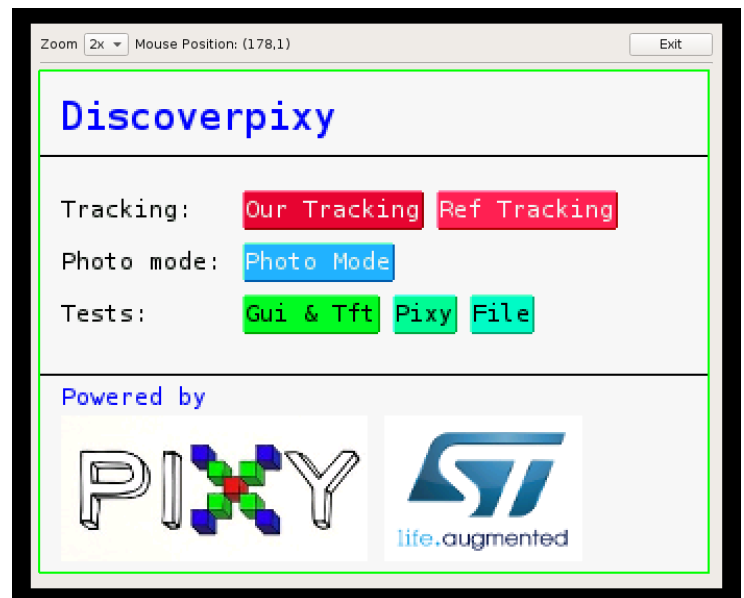


# Discoverpixy

Ein Projekt zur Objekterkennung mittels der Pixy CMUCam5 und der STM32 Mikrokontroller-Plattform



Autoren: Aaron Schmocker und Timo Lang  
Dozent: G. Krucker  
Modul: Softwaredesign und Softwareprojekte (BTE5052)  
Abgabedatum: 8.6.2015

# Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung.....	4
2 Planung und Ziele.....	4
3 Benutzung.....	6
3.1 Ordnerstruktur.....	6
3.2 Dokumentation und andere Ressourcen.....	7
3.3 Kompilierung des Projekts.....	8
3.4 Ausführen und Bedienen des Projekts.....	9
3.4.1 Allgemeine Hinweise zur Ausführung.....	9
3.4.2 Ausführung des Emulators.....	9
3.4.3 Ausführung auf der Ziel-Plattform STM32F4Discovery.....	10
4 Analyse.....	11
4.1 Highlevel.....	11
4.2 Aufbau der Benutzeroberfläche/Bedienung.....	13
4.3 Kommunikation mit dem Touchcontroller.....	15
5 Grobdesign.....	16
5.1 Applikation.....	16
5.2 System.....	16
5.3 Tft.....	17
5.4 Touch.....	17
5.5 Dateisystem.....	17
5.6 Gui.....	17
5.7 Pixy.....	18
6 Spezielle, erwähnenswerte, verwendete Techniken.....	19
6.1 Verkettete Listen.....	19
6.2 Objektorientiertes programmieren in C.....	19
7 Implementierung der Module.....	21
7.1 Applikation.....	21
7.2 System.....	25
7.3 Tft.....	25
7.4 Touch.....	26
7.5 Dateisystem.....	27
7.6 Gui.....	28
7.7 Pixy.....	30
8 Plattform STM32F4Discovery.....	31
8.1 Aufbau und Pinbelegung.....	31
8.2 System.....	33
8.3 Tft.....	34
8.4 Touch.....	35
8.5 Sd-Karte.....	36
8.6 Pixy.....	36
8.7 Usb.....	37
9 Plattform Emulator.....	39
9.1 Aufbau & System.....	39
9.2 Tft & Touch.....	40
9.3 Dateisystem.....	40
9.4 Usb & Pixy.....	41

10 Test.....	42
10.1 TFT Modul Test.....	42
10.2 GUI Modul Test.....	43
10.3 STM32F4Discovery Spi Touch Kommunikation Test.....	45
10.4 Pixy Modul Test.....	46
10.5 PID Regelungs Test.....	47
11 Fazit der Arbeit.....	49
11.1 Fazit Timo.....	49
11.2 Fazit Aaron.....	49

# 1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Moduls BTE5052 soll eine Projektarbeit durchgeführt werden. Ziel ist es mithilfe der Videokamera Pixy CMUCam5 Objekte zu erkennen, ihnen zu folgen, die Erkennung geeignet darzustellen und zu konfigurieren. Als Entwicklungsplattform soll die STM32 Mikrokontroller-Serie dienen. Die effektive Objekterkennung erfolgt durch die Pixy-Kamera und die darunterliegende Technologie sowie die Thematik der Bildverarbeitung sei nicht Ziel dieser Arbeit. Mit der Pixy-Kamera ist via USB oder I2C zu kommunizieren. Als Mikrokontroller-Kit stehen das STM32F4Discovery Board und das Carne-Kit (BFH) zur Verfügung. Die erstellte Software ist in der Programmiersprache C zu schreiben und entsprechend zu kommentieren und dokumentieren.

Wir werden für die Realisierung dieser Arbeit das STM32F4Discovery Board verwenden und via USB mit der Pixy-Kamera kommunizieren. Um die Entwicklung zu vereinfachen wird nebenbei ein Emulator entwickelt, welcher das Ausführen der Applikation auf dem PC erlaubt.

## 2 Planung und Ziele

### Fokus der Arbeit:

- Planung und Durchführung eines Mikrokontroller-Projekts im Zweierteam.
- Design einer erweiterbaren Architektur, so dass das Projekt von Dritten weitergeführt und optimiert werden könnte.
- Implementierung und Dokumentation einer funktionstüchtigen Lösung gemäss Aufgabenstellung.
- Abstraktion der Anwendung, zur Ausführung auf dem PC bzw. dem STM32F4Discovery

### Nicht Fokus der Arbeit:

- Korrekte und schöne Implementierung des Usb-Hosts gemäss Spezifikation für die Pixy-Kamera auf dem STM32F4Discovery.
- Herstellen von produktionsreifen Bibliotheken zur Kommunikation mit Display, SD-Karte und Pixy
- Herstellen eines komplexen Emulators, dessen Funktionalität über die Funktionalität der Anwendung auf dem STM32F4Discovery hinausgeht.
- Performance-Optimierungen

## Zeitplanung / Meilensteine:

Name	Bemerkungen	Datum
FSMC Display Funktionen	Mindestens diese die auch im Emulator vorhanden sind, Ziel: Pixy video auf dem Display	20.4.2015
Touch Controller, Basic	Ziel: zeichnen von Pixel auf dem Display via Touch	27.4.2015
Sd Karte, Basic	Ziel: anzeigen eines Bitmaps auf dem Display	27.4.2015
2 <sup>nd</sup> Display support	Nur wenn auch via FSMC möglich.	27.4.2015
Speisung		27.4.2015
Schaltplan		27.4.2015
Hardware ok		4.5.2015
Display fertig abstrahiert		4.5.2015
Touch fertig abstrahiert		4.5.2015
Sd Karte fertig abstrahiert		4.5.2015
Gui Library fertig	d.h. Buttons, Chechbox, Slider und ev NumUpDown, Radio, Dropdown	11.5.2015
Alle LowLevel funktionalitäten fertig	Ziel: ab hier wird nur noch der "common"-Order verwendet	11.5.2015
Objekte von Pixy empfangen	Ziel: die von Pixy erfassten Objekte werden auf dem Display dargestellt	18.5.2015
Objektracking	Ziel: Objekttracking funktioniert und ist konfigurierbar	25.5.2015
Abgabe		8.6.2015

## 3 Benutzung

### 3.1 Ordnerstruktur

Auf oberster Stufe befinden sich die 4 folgenden (haupt) Ordner:

- common
  - enthält allen Plattformunabhängigen Code, sowie die Applikation selbst
  - Würde man den app Unterordner löschen, hätte man ein “leeres Projekt” mit Treiber zur Ansteuerung von Display, Touch-Controller, SD-Karte und Pixy.
  - Der lowlevel Unterordner enthält die Prototypen für die Funktionen die von der jeweiligen Ziel-Plattform implementiert werden müssen.
- discovery
  - enthält allen lowlevel Code und den Initialisierungscode um die Software auf dem STM32F4Discovery zu betreiben. Die Pixy wird via UTB-OTG direkt ans Discovery angeschlossen.
  - Der libs Unterorder enthält Code von Dritten, der src Unterordner enthält den Hauptcode für die Plattform.
- emulator
  - enthält allen lowlevel Code und den Initialisierungscode um die Software auf dem PC (im sogenannten “Emulator”) laufen zu lassen. Die Pixy wird via USB direkt an den PC angeschlossen.
  - Der libs Unterorder enthält Code von Dritten, der qt Unterordner enthält den Hauptcode für die Plattform.
- doc
  - enthält alle Dokumentations-Ressourcen sowie Referenzcode und Datenblätter.

## 3.2 Dokumentation und andere Ressourcen

### Vorliegende Dokumentation

In der vorliegenden Dokumentation (aktuelles Dokument) wurden vorallem einführende Themen, theoretische Grundlagen, sowie die Analyse und das Design des Projekts erläutert.

### Doxygen-Dokumentation

In der Doxygen-Dokumentation wurden alle Methoden und Strukturen des plattformunabhängigen Teils dokumentiert. Die Schnittstellen aller Module sind in dieser Dokumentation ersichtlich.

Die Doxygen Dokumentation sollte in einem Browser angeschaut werden. Sie kann entweder online auf <http://t-moe.github.io/discoverpixy/> eingesehen werden oder selbst gebaut werden. Um die Doxygen-Dokumentation selbst zu bauen ist der Befehl *doxygen* im Hauptverzeichnis des Projekts auszuführen und anschliessend die Datei *doc/html/index.html* im Browser zu öffnen.

Es empfiehlt sich die “Modules” Seite als Ausgangspunkt zur Navigation zu benutzen.

Alternativ lässt sich die Doxygen-Dokumentation inkl Source-Code auch als PDF ansehen. Eine aktuelle Version dieses PDF's sollte sich im doc Ordner befinden.

### Dokumentation des Source-Codes

Jeglicher von uns verfasster Source-Code wurde dokumentiert. Die grobe Beschreibung der Methoden und die Beschreibung der Parameter ist beim plattformunabhängigen Code dem Header-File bzw der Doxygen-Dokumentation zu entnehmen. Der Rest wurde jeweils direkt innerhalb der c bzw cpp Datei mithilfe von Kommentaren dokumentiert.

Der Source-Code von Dritten wurde nicht kommentiert. Jedoch ist die in einem späteren Kapitel der vorliegenden Dokumentation erklärt woher der Drittanbieter-Code stammt und allfällige Modifikationen sind erläutert.

### Datenblätter und Referenzcode

Besonders bei der Arbeit mit der Ziel-Plattform (STM32F4Discovery) waren einige Internetrecherchen nötig. Die Datenblätter der verwendeten Controller sind im doc Ordner abgelegt. Ebenso sind Pinouts und Verdrathungspläne im diesem Ordner abgelegt.

Als Grundlage für die Entwicklung der Tft und GUI Module sowie des PID-Reglers wurde Code aus früheren Projekte verwendet und anschliessend komplett überarbeitet. Der ursprüngliche Code ist als Archiv im doc Ordner vorhanden.

### 3.3 Kompilierung des Projekts

Grundsätzlich sollte es möglich sein sowohl den Emulator, wie auch die Software für das STM32F4Discovery sowohl auf Linux wie auch auf Windows zu kompilieren.

Je nach Betriebssystem sind andere Voraussetzungen nötig:

Ziel-Plattform	Voraussetzungen zur Kompilierung auf Linux	Voraussetzungen zur Kompilierung auf Windows
emulator	<ul style="list-style-type: none"><li>• qt5<ul style="list-style-type: none"><li>◦ core</li><li>◦ gui</li><li>◦ widgets</li><li>◦ qmake</li></ul></li><li>• boost</li><li>• make</li><li>• g++ (x86-64)</li><li>• gdb (x86-64)</li></ul>	Gleich wie bei Linux und zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"><li>• msys / mingw</li></ul> Siehe readme im emulator ordner
discovery	<ul style="list-style-type: none"><li>• make</li><li>• gcc (arm-none-eabi)</li><li>• gdb (arm-none-eabi)</li><li>• st-link</li></ul>	Nicht getestet. <ul style="list-style-type: none"><li>• Vermutlich sollte Atollic Studio inkl ST-Link Treiber genügen.</li></ul>

Der Code muss für jede Ziel-Plattform separat kompiliert werden. Verwendet werden in beiden Fällen einfache Makefiles. Auf der Kommandozeile gelten folgende Befehle:

In den Ordnern “emulator” und “discovery”	
<i>make</i> oder <i>make all</i>	Kompiliert den gesamten Source-Code für die jeweilige Plattform
<i>make clean</i>	Räumt alle erzeugten Objekt- und Binary-Files weg
<i>make debug</i>	Gleich wie <i>make all</i> . Falls nötig wird zudem die Zielhardware geflashd. Anschliessend wird gdb gestartet um den Code auf der jeweiligen Plattform zu debuggen.
Nur im Ordner “emulator”	
<i>make run</i>	Gleich wie <i>make all</i> . Anschliessend wird der Emulator gestartet
Nur im Ordner “discovery”	
<i>make flash</i>	Gleich wie <i>make all</i> . Anschliessend wird die Software via ST-Link auf die Zielhardware geflashd.
<i>make start</i>	Startet den ST-Link Server. Passiert normalerweise automatisch bei <i>make all</i>
<i>make stop</i>	Beendet den ST-Link Server.



<i>make backup</i>	Macht ein Backup der aktuellen geflashten Firmware und speichert das Backup als .bin Datei.
--------------------	---

Der Emulator Ordner kann zudem mit Eclipse geöffnet werden oder der Qt unterordner mit Qt-Creator. Für die Arbeit mit dem Discovery empfehlen wir das Arbeiten auf der Konsole.

## 3.4 Ausführen und Bedienen des Projekts

### 3.4.1 Allgemeine Hinweise zur Ausführung

Die Benutzeroberfläche sieht auf der Zielhardware (STM32F4Discovery) und im Emulator gleich aus und sollte weitgehend selbsterklärend sein. Um alle Funktionalitäten nutzen zu können, ist eine Pixy-Kamera (<http://www.cmucam.org/projects/cmucam5>) erforderlich.

Besonders zu beachten ist, dass die Servos korrekt angeschlossen werden. Schritt 15 in der Online-Anleitung zum Bestücken der Servos ([http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Assembling\\_pantilt\\_Mechanism](http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Assembling_pantilt_Mechanism)) erläutert den Vorgang exakt.

Im folgenden werden die Unterschiede und Besonderheiten zur Ausführung auf der jeweiligen Zielplattform erläutert.

### 3.4.2 Ausführung des Emulators

Voraussetzungen zur Ausführung auf Linux	Voraussetzungen zur Ausführung auf Windows
<ul style="list-style-type: none"> <li>qt5 <ul style="list-style-type: none"> <li>core</li> <li>gui</li> <li>widgets</li> </ul> </li> <li>libusb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installierte Treiber für Pixy. Intstallation erfolgt durch Pixymon Installer: <a href="http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Installing_PixyMon_on_Windows_Vista_7_or_8">http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Installing_PixyMon_on_Windows_Vista_7_or_8</a></li> <li>Falls sie ein gepacktes Release erhalten haben sind alle Abhängigkeiten enthalten. Gepackte Releases finden sich auf: <a href="https://github.com/t-moe/discoverpixy/releases">https://github.com/t-moe/discoverpixy/releases</a></li> <li>Sofern sie den Source-Code selbst kompiliert haben benötigen sie zur Ausführung die gleichen Voraussetzungen wie bei Linux.</li> </ul>

Die Pixy-Kamera kann direkt an den PC angeschlossen werden (am besten via USB 2.0). Eine Speisung mit einem externen Netzteil ist im normalfall **nicht** nötig.

### 3.4.3 Ausführung auf der Ziel-Plattform STM32F4Discovery

Sollten sie bereits ein STM32F4Discovery mit Display und mit geflashter Software erhalten haben, brauchen sie zur Ausführung nur eine Pixy-Kamera und ein Labornetzteil. Ansonsten muss die Software zuerst auf Linux gebaut und geflasht werden (siehe oben).

Die Servos benötigen ca einen Stromstärke von 1 Ampere. Das STM32F4Discovery ist auf dem USB-Ausgang auf 500mA begrenzt. Deshalb **muss** die Pixy-Kamera vor dem Anschliessen des USB-Kabels mit dem Labornetzteil über den Power-Connector mit Strom versorgt werden. Eine Anleitung dazu findet sich auf der Wiki Seite von Pixy:

[http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Powering\\_Pixy#Power-connector](http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Powering_Pixy#Power-connector)

Sofern die Servos nicht angeschlossen sind, kann die Pixy-Kamera direkt ans Discovery angeschlossen werden.

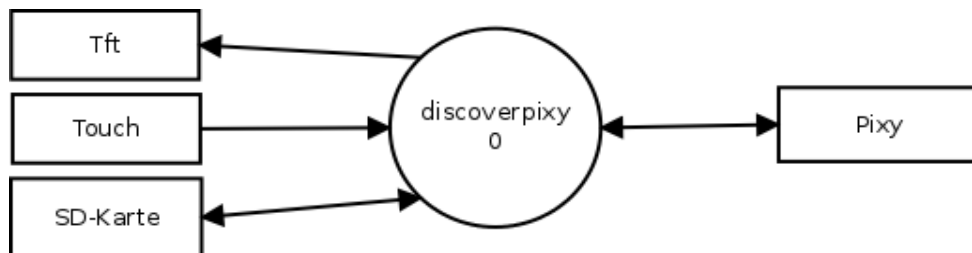
**Achtung:** Wenn sie das Discovery-Board via USB speisen während die Pixy-Kamera über USB-OTG angeschlossen ist und vom Netzteil versorgt wird, sind die die Massen von Netzteil und die Masse vom Mainboards ihres Computers miteinander vernetzt. Ist dies nicht erwünscht muss ein galvanisch getrenntes Netzteil oder ein Trenntrafo verwendet werden.

Sobald die Pixy-Kamera an dem Netzteil angeschlossen ist, kann das STM32F4Discovery auch gespeisen werden. Anschliessend sollte die Applikation mit dem Hauptbildschirm starten. Die Pixy-Kamera kann zur Laufzeit via USB-OTG ans Discovery angeschlossen werden oder davon getrennt werden.

## 4 Analyse

### 4.1 Highlevel

Unser System besteht aus einem Prozess, dessen Name identisch mit dem Projektnamen ist: “discoverpixy”. Im folgenden nennen wir diesen Prozess aber “Applikation”. Die Applikation kommuniziert mit verschiedenen externen Komponenten. Das Display (Tft) wird als Ausgabegerät und zur Anzeige von Informationen an den Benutzer benötigt. Der Benutzer bedient die Applikation in dem er seine Eingaben an dem Touch-Controller tätigt. Die Applikation kommuniziert je nach gewähltem Modus auch mit der Pixy-Kamera und der SD-Karte, jeweils in beide Richtungen.



*Illustration 1: Kontextdiagramm*

Das folgende Anwendungsfalldiagramm zeigt wie der Benutzer mit der Applikation interagiert:

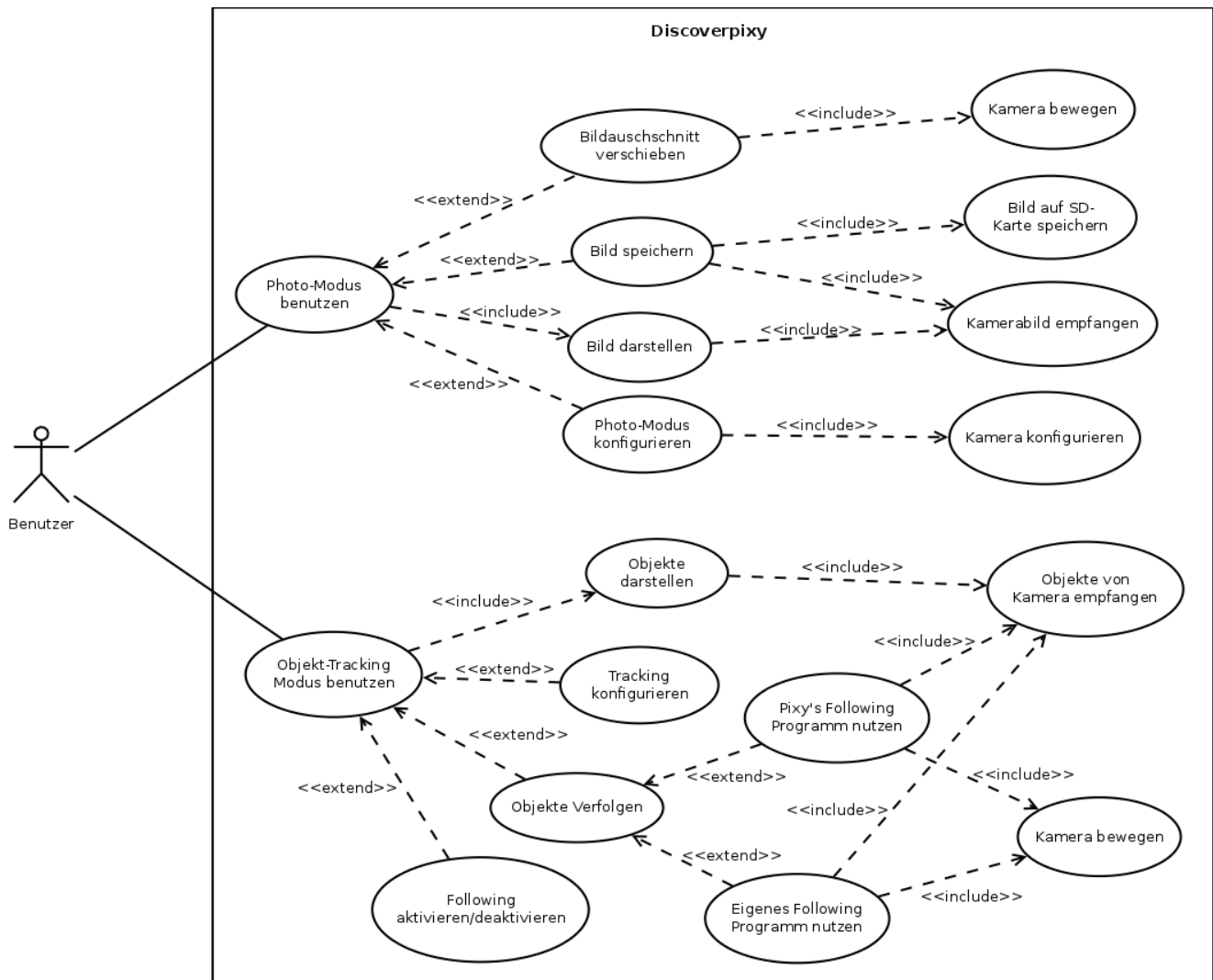


Illustration 2: Anwendungsfalldiagramm

Der Benutzer kann entweder den “Objekt-Tracking Modus” oder den “Photo-Modus” benutzen.

Wenn der Benutzer den Photo-Modus nutzt, so sieht er das aktuelle Kamerabild. Er kann den Bildausschnitt verschieben und/oder das Bild auf die SD-Karte speichern. Falls nötig, kann er auch Einstellungen vornehmen.

Wenn der Benutzer den Objekt-Tracking Modus nutzt, so sieht er die aktuell erkannten Objekte. Wenn er möchte kann er das automatische Verfolgen von Objekten einschalten oder ausschalten. Ist das automatische Verfolgen eingeschaltet, so verfolgt die Kamera die Objekte mithilfe der Servos. Weiter kann der Benutzer das Tracking konfigurieren, um z.B. auszuwählen welche Objekte verfolgt werden sollen.

## 4.2 Aufbau der Benutzeroberfläche/Bedienung

Die Anwendung soll aus mehreren “Bildschirmen” (engl. Screens) aufgebaut sein.

Gestartet wird auf dem Hauptbildschirm, von wo aus man mit Buttons zu den entsprechenden Unterbildschirmen kommt. Zurück zum Hauptbildschirm kommt man jeweils mit dem “Back” Button.

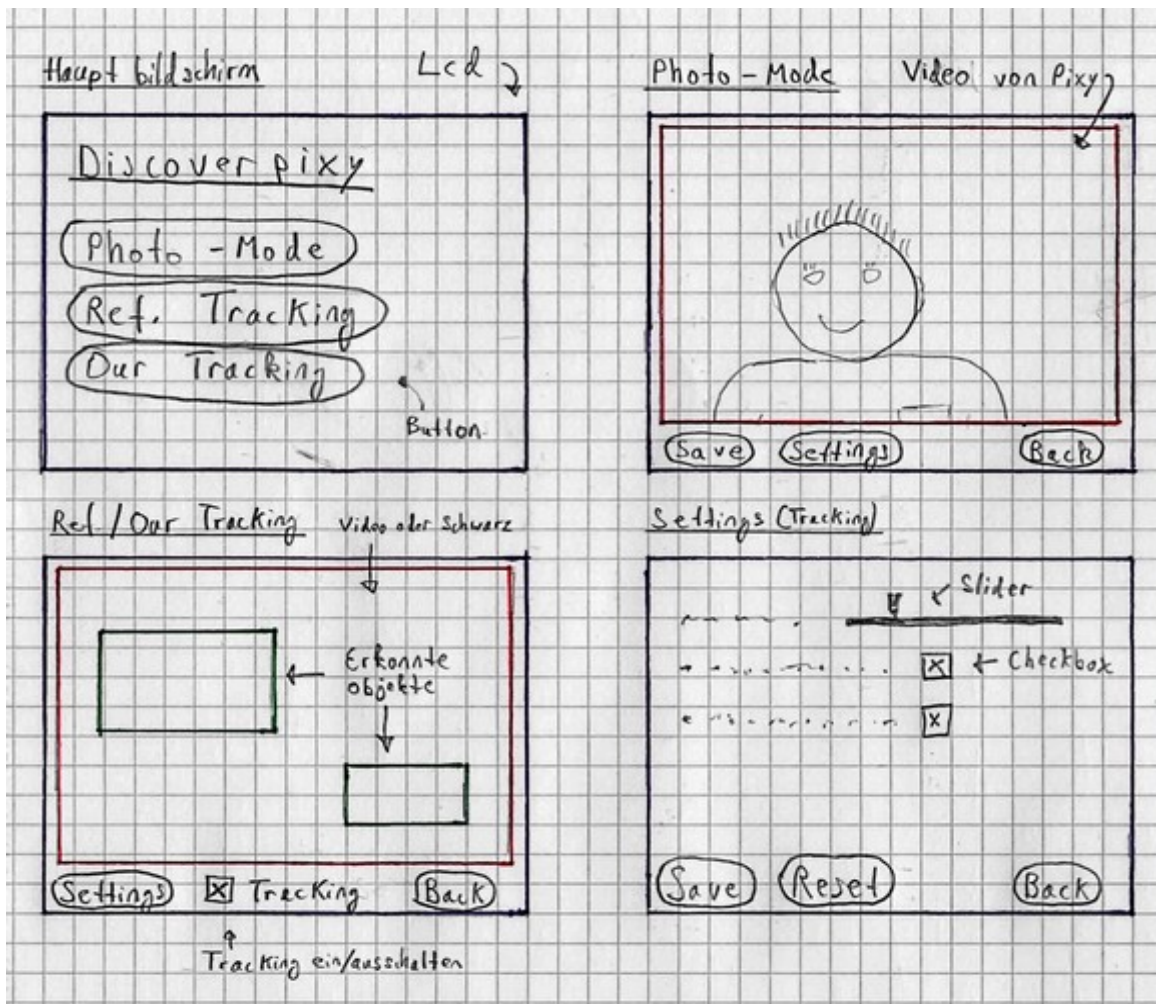


Illustration 3: Prototypen verschiedener “Screens”

### Photo-Mode Bildschirm:

Der Benutzer sieht im Zentrum das aktuelle Bild von der Pixy-Kamera. Der Bildausschnitt kann verschoben werden in dem das Bild “gepackt und gezogen” (engl. Click&Drag) wird. Mithilfe des “Save” Buttons kann ein Snapshot auf die SD-Karte gespeichert werden. Sollten für die “Photo-Mode” Funktionalität eigene Einstellungen von nöten sein, so können diese über den Settings Button erreicht werden.

### Ref. Tracking / Our Tracking Bildschirm:

Die Pixy Kamera hat bereits ein Programm zum automatischen Tracking von Objekten. Dieses kann über den “Ref. Tracking” (Ref für Reference) im Hauptbildschirm erreicht werden. Wird im

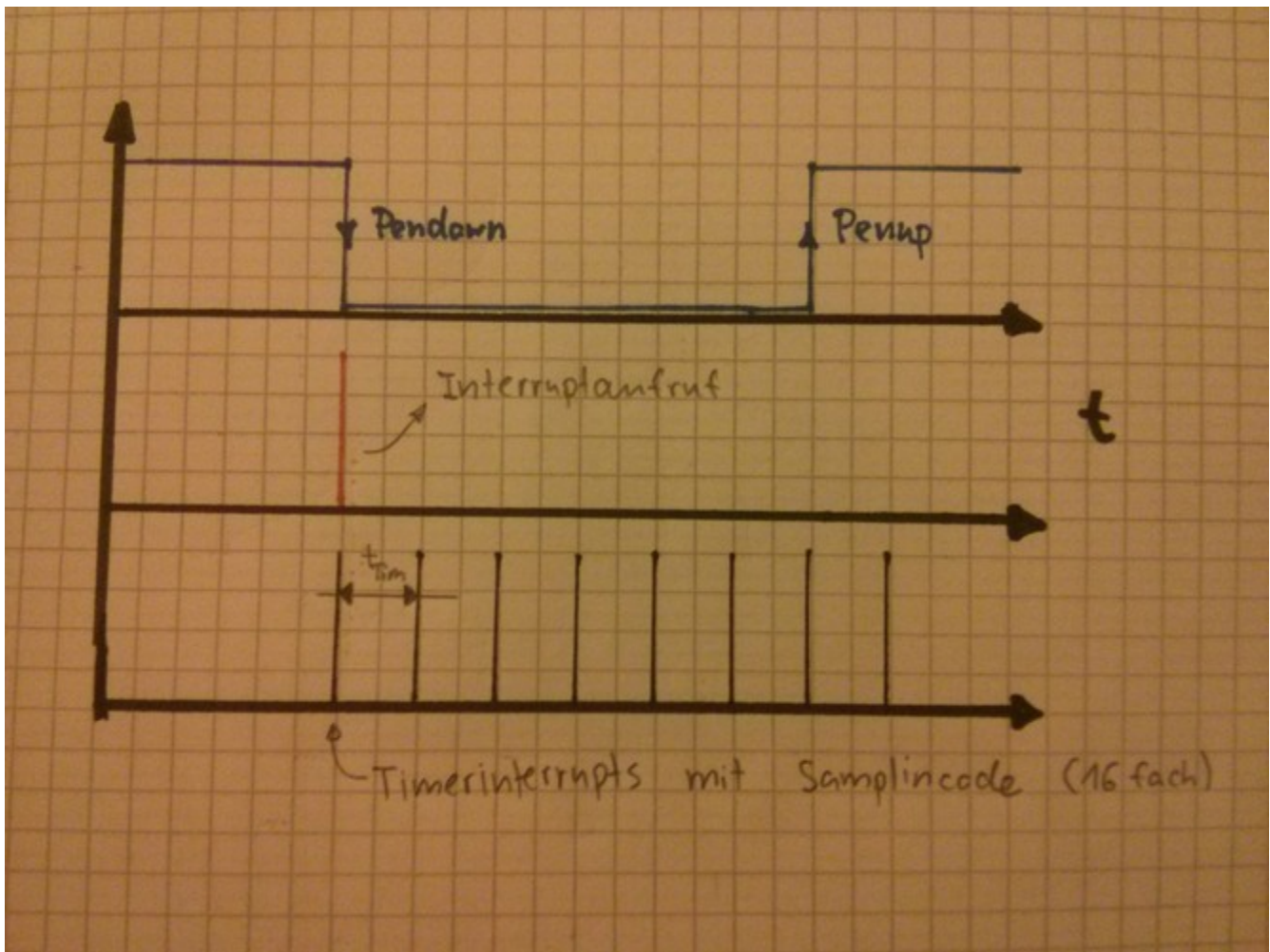
Hauptbildschirm “Our Tracking” ausgewählt, soll unsere eigene Implementierung für das Verfolgen der Objekte verwendet werden. Die Bildschirme der beiden Modi sind identisch:

In der Mitte ist wieder das Bild der Pixy-Kamera sichtbar. Sollte es aus Performancegründen nicht möglich sein das Video anzuzeigen, ist der Hintergrund eingefärbt. Auf dem Hintergrund werden die Rechtecke der erkannten Objekte angezeigt. Wenn die Checkbox “Tracking” (bzw. “Following”) aktiviert ist, wird automatisch das grösste Objekt verfolgt. Ansonsten bleibt die Kamera fixiert und optional kann der Bildausschnitt wie beim “Photo-Mode” verschoben werden. Jegliche Konfiguration folgt über den “Settings”-Bildschirm.

### **Settings (Tracking):**

Zum Einstellen der Objekt-Erkennung und des Objekt-Trackings soll es auf den “Settings”-Bildschirm verschiedene Optionen geben. Die Optionen haben jeweils eine Beschriftung und entweder eine Checkbox oder einen Slider um den Wert zu verändern. Der Button “Save” speichert die Einstellungen, “Reset” verwirft sie. Mögliche Einstellungen: Parameter für den Regelkreis (PID-Regler?), Grenzen für die Servos, Empfindlichkeit der Objekt-Erkennung, usw.

### 4.3 Kommunikation mit dem Touchcontroller



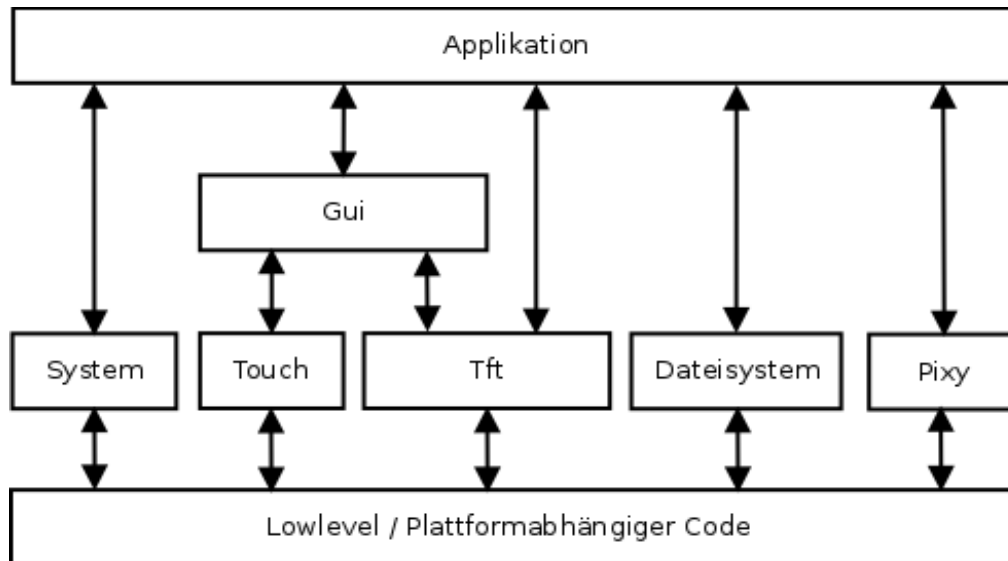
Die Kommunikation mit dem Touchcontroller soll in mehreren, atomaren Funktionen möglich sein. Es soll eine Funktion geben, welche den Touchcontroller dazu veranlasst die X-Koordinate zu liefern und eine Funktion welche als Rückgabewert die Y-Koordinate ausgibt.

Aus Erfahrung wissen wir, dass Touchcontroller von Resistiven Displays immer eine gewisse ungenauigkeit aufweisen. Daher ist geplant, einen Timer so zu konfigurieren dass er periodisch einen Interrupt generiert in welchem die gelieferten Koordinaten gesampled und gemittelt werden.

Der Touchcontroller bietet die Möglichkeit auf einem Pin den aktuellen Zustand (Gedrückt / Nicht gedrückt) auszulesen. Die Idee ist nun auf diesen Pin einen Interrupt zu konfigurieren, welcher möglichst Schnell auf ein Druck auf das Display reagiert.

## 5 Grobdesign

Die Software soll in Module unterteilt werden. Das folgende Diagramm zeigt die vorhandenen Module und deren Abhängigkeiten. Findet eine Kommunikation zwischen 2 Modulen statt so wird dies durch einen Pfeil dargestellt.



*Illustration 4: Übersicht über die Module und deren Abhängigkeiten*

Alle Module sollen aus Plattformunabhängigem Code bestehen. Die Module greifen wenn nötig auf Plattformspezifischen Code zu. Dieser wird aber abstrahiert und muss dann für jedes Zielsystem separat implementiert werden. Details zu der Implementierung folgen in einem späteren Kapitel. Im folgenden soll jedes Modul kurz beschrieben werden

### 5.1 Applikation

Ordername:	app
Beschreibung:	Das Applikations Modul beinhaltet den effektiven Code zur Steuerung aller Geräte und Interaktion mit dem Benutzer.
Benötigte Module:	System, Gui, Tft, Dateisystem, Pixy
Benötigt von:	Keinem Modul, aber dem Gesamtsystem.

### 5.2 System

Ordername:	system
Beschreibung:	Das System Modul kontrolliert die darunterliegende Hardware und bietet Sleep-Funktionen an



Benötigte Module:	keine
Benötigt von:	Applikation

### 5.3 Tft

Ordername:	tft
Beschreibung:	Das Tft Modul ermöglicht das Zeichnen von Formen und Texten auf ein Display.
Benötigte Module:	keine
Benötigt von:	Gui, Applikation

### 5.4 Touch

Ordername:	touch
Beschreibung:	Das Touch Modul empfängt Benutzereingaben und löst Benachrichtigungen im Falle einer Interaktion aus.
Benötigte Module:	keine
Benötigt von:	Gui

### 5.5 Dateisystem

Ordername:	filesystem
Beschreibung:	Das Dateisystem Modul bietet Funktionen zum lesen und schreiben auf einen Datenträger (z.B. SD-Karte)
Benötigte Module:	keine
Benötigt von:	Applikation

### 5.6 Gui

Ordername:	gui
Beschreibung:	Das GUI Modul bietet Funktionen zum erstellen von und interagieren mit, Gui-Elementen (z.B. Buttons).
Benötigte Module:	Tft, Touch
Benötigt von:	Applikation

## 5.7 Pixy

Ordername:	pixy
Beschreibung:	Das Pixy Modul bietet Funktionen zur Interaktion mit der Pixy Kamera an.
Benötigte Module:	keine
Benötigt von:	Applikation

## 6 Spezielle, erwähnenswerte, verwendete Techniken

### 6.1 Verkettete Listen

Verkettete Listen sind ein bekanntes Konzept in der Softwareentwicklung. Der Code zum bearbeiten und durchsuchen der Liste erfordert meistens die dynamische Allokation von Speicher und ist sehr repetitiv. Leider ist in der Standardlibrary von C99 keine Listenimplementierung vorhanden.

In unserem Projekt finden verkettete Listen an diversen Stellen Verwendung. Oftmals werden jedoch nur gewisse Element-Operationen benötigt und nicht alle (z.B. nur anfügen/löschen am Ende der Liste und linear durchlaufen). Dadurch ist der Code jeweils überschaubar und es ist nicht nötig eine generische Listenimplementierung zu verwenden.

Wichtig zu bemerken ist an dieser Stelle, dass verkettete Listen auch ohne dynamische Speicheralkotation funktionieren können. Dazu wird das einzufügende Element vom Benutzer der Library als globale Variable definiert und anschließend wird die Adresse davon an die Library übergeben um das Element der Liste anzuhängen. Ein Beispiel dazu bilden die *Screen* Strukturen unserer Applikation, welche jeweils ein Listenelement einer verketteten Liste darstellen.

### 6.2 Objektorientiertes programmieren in C

Obwohl C eigentlich keine Objektorientierte Sprache ist, ist es möglich ansatzweise Objektorientiert zu programmieren. Funktionen können zwar nicht als Member einer Struktur definiert werden, aber sie können entsprechend benannt werden und mit einem weiteren Parameter "this" versehen werden.

Nehmen wir als Beispiel folgende C++ Methode:

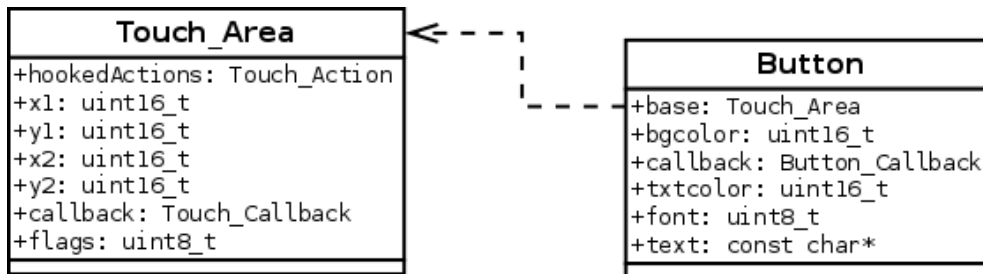
```
void Auto::fahre(int x, int y) { ... }
```

In C kann die Klassenmethode wie folgt realisiert werden:

```
void auto_fahre(struct Auto* this, int x, int y) { ... }
```

Anstatt die Methode *fahre* auf dem Objekt aufzurufen ( *meinauto.fahre(1,3)* ) wird die freie Methode *auto\_fahre* aufgerufen mit dem Objekt als ersten Parameter ( *auto\_fahre(meinauto,1,3)* ).

Auch das Vererben von Feldern ist möglich. Nehmen wir als Beispiel 2 Strukturen aus dem GUI Modul des Projekts. Die Struktur *Button* soll alle Member der Struktur *Touch\_Area* besitzen und noch um einige Member erweitert werden (*Button* erbt von *Touch\_Area*). Um dies zu realisieren wird in der *Button* Struktur zu oberst ein Feld eingefügt *base* vom Typ *Touch\_Area*.



Hat man ein Element vom Typ *Button* vorliegen und will auf Member von *Touch\_Area* zugreifen muss zusätzlich noch *base.* vor den Membernamen geschrieben werden. z.B. *button1.base.x1 = 100*. Pointer vom Typ *Touch\_Area* können zudem in einen Pointer vom Typ *Button* gecasted werden und umgekehrt, da *base* einen Strukturoffset von 0 hat.

Etwas schwieriger gestaltet sich das überschreiben von Methoden der Basisklasse (im Beispiel *Touch\_Area*). Der C++ Compiler nutzt dazu sogenannte vtables. Darauf soll aber nicht näher eingegangen werden, da wir diese Funktionalität nicht benötigen.

## 7 Implementierung der Module

Im folgenden soll die Implementation der plattformunabhängigen Module beschrieben werden. Details zu den Implementierungen der Low-Level Funktionen finden sich in den späteren Kapitel.

### 7.1 Applikation

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Doxygen-Dokumentation:</b>	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__app.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__app.html</a>
<b>Quellen:</b>	Code zum dekodieren eines Bayer-Frames von Pixy (charmed labs): <a href="https://github.com/charmedlabs/pixy/tree/5561258623492034a19a47c420f255679f2522ae/src/common">https://github.com/charmedlabs/pixy/tree/5561258623492034a19a47c420f255679f2522ae/src/common</a>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: common/app (100% Eigenentwicklung) Ausnahme: common/pixy_frame.c (90% Eigenentwicklung)
<b>Durchgeführte Tests:</b>	PID Regelungs Test (Kapitel 10.5)
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Das Applikationsmodul besteht aus mehreren Teilen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Applikations Initialisierungs- und Update-Methoden</li><li>• Die einzelnen Bildschirme<ul style="list-style-type: none"><li>◦ Hauptbildschirm</li><li>◦ Tracking</li><li>◦ File, Gui/Tft und Pixy Test</li><li>◦ Photo-Mode</li></ul></li><li>• Hilfsfunktionen zum Steuern von Pixy</li><li>• Hilfsfunktionen zur PID Regelung</li></ul> <p><b>Applikations Initialisierungs- und Update-Methoden</b></p> <p>Dateien: <i>app.c</i> und <i>app.h</i></p> <p>Hier gibt es nur 2 Funktionen <i>app_init()</i> und <i>app_process()</i>.</p> <p><i>app_init</i> sollte zu Beginn der Main-Methode in der jeweiligen Ziel-Plattform aufgerufen werden. <i>app_init</i> sorgt dafür das alle anderen Module initialisiert werden in dem es die <i>init</i> Funktion jedes Moduls aufruft.</p> <p><i>app_process</i> sollte innerhalb einer Endlosschleife im main der jeweiligen Ziel-Plattform aufgerufen werden. <i>app_process</i> zeichnet den aktuellen Bildschirm neu und ruft <i>system_process</i> auf, damit die Ziel-Plattform ihre Events abarbeiten kann.</p>	

## Hauptbildschirm

Dateien: *screen\_main.c* und *screen\_main.h*

Der Hauptbildschirm und alle anderen Bildschirme basieren auf der “Screen-Idee” welche im Kapitel 7.6 beschrieben wird.

Beim Betreten des Screens (in der *enter* Methode) wird das komplette GUI erstellt. Dass heisst es werden Buttons erzeugt und registriert, welche zu den Unterbildschirmen führen. Zusätzlich werden 2 Logos vom Filesystem gezeichnet. Die *update* Methode des Screens ist leer, da der ganze Screen statisch ist. Beim verlassen (in der *leave* Methode) werden die erzeugten Buttons wieder unregistriert.

Wird auf ein Button geklickt, so wird mithilfe der *gui\_screen\_navigate* Methode markiert dass jetzt zu einem Unterbildschirm gewechselt werden soll. Sobald die Applikation das nächste mal den Hauptloop betritt, wird dann der Bildschirm gewechselt, indem zuerst auf dem Hauptbildschirm *leave* aufgerufen wird und anschliessend auf dem neuen Bildschirm *enter* aufgerufen wird.

## Tracking Bildschirm

Dateien: *screen\_tracking.c* und *screen\_tracking.h*

Für unsere eigene Tracking Implementierung und für das Referenztracking wird die selbe Screen Instanz verwendet. Bevor der Hauptbildschirm zu einem der Tracking Bildschirme wechselt ruft er *tracking\_set\_mode* auf um auszuwählen welche Tracking Implementierung verwendet werden soll. Die beiden Tracking implementieren jeweils eine *start*, *update* und *stop* Methode, welche dann an verschiedenen Stellen aufgerufen wird. In der *update* Method des Tracking-Screens selbst, befindet sich eine State-Machine. Die State-Machine wird zum Teil durch Button-Events gesteuert. Der Code wurde ausführlich kommentiert und die nötige Dokumentation ist diesem zu entnehmen.

Das Referenztracking wird mit der *tracking\_reference\_start* Methode gestartet. Dabei wird einfach Pixy's interne “Pan Tilt” Demo aufgerufen. In der *tracking\_reference\_stop* Methode wird das Programm wieder gestoppt.

Die *tracking\_our\_start* Methode startet auf der Pixy-Kamera das Objekt-Erkennungs Programm. Dadurch werden die Objekte nur gemeldet, aber nicht automatisch verfolgt. Zusätzlich werden die statischen, globalen Variablen für die Servoposition auf den Wert 500 gesetzt und anschliessend an die Kamera gesendet. Die Kamera nimmt anschliessend eine mittige Position ein.

Die *tracking\_our\_update* Methode berechnet unter Zuhilfenahme unseres PID-Reglers jeweils einen Schritt der PID Regelung. Falls Blöcke übergeben wurden, werden die Koordinaten des Blocks Null (grösster Block) in temporäre Variablen geschrieben. In der PID-Regelung ist jeweils für die X- und die Y-Koordinate ein separater Regelkreis implementiert. Dem PID-Regler wird als Sollwert der Mittelpunkt des Displays und als Istwert die eben eingelesene Blockposition übergeben. Der Rückgabewert wird zur aktuellen Servoposition aufaddiert. Anschliessen wird überprüft ob die Variable noch innerhalb eines vernünftigen Bereiches liegt, ist dies nicht der Fall wird sie zurückgesetzt. Schlussendlich können die berechneten Servowerte mittels *pixy\_set\_rcs\_position*

Methode an die Servomotoren übergeben werden.

### **File-Test Bildschirm**

Dateien: *screen\_filetest.c* und *screen\_filetest.h*

Der File-Test Bildschirm ist ziemlich einfach aufgebaut. In der *enter* Methode wird mithilfe des Filesystem Moduls ein Verzeichnis geöffnet und anschliessend jede Datei darin ausgegeben. Anschliessend wird die Datei *test.txt* geöffnet deren Inhalt ausgegeben und eine Zahl darin um 1 erhöht. Zum Schluss wird noch ein Bild vom Dateisystem aufs Display gezeichnet.

### **Gui-Test Bildschirm**

Dateien: *screen\_guitest.c* und *screen\_guitest.h*

Der Gui-Test Bildschirm ist ebenfalls sehr einfach aufgebaut. In der *enter* Methode werden mithilfe des Tft Moduls Pixel, Rechtecke, Linien, Kreise und Texte gezeichnet. Zusätzlich wird mithilfe des GUI Moduls ein Button, eine Checkbox und ein NumericUpDown angelegt. Werden diese betätigt wird in der Konsole des Emulators jeweils eine Meldung ausgegeben. In der *leave* Methode werden diese Elemente wieder entfernt.

### **Pixytest**

Dateien: *screen\_pixytest.c* und *screen\_pixytest.h*

Der Pixy-Test Bildschirm unterscheidet sich ein wenig von den anderen Bildschirmen. In der *update* Methode des Bildschirms befindet sich eine State-Machine. Grund dafür ist, dass die Pixy nicht von Interrupts aus gesteuert werden sollte, sondern nur vom Hauptloop aus. In der *enter* Methode werden einige Buttons und ein NumericUpDown erzeugt. In der *leave* Methode werden diese wieder entfernt. Die Button-Callbacks ändern jeweils den State der State-Machine wenn etwas an die Pixy gesendet werden muss. Die State Machine sendet dann z.B. die neue Farbe oder die neue Servoposition an die Pixy-Kamera und geht wieder in den Idle State zurück.

### **Photomode Bildschirme**

Dateien: *screen\_photomode.c*, *screen\_photomode.h*, *screen\_photomode\_save.c* und *screen\_photomod\_save.h*

Der Photomode besteht aus mehreren Bildschirmen: Einem Bildschirm zur Anzeige und zum verschieben des aktuellen Bildausschnitts und ein Bildschirm zum auswählen des Speicherorts. In der *enter* Methode des Photomode Bildschirms werden 2 Buttons erzeugt, welche in der *leave* Methode wieder entfernt werden. Zusätzlich wird mithilfe des Touch Moduls eine *TouchArea* angelegt. Dadurch werden events ausgelöst wenn der Benutzer versucht das Bild zu verschieben (klick+ziehen). In der *update* Methode wird jeweils ein Frame angefragt und gezeichnet. Falls nötig wird auch die Servoposition verändert. Wenn der Benutzer auf den "Save"-Button klickt, wird der Screen gewechselt. Der Photomode-Save Bildschirm ist wiederum als State-Machine implementiert. Dem Benutzer wird zu beginn eine Liste angezeigt mit den verfügbaren Dateien. Dabei muss er sich für

eine der Dateien entscheiden, welche er überschreiben will. Auf Grund des Filesystem Moduls können leider keine neuen Dateien angelegt werden. Sobald der Benutzer eine Datei ausgewählt hat, wird dann erneut ein Frame von der Pixy empfangen und dann im Windows Bitmap Format (.bmp) im Dateisystem abgelegt.

### Hilfsfunktionen zum Steuern von Pixy

Dateien: *pixy\_frame.c* und *pixy\_frame.h*

Um Framedaten von der Kamera zu empfangen sind einige Rechenoperationen notwendig. Die Framedaten werden von der Kamera im Bayer-Format (siehe <http://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>) gesendet. Diese müssen anschliessend Interpoliert werden. Der Code zur Interpolation wurde aus dem Source-Code von Pixymon übernommen. Dieser wurde erweitert so dass das Frame direkt auf das Display gezeichnet werden kann.

Zusätzlich wurde eine Methode hinzugefügt mit welcher ein rechteckiger Bereich zur Farbauswahl fürs Objekt-Tracking gewählt werden kann. Die Methode ruft intern eine RPC Funktion von Pixy auf, welche die Farberkennung und Einstellung übernimmt.

### Hilfsfunktionen zur PID-Regelung

Dateien: *pixy\_control.c* und *pixy\_control.h*

Wie bereits beschrieben, ist die PID Regelung in zwei einzelne Regelkreise aufgegliedert. Dieses Design ist entstanden, da wir für die Summen des Integralteils statische Variablen verwenden. Damit es nicht zu unerwünschten Beeinflussungen kommt, haben wir die Regelkreise getrennt.

Der Regler selber wurde nach vorhandener Literatur implementiert. Die Quintessenz ist die Reglergleichung. Erst wird die Regelabweichung bestimmt, indem der Ist- vom Sollwert abgezogen wird. Diese Regelabweichung wird anschliessend zur Integralsumme hinzuaddiert. Es folgt die Berechnung des P-Teils, in welchem die Regelabweichung mit dem konstanten Faktor *REG\_PID\_KP* multipliziert und zur Stellgrösse addiert wird.

Anschliessend wird im Integralteil die laufende Integralsumme mit dem konstanten *REG\_PID\_KI* Faktor gewichtet und mit dem Zeitschritt *REG\_PID\_TA* multipliziert. Das Resultat wird ebenfalls zur Stellgrösse addiert.

Im Differenzanteil wird die Differenz der aktuellen Regelabweichung zur vorherigen Regelabweichung durch den Zeitschritt *REG\_PID\_TA* dividiert und mit dem konstanten Faktor *REG\_PID\_KD* multipliziert. Anschliessend wird auch dieser Wert zur Stellgrösse addiert.

Der so berechnete Wert muss sowohl vorzeichenlos, als auch ganzzahlig sein, daher wird er vor der Rückgabe nach *int16\_t* gecasted.

Die für uns am Besten funktionierenden Reglerwerte wurden mit einem vereinfachten Ziegler/Nichols Verfahren bestimmt. Dabei wird erst nur der P-Teil eingestellt und solange erhöht bis der Regelkreis in Dauerschwingung gerät. Aus der Periode der Schwingung lassen sich anschliessend die Werte für KI,



KD und TA berechnen. Diesen Schritt haben wir jedoch durch empirisches Ausprobieren vereinfacht.

Unser Regelkreis ist im Vergleich zum Referenztracking der Pixykamera ein wenig schneller, weist jedoch leichte Überschwinger auf wenn sich grosse Regelabweichungen ergeben. Dies könnte mit erneuter Überarbeitung der Reglergrößen sicherlich noch weiter verbessert werden.

**Ist eine schnelle Regelung gewünscht**, empfiehlt es sich die Videodaten im Trackingscreen auszublenden. Die Regelung wird schneller, da das Rendern des Frames zwischen jedem Regelschritt entfällt.

**Mögliche Verbesserungen:**

- Die Reglerkonstanten könnten mittels genauer Aufnahme besser bestimmt werden. Somit könnten grosse Überschwinger verhindert werden und die Regelung würde flüssiger laufen.

## 7.2 System

Status:	Stabil und abgeschlossen
Doxygen-Dokumentation:	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__system.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__system.html</a>
Quellen:	Keine
Zugehörige Quell- und Headerdateien:	Ordner: common/system (100% Eigenentwicklung)
Durchgeführte Tests:	Keine Einzeltests
<b>Beschreibung:</b>	
Dieses Modul enthält keinerlei Logik. Jede einzelne Funktion wird direkt an einen Low-Level Funktion mit exakt gleicher Signatur weitergeleitet. Grund: Eine Funktion wie sleep (Funktion die eine bestimmte Zeit wartet) kann nicht generisch implementiert werden, denn die Implementierung ist plattformabhängig.	
Offene Punkte:	Keine

## 7.3 Tft

Status:	Stabil und abgeschlossen
Doxygen-Dokumentation:	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__tft.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__tft.html</a>
Quellen:	Keine
Zugehörige Quell- und Headerdateien:	Ordner: common/tft (100% Eigenentwicklung)
Durchgeführte Tests:	TFT Modul Test (Kapitel 10.1 )
<b>Beschreibung:</b>	

90% der Methoden dieses Moduls besitzen keine Logik und werden direkt an eine Low-Level Funktion mit gleicher Signatur weitergeleitet. Theoretisch könne man auch nur eine einzige Low-Level Funktion *ll\_draw\_pixel* erstellen und alle anderen Funktionen wie *draw\_line* implementieren in dem man die Low-Level Funktion mehrfach aufruft. Aus performancegründen wurde jedoch darauf verzichtet. Die Ziel-Plattform können *draw\_line* vermutlich effizienter implementieren als wir in der Lage wären dies im plattformunabhängigen Code zu tun.

Eine Ausnahme bilden die Methoden *tft\_print\_line* und *tft\_print\_formatted*. Diese dienen dazu Text auf das Display zu zeichnen. Die Ziel-Plattform muss dazu nur die Lowlevel Funktion *ll\_tft\_draw\_char* bereitstellen. Diese wird dann mehrfach aufgerufen, für jedes Zeichen des Strings einmal.

Eine weitere Ausnahme bildet die Methode *tft\_draw\_bitmap\_file\_unscaled*. Diese dient dazu ein Windows Bitmaps (.bmp) vom Dateisystem auf das Display zu zeichnen. Dateisystem Operationen erfolgen durch das plattformunabhängige Filesystem Modul. Es macht daher keinen Sinn eine Lowlevel-Funktion zu erzeugen welche das Bitmap zeichnet, da ein Grossteil der Methode sowieso identische Aufrufe zum Filesystem Modul enthalten würde.

<b>Offene Punkte:</b>	keine
-----------------------	-------

## 7.4 Touch

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Doxygen-Dokumentation:</b>	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__touch.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__touch.html</a>
<b>Quellen:</b>	Grundlegende Idee mit Touch Library aus früherem Projekt Code siehe Github oder doc-Ordner: <a href="#">idpa_software.tar.gz</a>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: common/touch (Code aus Referenzprojekt zu 100% Überarbeitet)
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Indirekter Test mit GUI Modul Test (Kapitel 10.2)
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Das Touch Modul stellt eine einfache API bereit zum Interagieren mit dem Touch-Screen bereit. Die Idee ist dass die Ziel-Plattform die Touch-Events (berühren, verschieben, loslassen) unverarbeitet weiterreicht an das Touch-Modul. Das Touch-Modul rechnet die Koordinaten dann um (entsprechend der aktuellen Kalibrierung) und gibt Events weiter an die Interessenten. Benutzer des Touch-Moduls können für eine rechteckige Region auf dem Bildschirm (sogennante <i>Touch_Area</i>) ein Callback registrieren. Zusätzlich kann spezifiziert werden bei welchen Arten von Event das Callback ausgelöst werden soll. Sobald dann die Ziel-Plattform ein Event ans Touch-Modul weiterreicht welches die gewünschte Region betrifft, wird das benutzerdefinierte Callback ausgeführt.</p> <p>Dieses Modul wird in Anwendung (app Modul) selten direkt genutzt. Es dient eher als Grundlage für die Gui Elemente (siehe Kapitel 7.6).</p>	

<b>Mögliche Verbesserungen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pointer-Array durch Verkettete Liste ersetzen (siehe Kommentar im Dateikopf)</li> </ul>
---------------------------------	--

## 7.5 Dateisystem

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Doxygen-Dokumentation:</b>	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__filesystem.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__filesystem.html</a>
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Petit FatFS <a href="http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html">http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html</a></li> </ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: common/filesystem (100% Eigenentwicklung)
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Keine Einzeltests
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Dieses Modul enthält keinerlei Logik. Jede einzelne Funktion wird direkt an eine Low-Level Funktion mit exakt gleicher Signatur weitergeleitet. In den Signaturen und den Strukturen stecken jedoch einige Überlegungen: Diese wurden so designt, dass die Implementierung auf dem STM32F4Discovery möglichst einfach ist und dass sich die Low-Level Funktionen durch Weiterleiten an Funktionen der Petit FatFs Library implementieren lassen. Petit FatFs ist eine FAT16 Implementierung für 8-bit Mikrocontroller, inkl. SD-Karten Treiber. Da die Petit FatFs einige Einschränkungen besitzt, wurde auch die High-Level-API (Code dieses Moduls) nicht enorm aufgeblasen. So können z.B. nur Dateien beschrieben werden, die bereits existieren und ihre Grösse kann nicht verändert werden. Weiter wurde darauf geachtet, dass es auch möglich ist, die Low-Level Funktionen im Emulator umzusetzen, indem z.B. Filehandles übergeben werden können, auch wenn Petit FatFs diese nicht braucht. Trotz dem, dass die Funktionen und Strukturen nach dem Vorbild der Petit FatFs Implementierung designt wurden, befindet sich in diesem Modul keinerlei Fremdcode.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

## 7.6 Gui

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Doxygen-Dokumentation:</b>	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__gui.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__gui.html</a>
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Grundlegende Idee mit GUI Library aus früherem Projekt Code siehe Github oder doc-Ordner: <a href="http://idpa_software.tar.gz">idpa_software.tar.gz</a></li></ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: common/gui (Referenzcode zu 100% Überarbeitet oder neu geschrieben)
<b>Durchgeführte Tests:</b>	GUI Modul Test (Kapitel 10.2)
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Das Gui-Modul besteht aus mehreren Komponenten:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Button</li><li>• Checkbox</li><li>• NumericUpDown</li><li>• Screen</li></ul> <p>Button, Checkbox und NumericUpDown basieren alle auf dem Touch Modul. Sie zeichnen ein grafisches Bedienelement mithilfe des TFT-Moduls welches durch Events von Touch-Modul bedient werden kann. Der Code dieser Komponenten macht sich ein paar Techniken zunutze die im Kapitel 6.2 beschrieben sind ("Vererbung in C"). Das grundlegende Konzept hinter diesen Komponenten wurde aus dem Code von einem früheren Projekt übernommen (siehe Quellenangabe oben). Der Code wurde jedoch komplett überarbeitet und ausführlich kommentiert. Jede dieser Komponenten bietet ein Callback an, bei dem der User eine aufzurufende Funktion angeben kann für den Fall dass ein Event ausgelöst wird (z.B. Button oder Checkbox angeklickt).</p> <p>Im Rahmen dieses Projekts wurde zusätzlich noch die Screen Komponente entwickelt. Die Idee dahinter kommt aus der Erkenntnis dass grundsätzlich jede Ansicht (=Screen) aus den folgenden 3 Phasen besteht:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bildschirm betreten / Initialisierung (<i>enter</i> Methode)</li><li>• Wiederholtes aktualisieren / neu zeichnen (<i>update</i> Methode)</li><li>• Aufräumen / Bildschirm verlassen (<i>leave</i> Methode)</li></ul> <p>Deshalb wurde eine Struktur erstellt mit 3 Callback-Funktionen (<i>enter</i>, <i>update</i>, <i>leave</i>), welche die Funktionalität eines einzelnen Screens kapseln sollen. Zwischen den Bildschirmen kann dann mithilfe von Methoden des Screen Moduls navigiert werden. So gibt es z.B. eine Methode zum wechseln auf einen anderen Screen und eine Methode zum navigieren zum vorherigen Screen. Das Screen Modul stellt sicher dass ein Wechsel des Bildschirms immer aus dem Hauptloop (<i>app_process()</i>) ausgeführt wird, selbst wenn der Auftrag zu wechseln in einem Interrupt erteilt wurde. Die Chronik der</p>	

betretenen Screens wird in einer verketteten Liste abgelegt. Die Liste stellt einen Stack dar, neue Screens werden oben auf den Stack gelegt. Beim zurücknavigieren wird der oberste Screen wieder entfernt und der zweitoberste wird angezeigt. Da ein Screen zu keinem Screen navigieren darf der bereits auf dem Stack liegt, kann die Screen Struktur gerade als Listenelement verwendet werden. Siehe Bemerkung im Kapitel 6.1 .

Das Wechseln des Screens läuft wie folgt ab:

- Die Methode *gui\_screen\_navigate* wird aufgerufen (z.B. in einem Button-Callback) um zu signalisieren dass der Screen gewechselt werden soll.
- Beim nächsten Aufruf von *gui\_screen\_update* (in dem Hauptloop) passiert anschliessend folgendes:
- Auf dem aktuellen Screen wird die *leave* Methode aufgerufen
- Der Screen wird gewechselt in dem auf dem neuen Screen die *enter* Methode aufgerufen wird
- Von nun an wird ein Aufruf von *gui\_screen\_navigate* (im Hauptloop) die *update* Methode des aktuellen Screens aufrufen, bis ein weiterer Screen-Wechsel erfolgen soll.

**Mögliche Verbesserungen:**

- Screen: Sicherstellen dass zu keinem Screen navigiert werden kann, der sich bereits in der Chronik befindet
- Button: 3D-Effekt verbessern in dem der Button um 1-Pixel verschoben wird während er gedrückt ist
- Button: Event hinzufügen der wiederholt ausgelöst wird wenn der Button längere Zeit gedrückt wird. Siehe auch nächsten Punkt:
- NumericUpDown: Zahl schneller hochzählen wenn der Button für eine längere Zeit gedrückt wird.

## 7.7 Pixy

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Doxygen-Dokumentation:</b>	<a href="http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__pixy.html">http://t-moe.github.io/discoverpixy/group__pixy.html</a>
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pixy libpixyusb (charmed labs): <a href="https://github.com/charmedlabs/pixy/tree/5561258623492034a19a47c420f255679f2522ae/src/host/libpixyusb">https://github.com/charmedlabs/pixy/tree/5561258623492034a19a47c420f255679f2522ae/src/host/libpixyusb</a></li></ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: <ul style="list-style-type: none"><li>common/pixy (kleinere Anpassungen am Original)</li><li>discovery/libs/Pixy (einige Anpassungen am Original)</li><li>emulator/libs/Pixy (einige Anpassungen am Original)</li></ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pixy Modul Test (Kapitel 10.4)</li><li>indirekter Test mit PID Regelungen Test (Kapitel 10.5)</li></ul>
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Als Grundlage für die Pixy-Kamera Ansteuerung diente die libpixyusb von den Pixy-Entwicklern. Die Library ist in C++ geschrieben und nutzt libusb um die Pixy-Kamera, welche am PC angeschlossen wird, anzusteuern. Die Ganze USB-Schicht befindet sich in einer Klasse <i>USBLink</i>. Zur USB Übertragung wird der Bulk-Modus verwendet. In der Mittelschicht befindet sich ein RPC-Framework namens <i>Chirp</i>, welches es erlaubt Funktionen entfernt anzufragen, als wären sie lokal.</p> <p>Folgende Änderungen wurden an der originalen Software gemacht:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Alle printf statements wurden durch fprintf(stderr,.....) ersetzt um Debug-Meldungen auf den Standarderror-Stream umzuleiten</li><li>Die Library wurde von Multithreaded auf Singlethreaded umgerüstet. Dazu wurde der Code-Block der normalerweise in einem eigenen Thread ausgeführt wurde in eine Methode ausgelagert <i>pixy_service()</i> welche nun vom Benutzer regelmässig aufgerufen werden muss. Betroffene Dateien: <i>pixyinterpreter.cpp</i>, <i>pixyinterpreter.hpp</i>, <i>pixy.h</i>, <i>pixy.cpp</i></li><li>Das öffentliche Headerfile <i>pixy.h</i> wurde bereinigt so dass es nichts mehr USB-Spezifisches enthält und keine unnötigen Includes.</li></ul> <p>Um dieses Modul plattformunabhängig zu machen wurde ein etwas anderer Ansatz gewählt als für die anderen Module: Die öffentlichen Headerdateien <i>pixy.h</i> und <i>pixydefs.h</i> wurden im Ordner <i>common/pixy</i> platziert. Die Implementierung ist dann aber komplett in die <i>libs</i> Ordner der entsprechenden Plattformen gelegt worden. Die entsprechenden Plattformen bauen aus dem Quellcode eine statische Library die dann beim bauen der entsprechenden Plattform dazugelinkt werden kann. Die öffentlichen Headerfiles sind komplett in C gehalten. Vom C++ Code ist also für die Applikation selbst nichts sichtbar.</p>	
<b>Mögliche Verbesserungen::</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Hinzufügen einer Methode zum Abfragen ob die Pixy-Kamera aktuell verbunden ist</li></ul>

## 8 Plattform STM32F4Discovery

Im folgenden soll die Ziel-Plattform STM32F4Discovery im Allgemeinen beschrieben werden. Zusätzlich soll die Implementierung der Low-Level Funktionen erläutert werden.

### 8.1 Aufbau und Pinbelegung

<b>Status:</b>	Instabil
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Datenblatt STM32F407xx <a href="http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf">http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf</a></li><li>• Display <a href="http://shop.boxtec.ch/tft-lcd-screen-module-microsd-ssd1289-p-41504.html">http://shop.boxtec.ch/tft-lcd-screen-module-microsd-ssd1289-p-41504.html</a></li><li>• STM32F4Discovery <a href="http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863?sc=stm32-discovery">http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863?sc=stm32-discovery</a></li></ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Keine
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Als Mikrokontrollerplattform verwenden wir das STM32F4Discovery board. Es ist mit einem STM32F4xx Kontroller ausgestattet welcher über 1 MB Flash und 192kB RAM verfügt. Zusätzlich ist das Discoveryboard mit zahlreichen Sensoren ausgestattet und alle Pins sind auf zwei grossen Headern herausgeführt.</p> <p>Zu den bereits vorhandenen Bauteilen auf dem Print zählen ein Mems-Sensor, ein Audioverstärker, zahlreiche LEDs, zwei Schalter und USB Buchsen.</p> <p>Auf Seite 61 des STM32F4xx Datenblattes ist das komplette Pinout, mit allen möglichen alternativen functions welche auf die GPIOs gelegt werden können, beschrieben. Wir haben grösstenteils diese Informationsquelle für das Design unserer Schaltung und im Speziellen des SPI Busses verwendet. Auch die Pins des FSMC sind ersichtlich, jedoch sind diese statisch verteilt was sich später noch als Problem herausstellte. Der flexible Static Memory Controller (kurz FSMC) ist ein paralleles interface welches es uns ermöglicht sehr einfach externe Memory Controller anzusprechen. Der Chip übernimmt dabei das Toggeln aller timingkritischen Leitungen wie z.B Read, Write, Registerselect, und Clock. Man verfügt über zwei ein-byte-Register, welche dann auf die entsprechenden GPIOs gemappt werden. Hat man den FSMC einmal konfiguriert, werden Daten welche in den entsprechenden Memorybereich geschrieben werden direkt an das Display gesendet. Dies erleichterte das Programmieren der Displayfunktionen enorm.</p> <p>Wir achteten speziell darauf, dass bei unserer Pinbelegung keine Kollisionen mit dem USB Kontroller entstehen. Jedoch haben wir dabei nicht überprüft ob alle Pins des FSMCs frei sind, da wir dies</p>	

eigentlich erwarteten. Nun ist es aber so, dass einige Pins doch doppelbelegt sind. Dies führt unter anderem zu unerwünschten Nebeneffekten und Störungen im Display. Für viele dieser Probleme konnten wir Workarounds implementieren, jedoch bleiben einige Probleme die wir nur durch das Anfertigen einer eigenen Platine oder durch auslöten der störenden Bauteile auf dem Discoveryboard beheben können.

### Pinbelegung

Pin/Port an STM32F4	Displaybezeichner	Pin an Display-Modul
PB0	LED-A	19
PE3	LCD_RS	4
PD5	LCD_WR	5
PD4	LCD_RD	6
PD7	LCD_CS	15
PD14	LCD_D0	21
PD15	LCD_D1	22
PD0	LCD_D2	23
PD1	LCD_D3	24
PE7	LCD_D4	25
PE8	LCD_D5	26
PE9	LCD_D6	27
PE10	LCD_D7	28
PE11	LCD_D8	7
PE12	LCD_D9	8
PE13	LCD_D10	9
PE14	LCD_D11	10
PE15	LCD_D12	11
PD8	LCD_D13	12
PD9	LCD_D14	13
PD10	LCD_D15	14
PA4	SD_CS	38
PA5	SD_SCK	36
PA6 (MISO)	SD_OUT	35
PA7 (MOSI)	SD_DIN	37
PB9	D_CS	30
PB10	D_CLK	29



PB14 (MISO)	D_OUT	33
PB15 (MOSI)	D_DIN	31
PA0	D_PENIRQ	34
PB2	D_BUSY	32
<b>Offene Punkte:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Print herstellen</li> <li>• Pinbelegung erneut auf Doppelbelegung überprüfen</li> </ul>	

## 8.2 System

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispielprojekte aus Atollic-Studio</li> <li>• STM32F4xx_StdPeriph_Driver aus STM32F4-Discovery_FW_V1.1.0: <a href="http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF257904">http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF257904</a></li> <li>• Newlib Stubs <a href="http://stm32discovery.nano-age.co.uk/open-source-development-with-the-stm32-discovery/getting-newlib-to-work-with-stm32-and-code-sourcery-lite-eabi">http://stm32discovery.nano-age.co.uk/open-source-development-with-the-stm32-discovery/getting-newlib-to-work-with-stm32-and-code-sourcery-lite-eabi</a></li> </ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	<p>Ordner: discovery/libs/StmCoreNPeriph (kaum angepasst, Original)</p> <p>Dateien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• discovery/main.c (Eigenentwicklung)</li> <li>• discovery/ll_system.c (Eigenentwicklung)</li> <li>• discovery/startup.s (übernommen von Atollic)</li> <li>• discovery/newlib_stubs.c (kaum angepasst, Original)</li> <li>• discovery/system_stm32f4xx.c (übernommen von Atollic)</li> </ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Keine Einzeltests
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Die main Methode dieser Plattform ist enorm simpel: Zuerst wird <i>app_init()</i> aufgerufen und anschliessend wiederholt <i>app_process()</i>. Die gesamte Initialisierung der Plattform geschieht in den Low-Level Funktionen des System Moduls (ll_system.c).</p> <p>Innerhalb von <i>ll_system_init()</i> werden die grundlegenden Komponenten des STM-Kontrollers initialisiert. Zuerst werden die GPIO's der Leds und des Buttons konfiguriert. Anschliessend wird der Clock des Kontrolls auf 168 Mhz erhöht, und der Clock von der Usb Schnittstelle wird mit 48Mhz initialisiert. Zum Schluss wird noch die USB Host Library initialisiert. Die benötigten Interrupt Handler Funktionen befinden sich ebenfalls in dieser Datei und werden jeweils direkt weitergeleitet an die betroffene Unterkomponente.</p> <p><i>ll_system_process()</i> verarbeitet anstehende Usb Events, in dem <i>USBH_Process</i> aufgerufen wird.</p> <p><i>ll_system_delay</i> wird direkt an eine Funktion der Usb Board Support Datei weitergeleitet. Dort wird</p>	

ein Timer verwendet um die gewünschte Zeit zu schlafen.	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

## 8.3 Tft

<b>Status:</b>	Stabil und zu 90% abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiel, SSD1289 Ansteuerung mit FSMC: <a href="http://mikrocontroller.bplaced.net/wordpress/?page_id=1357">http://mikrocontroller.bplaced.net/wordpress/?page_id=1357</a></li> <li>• Grundlegende Zeichenfunktionen und Fonts aus früherem Projekt. Code siehe Github oder doc-Ordner: <a href="http://idpa_software.tar.gz">idpa_software.tar.gz</a></li> </ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Dateien: <ul style="list-style-type: none"> <li>• discovery/ll_tft.c (90% Eigententwicklung, basierend auf Referenzcode Original aus idpa_software.tar.gz und Beispiel)</li> <li>• discovery/font.c (kaum Anpassungen, Original aus idpa_software.tar.gz)</li> <li>• discovery/font.h (kaum Anpassungen, Original aus idpa_software.tar.gz)</li> </ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	TFT Modul Test (Kapitel 10.1 )
<b>Beschreibung:</b> <p>Die Datei ll_tft.c beinhaltet alle Funktionen welche zur Kommunikation mit dem Display nötig sind. Darunter fällt auch Initialisierungscode des FSMC, der verwendeten GPIOs sowie des Displays. Die Displaykonfiguration wurde nach Datenblatt konfiguriert. Dazu mussten einige hundert Register mit korrekten Werten versehen werden. Die Initialisierung des FMSCs und dessen GPIOs ist gemäss angegebener Quelle realisiert.</p> <p>Die implementierten Funktionen sind in vier Kategorien gegliedert. Alle Funktionen, welche nur von der Bibliothek selber verwendet werden sind als statisch deklariert. Dies macht sie nach aussen unsichtbar. Die Datei beginnt mit den Initialisierungsfunktionen welche alle mit der nach aussen sichtbaren Funktion <i>ll_tft_init</i> vom System aufgerufen werden können. Anschliessen folgt eine Sektion mit Funktionen welche zur Kontrolle des Displays dienen. Es folgen die Funktionen zum Zeichnen auf dem Display und am Schluss Funktionen welche zur Ausgabe von Text auf dem Display notwendig sind.</p> <p>Die verwendeten Fonts sind in der Datei font.c im Hexformat abgelegt.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ll_tft_draw_circle</i> und <i>ll_tft_draw_bitmap_unscaled</i> implementieren</li> <li>• Überprüfen ob da Display ev. noch schneller bedient werden könnte</li> </ul>

## 8.4 Touch

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Datenblatt ADS7843 <a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads7843.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads7843.pdf</a></li></ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Dateien: <ul style="list-style-type: none"><li>discovery/ll_touch.c (100% Eigententwicklung)</li></ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>STM32F4Discovery Spi Touch Kommunikation Test (Kapitel 10.3 )</li><li>indirekter Test mit GUI Modul Test (Kapitel 10.2)</li></ul>
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Die Touchbibliothek umfasst Methoden welche zur Konfiguration und Kommunikation mit dem Touchcontroller notwendig sind. Ausserdem wird ein Timer konfiguriert welcher für das Sampling der Koordinaten zuständig ist. Die Interrupt Service Routinen sind ebenfalls in dieser Bibliothek implementiert.</p> <p>Der Touchcontroller ist dabei sehr einfach anzusteuern. Er erwartet via SPI erst eine Instruktion und ein Ausführungsbefehl. X und Y Koordinaten werden dabei separat angefordert. Ausserdem verfügt man über eine Leitung welche ein Touchevent durch veränderung des Logikpegels anzeigt. Um diese sogenannten PENIRQs sauber zu erkennen wurde ein Externer Interrupt konfiguriert.</p> <p>Um die Kalibrierung des Displays zu Starten wurde noch ein weiterer Externer Interrupt konfiguriert, welcher auf den blauen Userbutton des Discoveryboards horcht. Wird dieser gedrückt, startet die Kalibrierungsmethode.</p> <p>Das timerbasierte Sampling der Touch-Werte ist notwendig, da der PENIRQ des Kontrollers zu früh auslöst. Der Displaycontroller toggelt also bereits die Leitung wenn die Dünnschichtfolie des resistiven Displays noch nicht ganz gedrückt ist. Dies führt zu ungenauen Resultaten. Unsere Strategie um diesem Verhalten zu entgegnen ist es beim ersten Auftreten des PENIRQs einen Timer zu starten, welcher in einem fix gewählten Intervall ein Interrupt auslöst. In diesem Interrupt wird jeweils 16 mal die Position gemessen und gemittelt. Anschliessend wird die Systemfunktion <i>touch_add_raw_event</i> aufgerufen welche die Koordinaten laufend dem System mitteilt. Dies ermöglicht es uns die Positionen auch bei gedrücktem Zustand laufend zu erfassen.</p> <p>Das Samplingverfahren ist in der Analyse näher beschrieben.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

## 8.5 Sd-Karte

<b>Status:</b>	Nicht implementiert
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Petit FatFS <a href="http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html">http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html</a></li></ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Dateien: <ul style="list-style-type: none"><li>discovery/ll_filesystem.c (nur Grundgerüst)</li></ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Keine Einzeltests
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Die Zeit zur Implementierung der LowLevel Funktionen des Filesystem Moduls hat leider nicht gereicht. Geplant wäre jedoch gewesen, die SPI2 Schnittstelle des STM-Kontrollers zu verwenden um die SD-Karte des Display-Moduls anzusteuern. Als Library wäre die PetitFatFS Bibliothek zum Einsatz gekommen. Die Bibliothek umfasst eine vollständige Fat16 Dateisystem Implementation für SD Karten. Es müssen lediglich die Funktionen zum lesen und schreiben mithilfe von SPI bereitgestellt werden.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Implementierung</li></ul>

## 8.6 Pixy

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	Code aus Kapitel 7.7
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: discovery/libs/Pixy (100% Eigenentwicklung, nebst Code aus Kapitel 7.7 )
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Pixy Modul Test (Kapitel 10.4)
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Als Grundlage für die Pixy-Modul Implementierung für die Discovery-Plattform diene der angepasste Code von libpixyusb (siehe Kapitel 7.7 ). An dieser Anpassung wurde aber für die Discovery-Plattform noch einiges verändert: Für jegliche USB-Kommunikation, sowie für die Timer-Verwendung wurden Funktionsprototypen definiert:</p> <pre>int USBH_LL_open(); int USBH_LL_close(); int USBH_LL_send(const uint8_t *data, uint32_t len, uint16_t timeoutMs); int USBH_LL_receive(uint8_t *data, uint32_t len, uint16_t timeoutMs); void USBH_LL_setTimer(); uint32_t USBH_LL_getTimer();</pre>	

Jegliche Funktionen der *USBLink* Klasse wurden “geleert” und mit einer einzigen Zeile befüllt die jeweils die entsprechende Funktion der oben definierten Prototyen aufruft. *USBLink::send* ruft jetzt also direkt *USBH\_LL\_send* auf. Die *USBLink* Klasse selbst enthält keine Logik mehr.

Die Implementierung dieser Prototypen hat an sich nichts mehr mit Pixy zu tun. Sondern nur noch mit Usb (im Bulk Modus). Desshalb wurden diese Funktionen auch im Usb Modul implementiert (siehe Kapitel 8.7).

Der Code des Pixy-Moduls für die Discovery-Plattform wird zu einer statichen Library kompiliert, welche später beim linken die von den öffentlichen Header-Files angeforderten Funktionalität bereitstellt.

<b>Offene Punkte:</b>	Keine
-----------------------	-------

## 8.7 Usb

<b>Status:</b>	Instabil
<b>Quellen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>STM32F4-Discovery_FW_V1.1.0: <a href="http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF257904">http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF257904</a></li> <li>STM32F4_USB_MP3 <a href="https://github.com/vanbwodonk/STM32F4_USB_MP3">https://github.com/vanbwodonk/STM32F4_USB_MP3</a></li> </ul>
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: <ul style="list-style-type: none"> <li>discovery/libs/StmUsbHost (kaum angepasst, Original)</li> </ul> Dateien: <ul style="list-style-type: none"> <li>discovery/src/usb_bsp.c (übernommen aus USB Example)</li> <li>discovery/src/usbh_msc_core.c (etliche Anpassungen, Original aus MSC-Klasse)</li> <li>discovery/src/usbh_msc_core.h (kaum angepasst, Original aus MSC-Klasse)</li> <li>discovery/src/usbh_usr.c (kaum angepasst, Original aus MP3-Beispiel)</li> <li>discovery/src/usbh_usr.h (kaum angepasst, Original aus MP3-Beispiel)</li> </ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Indirekt getestet mit Pixy Modul Test (Kapitel 10.4)
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Pixy nutzt zur Kommunikation via USB den Bulk Modus. Dafür müssen eine <i>send</i> und eine <i>receive</i> Funktion bereitgestellt werden. Leider gibt es für STM32 keine Beispiele von Applikationen die den Bulk Modus verwenden. Alle Beispiele bauen auf einem enorm grossen USB-Framework auf, welches mit sogenannten Geräteklassen funktioniert.</p> <p>Usb definiert für gewisse Typen von Geräte eine Geräteklasse. So z.B. Maus, Kamera, Datenträger. Geräte dieser Klasse implementieren dann die definierten Schnittstellen-Funktionen der jeweiligen Klasse. Betriebssysteme unterstützen in der Regel die meisten dieser standartisierten Geräteklassen,</p>	

dadurch ist für den Benutzer keine manuelle Treiberinstallation vonnöten.

Die STM32 Usb Libraries sind in mehrere Pakete unterteilt: Usb Device Library, Usb Host Library, Usb OTG Library. Die OTG Library wird in jedem Falle benötigt, wenn man als Usb-Host fungieren will, braucht es zusätzlich die Host Library, wenn man als Endgerät fungieren will, braucht es die Device Library. Die Host Library erfordert die Implementation einer USB Geräteklasse. Die Library ruft dann Callback-Funktionen der Klasse auf, wann immer es aus Sicht der Library nötig ist. Die Usb-Library kontrolliert also die Applikation und nicht umgekehrt. Will die Applikation von sich aus eine Übertragung auslösen, so müssen die Daten zwischengespeichert werden, bis die Usb-Library eine Übertragung auslösen möchte.

Diese Philosophie passt ganz und gar nicht zu der Art und Weise, wie die Pixy Usb-Kommunikation implementiert ist. Die libpixyusb möchte die Usb-Schnittstelle selbst kontrollieren, und wenn der Benutzer eine Übertragung tätigen will, jeweils einen Bulk-Transfer auslösen.

Um trotzdem eine Kommunikation mit der Pixy zu ermöglichen, wurde eine etwas "unsaubere" Variante gewählt: Ein Beispiel zur Ansteuerung eines USB-Sticks (aus dem MP3 Projekt) wurde genommen und überarbeitet. Dabei wurde die dort implementierte MSC-Klasse "geleert" und die Funktionalität wie folgt angepasst: Die Geräteklasse liest die Serial\_Number, Hersteller und Produktname und geht nur weiter in den "Klassenmodus", falls es sich um die Pixy handelt. Im Klassenmodus werden dann 2 Channels (senden/empfangen) zur Bulk-Kommunikation geöffnet. Ansonsten macht die Klasse nichts; die Callback-Funktionen der Usb-Library sind leer. Um Daten zu senden und empfangen, wurden die Prototypen aus Kapitel 8.6 implementiert. Darin werden die *USBH\_BulkSendData* und *USBH\_BulkReceiveData* Methoden aufgerufen. Diese Funktionen sollten eigentlich nur von einer Geräteklasse bedient werden, welche sich strikte an die Abläufe/Spezifikation der Klasse hält. Insbesondere sollten sie wohl nicht von der Applikation aufgerufen werden, sondern nur innerhalb eines Callbacks der Usb-Library. Trotzdem scheint die Usb-Kommunikation mithilfe dieses "Tricks" in einigen Fällen zu funktionieren. Wieso dieser Trick in manchen Fällen nicht funktioniert, konnte noch nicht genau evaluiert werden. Problematisch ist insbesondere das Problem mit USB, nicht mithilfe eines normalen Debuggers inspiziert werden können: Beim Erreichen und Fortfahren von einem Breakpoint vergeht soviel Zeit, dass die USB-Library das Gerät als "getrennt" betrachtet und von vorne beginnen muss.

Es sollte grundsätzlich aber möglich sein, eine fehlerfreie USB-Kommunikation zwischen STM32F4Discovery und Pixy-Kamera zu implementieren. Dafür wären aber einige weitere Mannwochen und eine tiefgehende Analyse der STM Usb-Libraries vonnöten.

<b>Offene Punkte:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Genauere Untersuchung des Problems bei der aktuellen Implementierung</li><li>• Tiefgehende Analyse der STM Usb-Libraries</li><li>• Implementierung korrekter send/receive Funktionen</li><li>• Korrektes behandeln von Ereignissen durch unerwartetes Trennen und erneutes Anschließen von Pixy</li></ul>
-----------------------	---

## 9 Plattform Emulator

Im folgenden soll die Ziel-Plattform “Emulator” (PC) im Allgemeinen beschrieben werden. Zusätzlich soll die Implementierung der Low-Level Funktionen erläutert werden.

### 9.1 Aufbau & System

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	Keine
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Dateien: <ul style="list-style-type: none"><li>• emulator/qt/ll_system.cpp</li><li>• emulator/qt/main.cpp</li></ul>
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Die Idee des Emulators ist ziemlich simpel: Alle Low-Level Funktionen die normalerweise von der Ziel-Plattform (STM32F4Discovery) implementiert werden sollten werden stattdessen mithilfe von QT auf dem PC realisiert. QT ist eine quellenoffene C++ Klassenbibliothek für die plattformübergreifende Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen. Der gesamte Code wird dann zu einer statischen Library verpackt und zusammen mit dem plattformunabhängigen C-Code (aus dem common Ordner) und der pixy library (siehe Kapitel 9.4) zu einer ausführbaren Datei gelinkt.</p> <p>Fenster und grafische Elemente können mit dem “QT-Designer” (Tool) zusammengekllickt werden. Zur Laufzeit darf nur aus dem Hauptthread darauf zugegriffen werden. Zusätzlich sollte der Hauptthread nicht blockiert werden, weil sonst das GUI einfriert.</p> <p>Zu beginn der Main-Methode wird der Haupt Event-Loop von QT gestartet und anschliesend wird <i>app_init()</i> aufgerufen. Danach wird ein Thread gestartet welcher von nun an <i>app_process()</i> ausführt. Jegliche Zeichenoperationen die innerhalb von <i>app_process()</i> stattfinden zeichnen nur in einen Buffer, welcher dann später im GUI Thread auf den Bildschirm gezeichnet wird (siehe Kapitel 9.2). Die Main-Methode ist danach nur noch für das Verarbeiten von QT-Events zuständig. Das GUI bleibt somit immer ansprechbar und reagierend.</p> <p>Die Low-Level Funktionen dieses Moduls (System) sind enorm simpel:</p> <p><i>ll_system_init()</i> ist leer. Es ist keine spezielle Initialisierung von nöten, nebst der Initialisierung in der main Methode.</p> <p><i>ll_system_delay</i> ruft <i>QThread::msleep</i> auf, was den Thread (der normalerweise <i>app_process</i> aufruft) in den Schlafzustand versetzt.</p> <p><i>ll_system_process()</i> verarbeitet ausstehende QT-Events und schläft dann 1 Milisekunde um die CPU-Last in Grenzen zu halten.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

## 9.2 Tft & Touch

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	Keine
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Dateien: <ul style="list-style-type: none"><li>• emulator/qt/ll_tft.cpp</li><li>• emulator/qt/ll_touch.cpp</li><li>• emulator/qt/mainwindow.cpp</li><li>• emulator/qt/mainwindow.h</li><li>• emulator/qt/mainwindow.ui</li></ul>
<b>Durchgeführte Tests:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TFT Modul Test (Kapitel 10.1)</li><li>• indirekter Test mit GUI Modul Test (Kapitel 10.2)</li></ul>
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Mithilfe des QT-Designers (Tools) wurde ein einfaches GUI erstellt (<i>MainWindow</i> Klasse). Es besteht aus einem “Exit”-Button und einem Dropdown zur Auswahl der Zoomstufe. Innerhalb von <i>ll_tft_init()</i> wird das erstellte GUI anschliessend gestartet. Alle <i>ll_tft_*</i> Funktionen werden direkt weitergeleitet an eine Methode der <i>MainWindow</i> Klasse mit gleicher Signatur. Innerhalb dieser Methoden wird dann mithilfe der <i>QPainter</i> Klasse in ein Bild-Buffer gezeichnet. Zusätzlich wird markiert dass das Fenster neu gezeichnet werden muss. Im Paint-Event der <i>MainWindow</i> Klasse wird dann schliesslich der Bild-Buffer - unter Berücksichtigung der aktuellen Zoomstufe - gezeichnet. Der Paint-Event wird vom GUI-Thread aufgerufen, sobald das Fenster neu gezeichnet werden muss.</p> <p>Das Touch Modul besitzt nur eine Low-Level Funktion, <i>ll_touch_init()</i> welche in diesem Falle leer ist. Tritt in der <i>MainWindow</i> Klasse ein <i>MouseEnter</i>, <i>MouseLeave</i> oder <i>MouseMove</i> Event auf, so wird die Maus-Position – unter Berücksichtigung der aktuellen Zoomstufe – umgerechnet und an die Funktion <i>touch_add_raw_event()</i> des Touch Moduls übergeben.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

## 9.3 Dateisystem

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	Keine
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Datei: emulator/qt/ll_filesystem.cpp
<b>Durchgeführte Tests:</b>	Keine Einzeltests
<b>Beschreibung:</b>	



Die Dateisystem Implementierung (*ll\_filesystem\_\** Funktionen) basieren auf den *QFile* Klassen. *QFile* bietet betriebssystemunabhängigen Zugriff auf das Dateisystem an. Der Stammorder des Dateisystems wird dabei im Ordner “emulated” (innerhalb vom emulator Ordner) angenommen. Alle Pfade werden also als relativ zum Ordner “emulated” angenommen. Die Implementierung der einzelnen Methoden ist relativ selbsterklärend und die nötige Dokumentation ist direkt den Code zu entnehmen.

<b>Mögliche Verbesserungen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfen ob die angegebenen Dateipfade wirklich unterhalb des “emulated”-Ordner liegen oder ob versucht wird aus dem Ordner “auszubrechen”.</li> </ul>
---------------------------------	---

## 9.4 Usb & Pixy

<b>Status:</b>	Stabil und abgeschlossen
<b>Quellen:</b>	Code aus Kapitel 7.7
<b>Zugehörige Quell- und Headerdateien:</b>	Ordner: emulator/libs/Pixy (übernommen aus Anpassung aus Kapitel 7.7 )
<b>Durchgeführte Tests:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pixy Modul Test (Kapitel 10.4)</li> <li>• indirekter Test mit PID Regelungs Test (Kapitel 10.5)</li> </ul>
<b>Beschreibung:</b>	
<p>Als Grundlage für die Pixy-Modul Implementierung für die Emulator-Plattform diene der angepasste Code von libpixyusb (siehe Kapitel 7.7 ). An dieser Anpassung wurde grundsätzlich nichts weiter verändert für die Emulator-Plattform. Der Code wird zu einer statischen Library kompiliert, welche später beim linken die von den öffentlichen Header-Files angeforderten Funktionalität bereitstellt.</p>	
<b>Offene Punkte:</b>	Keine

# 10 Test

## 10.1 TFT Modul Test

<b>Ziel:</b>			
Funktionalität des Tft Moduls für die Emulator und STM32F4Discovery Plattform prüfen			
<b>Werkzeuge und Testobjekt:</b>			
STM32F4Discovery mit Display, Emulator. Gui-Test Screen (siehe Kapitel 7.1).			
<b>Testablauf:</b>			
Navigieren zu Gui-Test Screen und überprüfen ob korrekt gezeichnet wurde			
<b>Testfälle:</b>			
<i>Nr</i>	<i>Ausgeführte Aktion und erwartetes Resultat</i>	<i>Resultat STM32F4Discovery</i>	<i>Resultat Emulator</i>
1	Display mithilfe von <i>tff_clear</i> auf eine grüne Farbe setzen. Hintergrund sollte grün werden.	Ok	Ok
2	Mithilfe von <i>tff_draw_pixel</i> einen schwarzen Pixel im Koordinatenursprung (0,0) und in der unteren rechten Ecke (319,239) des Displays zeichnen. Die beiden schwarzen Pixel sollten sichtbar werden.	Ok	Ok
3	Zwei weitere Pixel an den Stellen (10,210) und (12,210) mit blauer Farbe zeichnen. Die beiden blauen Pixel sollten sichtbar werden	Ok	Ok
4	Mithilfe von <i>tft_draw_rectangle</i> den Umriss eines blauen rechtecks zeichnen. Eckpunkt oben-links: (40,100) Eckpunkt unten-rechts: (60,235). Auf dem Display sollte ein 21 Pixel breites und 136 Pixel hohes Rechteck erscheinen.	Ok	Ok
5	Mithilfe von <i>draw_circle</i> einen Kreis mit dem Mittelpunkt (0,0) und dem Radius 100 in roter Farbe zeichnen.	Funktion noch nicht implementiert	Ok
6	Mithilfe der Funktion <i>draw_line</i> eine Linie von (10,50) nach (310,225) mit der Farbe Violett.	Ok	Ok
7	Mithilfe der Funktion <i>tft_print_line</i> einen roten Text "Hallo" mit blauem Hintergrund an den Koordinaten (30,130) anzeigen	Ab und zu Fehlerhaft, meistens aber Ok	Ok


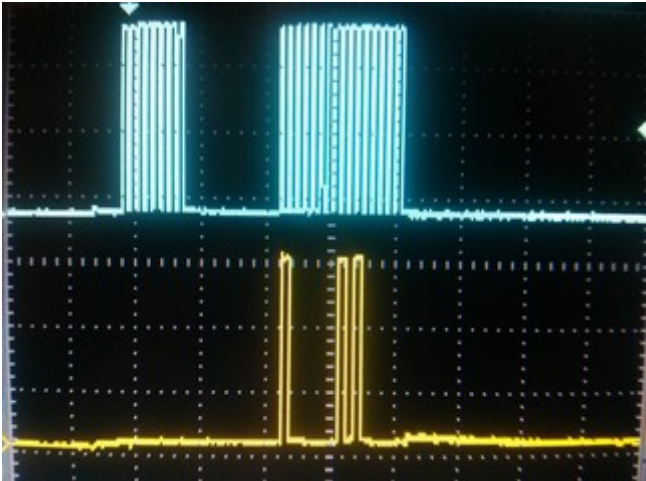
	lassen.		
8	Mithilfe der Funktion <i>tft_fill_rectangle</i> ein grünes, ausgefülltes Rechteck zeichnen. Eckpunkt oben-links: (100,215) Eckpunkt unten-rechts: (200,225) Auf dem Display sollte ein 101 Pixel breites und 11 Pixel hohes, gefülltes Rechteck erscheinen.	Ok	Ok

## 10.2 GUI Modul Test

<b>Ziel:</b>			
Funktionalität des GUI Moduls für die Emulator und STM32F4 Discovery Plattform prüfen. Da der plattformabhängigen Touch Modul implementierung abhängt, wird indirekt auch das Touch Modul getestet.			
<b>Werkzeuge und Testobjekt:</b>			
STM32F4Discovery mit Display, Emulator. Gui-Test Screen (siehe Kapitel 7.1).			
<b>Testablauf:</b>			
Navigieren zu Gui-Test Screen und bedienen von Button, Checkbox und NumericUpDown			
<b>Testfälle:</b>			
<i>Nr</i>	<i>Ausgeführte Aktion und erwartetes Resultat</i>	<i>Resultat STM32F4 Discovery</i>	<i>Resultat Emulator</i>
1	Drücken und Loslassen des Backbuttons veranlasst das Programm zum Zurückkehren in den Homescreen	Ok	Ok
2	Drücken des Backbuttons und Gedrückthalten veranlasst den Button dazu einen 3D Effekt zu zeigen.	Ok	Ok
3	Drücken des Backbuttons, Gedrückthalten und verlassen des Buttonbereiches veranlasst den Button den 3D Effekt zu löschen. Insbesondere erfolgt beim Loslassen keine Back-Aktion.	Ok	Ok
4	Drücken der Checkbox und Gedrückthalten veranlasst die Checkbox dazu einen gelben Schatten zu zeigen.	Ok	Ok
5	Drücken der Checkbox und anschliessendes Loslassen veranlasst die Checkbox dazu das grüne Häkchen zu zeigen oder zu löschen.	Ok	Ok
6	Drücken der Checkbox, Gedrückthalten	Ok	Ok

	und anschliessendes Ziehen des Cursors ausserhalb des Bereichs veranlasst die Checkbox dazu den gelben Rand zu entfernen sowie ihren Wert beizubehalten.		
7	Drücken des + Symbols des NumericUpDown Buttons inkrementiert den angezeigten Wert.	Ok	Ok
8	Durch Drücken des + Symbols des NumericUpDown Buttons lässt sich der Wert nicht über 11 inkrementieren.	Ok	Ok
9	Drücken des - Symbols des NumericUpDown Buttons dekrementiert den angezeigten Wert.	Ok	Ok
10	Durch Drücken des - Symbols des NumericUpDown Buttons lässt sich der Wert nicht unter -5 dekrementieren.	Ok	Ok
11	Drücken des Displays an beliebiger Position ohne GUI Element während einer Stunde hat keinen Effekt (auf das Display, Effekt auf den Testenden nicht Berücksichtigt).	Ok	Ok

## 10.3 STM32F4Discovery Spi Touch Kommunikation Test

<b>Ziel:</b>		
Funktionalität der Kommunikation zwischen Touch-Controller (ADS7843) und STM32 überprüfen.		
<b>Werkzeuge und Testobjekt:</b>		
STM32F4 Discovery mit Display, Oszilloskop		
<b>Testablauf:</b>		
SPI Konfiguration gemäss initialisierungscode ausführen. Senden von Instruktionen an den Controller, Antwort mittels Singleshot Messung durch Oszilloskop einmal ohne und einmal mit Druck aufs Display aufnehmen		
<b>Testfälle:</b>		
Nr	Ausgeführte Aktion und erwartetes Resultat	Resultat STM32F4Discovery
1	Ein Aufruf der <i>touch_get_y_coord</i> Methode ohne Druck auf das Display sollte vom Touchkontroller mit einer Null quittiert werden.	 <p>Ok</p>
2	Ein Aufruf der <i>touch_get_y_coord</i> Methode mit Druck auf das Display sollte vom Touchkontroller mit der Rückgabe der Koordinaten quittiert werden.	 <p>Ok</p>
3	Wenn auf dem Discoveryboard der blaue Button gedrückt wird, sollte ein Interrupt	Ok

	ausgelöst werden, welcher das Kalibrierungsmenu aufruft. Diese müsste zu verlassen sein indem man den Instruktionen Folge leistet.	
--	--	--

## 10.4 Pixy Modul Test

<b>Ziel:</b>			
Funktionalität des Pixy Moduls für die Emulator und STM32F4Discovery Plattform prüfen. Damit wird indirekt auch getestet ob die USB Kommunikation funktioniert.			
<b>Werkzeuge und Testobjekt:</b>			
STM32F4Discovery mit Display, Emulator, Pixy-Kamera. Pixy-Test Screen (siehe Kapitel 7.1).			
<b>Testablauf:</b>			
Navigieren zu Pixy-Test Screen, bedienen von Buttons welche gewisse Aktionen an der Pixy auslösen sollten. Überprüfen ob gewollte Aktion ausgelöst wurde.			
<b>Testfälle:</b>			
<i>Nr</i>	<i>Ausgeführte Aktion und erwartetes Resultat</i>	<i>Resultat STM32F4Discovery</i>	<i>Resultat Emulator</i>
1	Druck auf Button “Center” veranlasst die Pixy Kamera dazu eine Mittelposition einzunehmen.	Ok	Ok
2	Druck auf Button “ToLe” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die Position Top Left einzunehmen.	Ok	Ok
3	Druck auf Button “ToRi” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die Position Top Right einzunehmen.	Ok	Ok
4	Druck auf Button “BoLe” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die Position Bottom Left einzunehmen.	Ok	Ok
5	Druck auf Button “BoRi” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die Position Bottom Right einzunehmen.	Ok	Ok
6	Druck auf Button “Off” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die LED zu löschen.	Ok	Ok
7	Druck auf Button “White” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die LED auf weiss zu schalten.	Ok	Ok
8	Druck auf Button “Red” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die LED auf rot zu schalten.	Ok	Ok

9	Druck auf Button “Green” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die LED auf grün zu schalten.	Ok	Ok
10	Druck auf Button “Blue” veranlasst die Pixy-Kamera dazu die LED zu auf blau zu schalten.	Ok	Ok
11	Trennen der USB-Verbindung der Pixy-Kamera zu Laufzeit des Emulators/Discoverieboards und schliessendes neuverbinden. Die Kamera lässt sich weiterhin bedienen.	Fail	Fail
12	Drücken auf das + Symbol des LED Maximum Current Feldes, inkrementiert den Wert im Feld.	Ok	Ok
13	Drücken auf das - Symbol des LED Maximum Current Feldes, dekrementiert den Wert im Feld.	Ok	Ok

## 10.5 PID Regelungs Test

<b>Ziel:</b>		
Funktionalität des PID Reglers überprüfen, Geschwindigkeitstest		
<b>Werkzeuge und Testobjekt:</b>		
STM32F4 Discovery mit Display		
<b>Testablauf:</b>		
Navigieren zu “Our Tracking” Screen und Farbe auswählen. Überprüfen des Trackings. Farbe umkonfigurieren und erneutes Überprüfen des Trackings. Anschliessend überprüfen ob “Show Video” funktioniert und das Tracking mit dem Videofeed noch funktioniert.		
<b>Testfälle:</b>		
<b>Nr</b>	<b>Ausgeführte Aktion und erwartetes Resultat</b>	<b>Resultat Emulator</b>
1	Farbstift verfolgen (gelber Marker)	Ok (Linux) Auf Windows manchmal Fehlerhaft
2	Farbe umkonfigurieren mittels Select Color (Oranger Marker). Hierbei wird der Marker ins Bild gehalten und der Button “Select Color” betätigt. Auf dem emulator Bild lässt sich mittels Maus eine Box um die gewünschte Farbe ziehen. Achtung: Box wird noch nicht angezeigt, Vorstellungskraft gebrauchen.	Ok

3	Stift wird heftig hin und her bewegt und Kamera sollte folgen.	Ok (Linux) – vergleichbar mit dem Referenztracking der Pixysoftware. Auf Windows manchmal sehr langsam.
4	Checkbox Show Video wird markiert, Kamerafeed sollte angezeigt werden. Tracking funktioniert nach wie vor.	Ok – Tracking jedoch langsamer, aufgrund des Rechenaufwands beim Rendering.



# 11 Fazit der Arbeit

## 11.1 Fazit Timo

Das Projekt discoverpixy ist exponentiell gewachsen. Ursprünglich war die Idee das nur mit dem Discovery-Board gearbeitet werden soll. Da mein Kollege Aaron mit der Implementierung der Hardwarenahen Funktionalitäten etwas in Verzug geriet, beschlossen ich dann kurzerhand noch einen Emulator zu bauen. Damit ist natürlich auch die Komplexität des Projekts gestiegen und die Planung musste angepasst werden.

Ich konnte in diesem Projekt viel dazu lernen. Obwohl ich bereits etliche Projekte mit Mikrocontrollern gemacht habe, bin ich bisher nie dazu gekommen mit STM-Kontrollern zu arbeiten. Die Ansteuerung von Usb auf Mikrocontrollern war ebenfalls neu. Enorm lehrreich für mich war besonders der komplette Aufbau einer Toolchain. Bisher hatte ich immer funktionierende Entwicklungsumgebungen vorliegen und jetzt musste ich zum ersten mal den gesamten Buildprozess (für zwei Zielplattformen) selbst realisieren.

Durch dieses Projekt konnte ich auch hinsichtlich Projektplanung einiges dazu lernen. Wir haben im Allgemeinen viel zu optimistische Zeitschätzungen genutzt. Dies war uns zwar von Anfang an bewusst, aber wir haben wohl einfach darauf gehofft die (Mehr-)Arbeit über das ganze Semester hinweg bewältigen zu können. Im Laufe des Semesters hat sich dann gezeigt, dass Meilensteine schnell verpasst werden können wenn die Gesamtbelastung steigt. Für die Zukunft muss ich mir vornehmen deutlich mehr Zeit für unvorhersehbare Probleme und allgemeine Toleranzen einzuplanen.

Nichtsdestotrotz blicke ich mit Freude auf diese Projektarbeit zurück. Ich hatte enorm Spass daran und ich konnte einige meiner langjährigen Ideen endlich in die Tat umsetzen.

## 11.2 Fazit Aaron

Beim Projekt Discoverpixy war ich verantwortlich für die hardwarenahen Funktionen und die lowlevel Programmierung. Timo und ich trennten das Projekt früh in zwei Teile wobei Timo seine Arbeit grösstenteils in der Emulatorversion des Projektes verwirklichte. In erster Linie empfand ich das Projekt als eine gute Ergänzung zum Unterricht und der im Modul vorgestellten Theorie. Die Umsetzung war zwar bewusst enthusiastisch gewählt, führte aber meinerseits auch zu Unbehagen.

Nicht alles, was ich mir im Vorfeld vorgenommen hatte, konnte ich in nützlicher Frist umsetzen. So blieb beispielsweise die Unterstützung für die SD-Karte und deren gesamte Ansteuerung auf der Strecke. Das Nichterreichen dieser, aus meiner Sicht eher hochgesteckten Ziele war leider schlussendlich auch ein grosser Frustfaktor. Da es unter dem Semester natürlich auch noch einige andere Module zu bearbeiten gab, hatte ich Probleme mit dem Zeitmanagement. Zusätzlich fehlten mir im Bereich Emulator auch theoretische Grundlagen und ich empfand die Projektstruktur als eher zu kompliziert.

Jedoch schreibe ich diesen Dingen einen gewissen Lernfaktor zu. Ich behaupte gelernt zu haben in

Zukunft, bei grösseren Projekten der Planung mehr Gedankenarbeit zu widmen. Auch konnte ich in den Bereichen die ich bearbeitet habe profitieren. So verfüge ich nun über eine Codebasis welche mir in Zukunft helfen wird, ähnliche Aufgabenstellungen zu bearbeiten. Insbesondere bin ich froh, dass schlussendlich doch vieles funktioniert und wird nicht nur “einfach etwas, dass dann schon irgendwie funktioniert” abgeben müssen. Ein Meilenstein der mir besondere Freude bereitet hat, war als die eigene Regelung zum ersten Mal funktionierte und durch Einstellen der PID-Werte stetig besser wurde. Somit fällt mein Fazit trotz Stress und Frust durchaus auch positiv aus. Ausserdem vertrete ich die Meinung dazugelernt zu haben.