Es werden auch andere Sprachen erkannt, jedoch gibt es leider keine Option QML Code farblich formatiert anzuzeigen. QML Dateien werden im Allgemeinen von Autodoc nicht erkannt. Die Einzige Option ist ein `literalinclude` Befehl in der Datei `modules.rst` wie z.B.:

```
qml.main.qml  
-----
```

The main QML-file creates the main application window.

```
.. literalinclude:: src/qml/main.qml
```

```
:language: qml
```

Wie leicht zu erkennen werden Docstrings nicht erkannt und müssen daher manuell eingefügt werden. Kommentare im Javascript-Syntax und Properties werden farblich hervorgehoben. Insofern ist dies ein gangbarer Weg.

sphinx_copybutton

Diese Erweiterung erleichtert dem Anwender oder Entwickler das Leben wenn durch die HTML Seite navigiert wird. Werden Codes für die Kommandozeile in den rst Dateien angegeben, wie z.B.:

```
.. code-block:: bash
    pip install -r requirements.txt
```

Dann wird im HTML Dokument im grau hinterlegten Bereich der den Code darstellt, ein Knopf gerendert, der das Kommando per Click in den Zwischenspeicher kopiert.

3.6. Sonstige Festlegungen

3.6.1. Virtual Environment

Die Entwicklung der Software soll in einer virtuellen Entwicklungsumgebung (venv) stattfinden. Alle benötigten Pakete werden dort installiert.

Die installierten Pakete werden nicht in das Git Repository gepusht. Stattdessen wird mit

```
pip freeze > requirements.txt
```

Eine Textdatei mit allen verwendeten Bibliotheken erstellt. Läd sich ein Benutzer das Repository herunter, können mit dem Befehl

```
pip install -r requirements.txt
```

alle benötigten Pakete installiert werden, sodass das Projekt lauffähig kompiliert werden kann. Der Nachteil ist, dass es im Aufgabenbereich des Entwicklers liegt, nicht verwendete Pakete zu deinstallieren, sodass sie später nicht unbeabsichtigter Weise installiert werden.

3.6.2. Verwendete Programme

Nachfolgend werden alle verwendeten Programme und Software aufgelistet, die zur Erstellung der Software benutzt werden

- PyCharm Community Edition von JetBrains wird zur Editierung von Code verwendet. Das betrifft nicht nur Python Code, sondern auch alle anderen Sprachen und Syntaxe exklusiv QML. Sogar zur Erstellung von LaTeX Dokumenten wird PyCharm mit dem PlugIn TeXiFy verwendet.
- Qt Creator kann für alle Qt kompatiblen Programmiersprachen verwendet werden. Es beinhaltet außerdem den Qt Designer, mit dem QML Dateien grafisch editiert werden können. Das Programm ist teilweise unbequem und umständlich, ist aber für QML in Python die beste Lösung um intuitiv Einstellungen an QML Types auszuprobieren.

-
- Visual Studio 2022 wird dazu verwendet den C# Code der alten Software zu analysieren. Das PlugIn „Class Designer“ wird dazu verwendet um die Projektmappen in Klassendiagramme darzustellen.
 - Die Homepage Diagrams.net bietet eine gute Lösung um schnell Diagramme in UML und anderen Standards zu erstellen und in gewünschten Dateiformaten zu exportieren.

4 Analyse zur Fehlerbehandlung

Wenn Manuell Transportaufträge eingegeben werden, kann es zu Konflikten kommen. Z.B. Könnte im Abholort kein Becher oder keine Palette sein. Umgekehrt könnte am Abstellort eine Palette oder Becher stehen. Für diese Problematiken können :

- Inventardaten zur Überprüfung herangezogen werden
- Kamergestützte Validierungsprozesse in Kapitel [5](#) Entworfen werden.

5 Ideensammlung zu kameragestützten Validierungsprozessen in der Lagerverwaltung

5.0.1. Konzepte

5.0.2. Abgeleitete Anforderungen an die Kamera

5.0.3. Kameraauswahl

6

Zusammenfassung und Ausblick

Hier wird die Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf offene Fragestellungen gegeben.

A Dies ist der erste Anhang

Hier Text einfügen.

Literaturverzeichnis

- [1] „Liste aller QML Types, <https://doc.qt.io/qt-6/qtquick-qmlmodule.html>, Accessed: [15.06.2023].
- [2] S. Hübler, „BPS Tätigkeits- und Erfahrungsbericht: Objekterkennung und Verfolgung mittels Kamera in Produktionsanlagen am Beispiel der Modellfabrik µPlant, 2019.
- [3] „Modbus Organization, <http://www.modbus.org>, Accessed: [12.06.2023].
- [4] L. Kistner, „Konzeptionierung und Umsetzung einer serviceorientierten verteilten Automatisierungs-Architektur für die heterogene Modellfabrik µPlant, 2017.
- [5] „Qt History on Qt Wiki, https://wiki.qt.io/Qt_History, Accessed: [13.06.2023].
- [6] „PySide6 QtWidgets, <https://doc.qt.io/qtforpython-6/PySide6/QtWidgets/index.html>, Accessed: [14.06.2023].
- [7] „PySide6 QtQuick, <https://doc.qt.io/qtforpython-6/PySide6/QtQuick/index.html>, Accessed: [14.06.2023].
- [8] „Signal and Slot in PySide6 Framework, <https://doc.qt.io/qtforpython-6/PySide6/QtCore/Slot.html>, Accessed: [13.06.2023].
- [9] „PEP 257 – Docstring Conventions, <https://peps.python.org/pep-0257/>, Accessed: [19.06.2023].
- [10] „Read The Docs Homepage, <https://readthedocs.org/>, Accessed: [19.06.2023].