**DIPLOMARBEIT**

Gesamtprojekt

**FPV-Drohne**

**Elektronik FPV-Drohne**

Marcel Bieder 5AHEL

**Softwareentwicklung FPV-Drohne**

Maximilian Lendl 5AHEL

**CAD-Entwicklung & Datenübertragung**

Ben Heinicke 5AHEL

**Entwicklung einer APP für Smartphone & Videoübertragung**

Sebastian Hinterberger 5AHEL

Betreuer: Dipl.-Ing. Josef Reisinger

Schuljahr 2023/24

Abgabevermerk:

Datum: 02.04.2024 übernommen von:

****

**Höhere Technische Bundeslehranstalt Hollabrunn**

**Höhere Lehranstalt für Elektronik und Technische Informatik**

**EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

**Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.**

**Marcel Bieder**

**Maximilian Lendl**

**Ben Heinicke**

**Sebastian Hinterberger**

Hollabrunn, am 02.04.2024

**HINWEISE**

Die vorliegende Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Firma **Dronetech Austria** ausgeführt.

oder

Die vorliegende Diplomarbeit wurde für die Abteilung Elektronik und Technische Informatik der HTL Hollabrunn ausgeführt.

Die in dieser Diplomarbeit entwickelten Prototypen und Software-Produkte dürfen ganz oder auch in Teilen von Privatpersonen oder Firmen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie diese selbst geprüft und für den vorgesehenen Verwendungszweck für geeignet befunden haben.

Es wird keinerlei Haftung übernommen für irgendwelche Schäden, die aus der Nutzung der hier entwickelten oder beschriebenen Bestandteile des Projekts resultieren.

Für alle Entwicklungen gilt die GNU General Public License [http://www.gnu.org/licenses/gpl.html] der Free Software Foundation, Boston, USA in der Version 3.

Die Diplomarbeit erfüllt die “Standards für Ingenieur- und Technikerprojekte” entsprechend dem Rundschreiben Nr. 60 aus 1999 des BMBWK (GZ.17.600/101-II/2b/99).

[https://www.bmb.gv.at/ministerium/rs/1999\_60.html]

SCHLÜSSELBEGRIFFE

DANKSAGUNGEN

Reisinger, Wihsböck, Kauer, Stoll, Dronetech Austria (Daniel Stoiber),

**DIPLOMARBEIT**

**DOKUMENTATION**

|  |  |
| --- | --- |
| Namen der  Verfasser/innen |  |
| Jahrgang  Schuljahr |  |
| Thema der Diplomarbeit |  |
| Kooperationspartner |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Aufgabenstellung |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Realisierung |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Ergebnisse |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Typische Grafik, Foto etc.  (mit Erläuterung) |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Teilnahme an Wettbewerben,  Auszeichnungen |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Möglichkeiten der Einsichtnahme in die Arbeit | HTL Hollabrunn  Anton Ehrenfriedstraße 10  2020 Hollabrunn |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Approbation  (Datum / Unterschrift) | Prüfer/Prüferin | Direktor/Direktorin  Abteilungsvorstand/Abteilungsvorständin |

**DIPLOMA THESIS**

**Documentation**

|  |  |
| --- | --- |
| Author(s) |  |
| Form  Academic year |  |
| Topic |  |
| Co-operation partners |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Assignment of tasks |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Realisation |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Results |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Illustrative graph, photo  (incl. explanation) |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Participation in competitions  Awards |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Accessibility of  final project thesis | HTL Hollabrunn  Anton Ehrenfriedstraße 10  2020 Hollabrunn |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Approval  (Date / Signature) | Examiner/s | Head of Department / College |

DA Antrag und unterschriebene Erklärung aus der Diplomarbeitsdatenbank einfügen

Inhaltsverzeichnis

[1 Einleitung 16](#_Toc159681002)

[1.1 Projektziel 16](#_Toc159681003)

[1.2 Gesamtüberblick 16](#_Toc159681004)

[2 Grundlagen Drohnenflug 17](#_Toc159681005)

[2.1 Inertial Measurement Unit (IMU) 17](#_Toc159681006)

[2.1.1 Gyroskop 17](#_Toc159681007)

[2.1.2 Accelerometer 17](#_Toc159681008)

[2.1.3 Magnetometer 17](#_Toc159681009)

[2.1.4 Barometer 17](#_Toc159681010)

[2.2 Lagewinkel 18](#_Toc159681011)

[2.2.1 Throttle 18](#_Toc159681012)

[2.2.2 Pitch 18](#_Toc159681013)

[2.2.3 Roll 18](#_Toc159681014)

[2.2.4 Yaw 18](#_Toc159681015)

[2.2.5 Komplementärfilter 18](#_Toc159681016)

[2.3 PID-Regler 21](#_Toc159681017)

[2.3.1 Proportionalglied (P-Glied) 22](#_Toc159681018)

[2.3.2 Integralglied (I-Glied) 22](#_Toc159681019)

[2.3.3 Differenzialglied (D-Glied) 23](#_Toc159681020)

[2.3.4 PID-Regler 23](#_Toc159681021)

[3 Mechanischer Aufbau 24](#_Toc159681022)

[3.1.1 FPV – Drohne Gesamtaufbau 24](#_Toc159681023)

[3.1.2 3D – Modelle 24](#_Toc159681024)

[3.1.2.1 Propellerschutz 24](#_Toc159681025)

[3.1.2.2 Groundstation 24](#_Toc159681026)

[4 Elektronik FPV-Drohne (BIE) 25](#_Toc159681027)

[4.1 Allgemeines 25](#_Toc159681028)

[4.1.1 Grundlegendes Hardwarekonzept 25](#_Toc159681029)

[4.1.2 Anforderungen 25](#_Toc159681030)

[4.1.3 Komponentenauswahl 25](#_Toc159681031)

[4.2 Flight Controller 25](#_Toc159681032)

[4.2.1 Allgemeines 25](#_Toc159681033)

[4.2.2 Spannungsversorgungskonzept 25](#_Toc159681034)

[4.2.3 Mikrocontroller 25](#_Toc159681035)

[4.2.4 Altium PCB Design 25](#_Toc159681036)

[4.2.5 Pinbelegung 25](#_Toc159681037)

[4.3 Electronic Speed Controller (ESC) 25](#_Toc159681038)

[4.3.1 Übersicht 25](#_Toc159681039)

[4.3.2 Aufbau 25](#_Toc159681040)

[4.3.3 Funktionsweise 25](#_Toc159681041)

[4.3.4 Technische Daten 25](#_Toc159681042)

[4.4 Motoren 25](#_Toc159681043)

[4.4.1 Übersicht 25](#_Toc159681044)

[4.4.2 Aufbau 25](#_Toc159681045)

[4.4.3 Funktionsweise 25](#_Toc159681046)

[4.4.4 Technische Daten 25](#_Toc159681047)

[4.5 Receiver Fernsteuerung 25](#_Toc159681048)

[4.5.1 Übersicht 25](#_Toc159681049)

[4.5.2 Funktionsweise 25](#_Toc159681050)

[4.5.3 Technische Daten 25](#_Toc159681051)

[4.6 Video Transmitter (VTx) 25](#_Toc159681052)

[4.6.1 Übersicht 25](#_Toc159681053)

[4.6.2 Funktionsweise 25](#_Toc159681054)

[4.6.3 Technische Daten 25](#_Toc159681055)

[4.7 Live Kamera 25](#_Toc159681056)

[4.7.1 Übersicht 26](#_Toc159681057)

[4.7.2 Funktionsweise 26](#_Toc159681058)

[4.7.3 Technische Daten 26](#_Toc159681059)

[4.8 VR-Brille 26](#_Toc159681060)

[4.8.1 Übersicht 26](#_Toc159681061)

[4.8.2 Funktionsweise 26](#_Toc159681062)

[5 Steuerungssoftware 27](#_Toc159681063)

[5.1 Einführung Entwicklungsumgebung 27](#_Toc159681064)

[5.2 Softwarearchitektur 33](#_Toc159681065)

[5.2.1 Programmaufbau 33](#_Toc159681066)

[5.3 Fernsteuerung 34](#_Toc159681067)

[5.3.1 Konfiguration Fernsteuerung 35](#_Toc159681068)

[5.3.2 Unterstützte Protokolle 36](#_Toc159681069)

[5.3.2.1 PPM 37](#_Toc159681070)

[5.3.2.2 S.Bus 37](#_Toc159681071)

[5.3.2.3 I.Bus 38](#_Toc159681072)

[5.3.3 Initialisierung der Empfangssoftware 40](#_Toc159681073)

[5.3.4 Empfangssoftware 40](#_Toc159681074)

[5.4 Inertial Measurement Unit (IMU) 41](#_Toc159681075)

[5.4.1 I²C Protokoll 41](#_Toc159681076)

[5.4.2 IMU-Verbindungstest 45](#_Toc159681077)

[5.4.3 Gyroskop und Accelerometer - MPU9250 47](#_Toc159681078)

[5.4.3.1 Registerübersicht MPU9250 47](#_Toc159681079)

[5.4.3.2 Initialisierung Accelerometer und Gyroskop 47](#_Toc159681080)

[5.4.3.3 Einlesen der Accelerometer- und Gyroskop-Daten 48](#_Toc159681081)

[5.4.3.4 Komplementärfilter 50](#_Toc159681082)

[5.4.4 Barometer / Luftdrucksensor - BMP280 52](#_Toc159681083)

[5.4.4.1 Registerübersicht BMP280 52](#_Toc159681084)

[5.4.4.2 Initialisierung Barometer 52](#_Toc159681085)

[5.4.4.3 Einlesen der Barometer-Daten 53](#_Toc159681086)

[5.4.4.4 Berechnung der Höhe 55](#_Toc159681087)

[5.4.5 Magnetometer - AK8963 57](#_Toc159681088)

[5.4.5.1 Registerübersicht AK8963 57](#_Toc159681089)

[5.4.5.2 Initialisierung Magnetometer 57](#_Toc159681090)

[5.4.5.3 Einlesen der Daten 57](#_Toc159681091)

[5.5 Smart Battery Monitor - DS2438 59](#_Toc159681092)

[5.5.1 One-Wire Protokoll 59](#_Toc159681093)

[5.5.1.1 One-Wire Schreibzyklen 60](#_Toc159681094)

[5.5.1.2 One-Wire Lesezyklen 62](#_Toc159681095)

[5.5.1.3 Initialisierungssequenz 64](#_Toc159681096)

[5.5.1.4 ROM-Funktionsbefehl 66](#_Toc159681097)

[5.5.1.5 Memory-Funktionsbefehl 66](#_Toc159681098)

[5.5.2 Registerübersicht DS2438 66](#_Toc159681099)

[5.5.3 Initialisierung DS2438 67](#_Toc159681100)

[5.5.4 Spannungsüberwachung 68](#_Toc159681101)

[5.6 Abstandssensor - HCSR04 (Ben) 71](#_Toc159681102)

[5.6.1 Funktionsweise 71](#_Toc159681103)

[5.6.2 Code 71](#_Toc159681104)

[5.7 Motoransteuerung 72](#_Toc159681105)

[5.7.1 Motorstrom auslesen 72](#_Toc159681106)

[5.7.2 DShot Protokoll 72](#_Toc159681107)

[5.8 PID-Regler 73](#_Toc159681108)

[5.8.1 Hover Modus 73](#_Toc159681109)

[5.8.2 Failsafe 73](#_Toc159681110)

[5.9 Debugging 74](#_Toc159681111)

[5.9.1 Terminal Ausgabe 74](#_Toc159681112)

[5.9.2 Status – LEDs 75](#_Toc159681113)

[6 Datenübertragung der Mess- und Videodaten (Ben) 76](#_Toc159681114)

[6.1 Überblick Datenübertragung 76](#_Toc159681115)

[6.2 Kommunikation: Flight Controller und Sender 76](#_Toc159681116)

[*6.2.1 Aufbau Sendermodul (VTx)* 76](#_Toc159681117)

[6.2.2 ASK – Modulation 76](#_Toc159681118)

[6.2.3 Transmit – Programm auf Cortex µC 76](#_Toc159681119)

[6.2.3.1 Gleitkommadarstellung (memcpy) 76](#_Toc159681120)

[6.2.3.2 Code 76](#_Toc159681121)

[*6.2.4* Testen der Übertragung 76](#_Toc159681122)

[6.3 Kommunikation: Sender und Empfänger 76](#_Toc159681123)

[6.3.1 Aufbau Empfängermodul 76](#_Toc159681124)

[6.3.2 Verbindungsaufbau 76](#_Toc159681125)

[6.3.3 Testen der Übertragung 76](#_Toc159681126)

[6.4 Kommunikation: Empfänger und Raspberry Pi 76](#_Toc159681127)

[6.4.1 Empfangsprogramm auf Raspberry Pi 76](#_Toc159681128)

[6.4.1.1 UART auf dem Raspberry Pi 76](#_Toc159681129)

[6.4.1.2 Code 76](#_Toc159681130)

[6.4.1 Senden der Daten auf dem MQTT-Server 76](#_Toc159681131)

[6.5 Testen der Datenübertragungskette 76](#_Toc159681132)

[7 Visualisierungs-App 77](#_Toc159681133)

[7.1 Applikation 77](#_Toc159681134)

[7.1.1 Einführung – Dart / Flutter - Framework 77](#_Toc159681135)

[7.1.1.1 Allgemeines 77](#_Toc159681136)

[7.1.1.2 Pub Dev / Package Installer 77](#_Toc159681137)

[7.1.1.3 Dart Syntax 77](#_Toc159681138)

[7.1.1.4 State Management 77](#_Toc159681139)

[7.1.1.4.1 Stateful vs. Stateless Widgets 77](#_Toc159681140)

[7.1.1.4.2 Provider 77](#_Toc159681141)

[7.1.2 Allgemeines zur App 77](#_Toc159681142)

[7.1.2.1 Usersystem 77](#_Toc159681143)

[7.1.2.2 Datenvisualiserung 77](#_Toc159681144)

[7.1.2.3 3D-Model-Viewer 77](#_Toc159681145)

[7.1.2.4 Livestream-Viewer 77](#_Toc159681146)

[7.1.3 UI-Konzept 77](#_Toc159681147)

[7.1.4 Projektstruktur und -umgebung 77](#_Toc159681148)

[7.1.4.1 Editor – Visual Studio Code 77](#_Toc159681149)

[7.1.4.2 Flutter Installation 77](#_Toc159681150)

[7.1.4.3 Projekterstellung 77](#_Toc159681151)

[7.1.4.4 Projektstruktur 77](#_Toc159681152)

[7.1.4.5 Packages 77](#_Toc159681153)

[7.1.4.5.1 Pubspec.yaml 77](#_Toc159681154)

[7.1.4.5.2 Installieren neuer Packages 77](#_Toc159681155)

[7.1.5 Splash + Willkommensscreen 78](#_Toc159681156)

[7.1.5.1 Native Splash Screen 78](#_Toc159681157)

[7.1.5.2 Willkommensbildschirm 78](#_Toc159681158)

[7.1.5.3 Logo-Design 78](#_Toc159681159)

[7.1.6 Login + Registrierung 78](#_Toc159681160)

[7.1.6.1 E-Mail-Login 78](#_Toc159681161)

[7.1.6.2 Google-Login 78](#_Toc159681162)

[7.1.6.3 Passwort vergessen 78](#_Toc159681163)

[7.1.6.4 Registrierung 78](#_Toc159681164)

[7.1.7 Homepage 78](#_Toc159681165)

[7.1.7.1 Bottom Navigation Bar / GNav-Bar 78](#_Toc159681166)

[7.1.7.2 Serverdatendialog 78](#_Toc159681167)

[7.1.7.3 Flugdatenvisualisierung 78](#_Toc159681168)

[7.1.7.3.1 MQTT-Datenstreams 78](#_Toc159681169)

[7.1.7.3.2 Syncfusion Cartesian Charts 78](#_Toc159681170)

[7.1.7.3.3 Echtzeitdaten + Animierte Diagramme 78](#_Toc159681171)

[7.1.7.3.4 Speicherung der Daten 78](#_Toc159681172)

[7.1.7.4 3D-Model-Viewer 78](#_Toc159681173)

[7.1.7.4.1 Flutter Cube 78](#_Toc159681174)

[7.1.7.4.2 MQTT-Datenstream 78](#_Toc159681175)

[7.1.7.4.3 3D-Dronenmodell 78](#_Toc159681176)

[7.1.7.4.3.1 Optimierungen in Blender 78](#_Toc159681177)

[7.1.7.4.4 Extrabedienungen 78](#_Toc159681178)

[Live-View 78](#_Toc159681179)

[7.1.7.4.5 VLC-Plugin 78](#_Toc159681180)

[7.1.7.4.6 Darstellung eines Netzwerkstreams 78](#_Toc159681181)

[7.1.7.4.7 Video-Overlay 78](#_Toc159681182)

[7.1.8 Sidemenu / Drawer 78](#_Toc159681183)

[7.1.8.1 Userprofil 78](#_Toc159681184)

[7.1.8.1.1 Darstellung der Userdaten 78](#_Toc159681185)

[7.1.8.1.2 Profilbildauswahl 78](#_Toc159681186)

[7.1.8.1.3 Änderung der Userdaten 79](#_Toc159681187)

[7.1.8.2 Credits 79](#_Toc159681188)

[7.1.8.3 Vorherige Flüge 79](#_Toc159681189)

[7.1.8.3.1 Darstellung aller gespeicherten Flüge 79](#_Toc159681190)

[7.1.8.3.2 Sortiermöglichkeiten 79](#_Toc159681191)

[7.1.8.3.3 Einsicht in vorherigen Flug 79](#_Toc159681192)

[7.1.8.4 Einstellungen 79](#_Toc159681193)

[7.1.8.4.1 Dark- / Light-Mode 79](#_Toc159681194)

[7.1.8.4.2 3D-Model Ausrichtung 79](#_Toc159681195)

[7.1.8.5 Logout´ 79](#_Toc159681196)

[7.2 Firebase Backend 79](#_Toc159681197)

[7.2.1 Installation via Firebase CLI 79](#_Toc159681198)

[7.2.1.1.1 Firebase CLI – Setup 79](#_Toc159681199)

[7.2.1.1.2 Firebase für Dart / Flutter aktivieren 79](#_Toc159681200)

[7.2.1.1.3 Flutter App mit Flutterfire konfigurieren 79](#_Toc159681201)

[7.2.2 Einbindung in Flutter 79](#_Toc159681202)

[7.2.2.1.1 Flutterfire Configure 79](#_Toc159681203)

[7.2.2.1.2 Benutzten Firebase Packages hinzufügen 79](#_Toc159681204)

[7.2.3 Nutzen der verschiedenen Datenbanksysteme 79](#_Toc159681205)

[7.2.3.1 Auth 79](#_Toc159681206)

[7.2.3.1.1 E-Mail + Passwort – Login 79](#_Toc159681207)

[7.2.3.1.2 Google Login 79](#_Toc159681208)

[7.2.3.2 Firestore Database 79](#_Toc159681209)

[7.2.3.2.1 Struktur 79](#_Toc159681210)

[7.2.3.2.2 Allgemeine Userdaten 79](#_Toc159681211)

[7.2.3.2.3 Flugdaten 79](#_Toc159681212)

[7.2.3.2.4 Einstellungen 79](#_Toc159681213)

[7.2.3.3 Realtime Database 79](#_Toc159681214)

[7.2.3.3.1 Allgemein 79](#_Toc159681215)

[7.2.3.3.2 Sinn der verschiedenen Flags 80](#_Toc159681216)

[7.2.3.4 Storage 80](#_Toc159681217)

[7.2.3.4.1 Allgemein 80](#_Toc159681218)

[7.2.3.4.2 Referenz zu User in Firestore 80](#_Toc159681219)

[8 Videostreaming 80](#_Toc159681220)

[8.1 Allgemeiner Aufbau 80](#_Toc159681221)

[8.1.1 Anforderungen 80](#_Toc159681222)

[8.1.2 Übertragungskette 80](#_Toc159681223)

[8.2 CADFPX Analog Kamera 80](#_Toc159681224)

[8.2.1 Allgemein 80](#_Toc159681225)

[8.2.2 Produktinformationen 80](#_Toc159681226)

[8.2.3 Verwendungszweck 80](#_Toc159681227)

[8.2.4 Verbindungstest via USB-Camera App 80](#_Toc159681228)

[8.3 USB2.0 VHS Video Grabber 80](#_Toc159681229)

[8.4 RTMP-Server via NGINX aufsetzen 80](#_Toc159681230)

[8.4.1 RTMP Allgemein 80](#_Toc159681231)

[8.4.2 NGINX 80](#_Toc159681232)

[8.4.2.1 Allgemein 80](#_Toc159681233)

[8.4.2.2 Installation 80](#_Toc159681234)

[8.4.2.3 RTMP-Konfiguration 80](#_Toc159681235)

[8.4.2.4 Serverstatus einsehen 80](#_Toc159681236)

[8.5 RTMP-Stream erstellen 80](#_Toc159681237)

[8.5.1 FFMPEG Allgemein 80](#_Toc159681238)

[8.5.2 Aufbau der Konvertierung 80](#_Toc159681239)

[8.5.2.1 Simple Konvertierung 80](#_Toc159681240)

[8.5.2.2 Optimierungen 80](#_Toc159681241)

[8.5.2.2.1 Encodervergleich 80](#_Toc159681242)

[8.5.2.2.2 Optimierungsflags 80](#_Toc159681243)

[8.5.2.2.3 Unoptimiert vs. Optimiert 81](#_Toc159681244)

[9 Videoserver-Port Forwarding 81](#_Toc159681245)

[9.1 Allgemein 81](#_Toc159681246)

[9.2 Routereinstellungen 81](#_Toc159681247)

[9.3 Kontakt mit Routerfirma zur Freischaltung 81](#_Toc159681248)

[9.4 Testen der Ports 81](#_Toc159681249)

[9.4.1 Portchecker.co 81](#_Toc159681250)

[9.5 Testen des Videostreams 81](#_Toc159681251)

[9.5.1 VLC-Player 81](#_Toc159681252)

[9.5.1.1 Devicestream direkt testen 81](#_Toc159681253)

[9.5.1.2 Netzwerkstream im selben Netzwerk 81](#_Toc159681254)

[9.5.1.3 Netzwerkstream via Public IP 81](#_Toc159681255)

[10 Ergebnisse 81](#_Toc159681256)

[11 Anhang 82](#_Toc159681257)

[11.1 Einführung CAD – Software (Fusion 360) (Ben) 82](#_Toc159681258)

[*11.1.1* UI und Projekterstellung 82](#_Toc159681259)

[*11.1.2* Skizze anfertigen 82](#_Toc159681260)

[*11.1.3* Körper erstellen 82](#_Toc159681261)

[*11.1.4* Schrift und Bilder einfügen 82](#_Toc159681262)

[11.2 3D – Druck (Ben) 82](#_Toc159681263)

[*11.2.1* 3D – Drucker 82](#_Toc159681264)

[*11.2.2* Filamente 82](#_Toc159681265)

[11.2.3 3D – Drucker Software (Ultimaker Cura) 82](#_Toc159681266)

[11.3 Inbetriebnahme Anleitung 82](#_Toc159681267)

[11.4 Projektplan 82](#_Toc159681268)

[11.5 Projektkosten 82](#_Toc159681269)

[11.6 Projekttagebuch 82](#_Toc159681270)

[12 Quellen 83](#_Toc159681271)

[12.1 Gedruckte Medien 83](#_Toc159681272)

[12.2 Online 83](#_Toc159681273)

[13 Verzeichnis der Abbildungen 84](#_Toc159681274)

[14 Begleitprotokoll 85](#_Toc159681275)

[15 Anhang 86](#_Toc159681276)

[15.1 — Projektdokumentation (Kostendarstellung, Besprechungsprotokolle etc.) 86](#_Toc159681277)

[15.2 — Technische Dokumentation (technische Beschreibungen, Berechnungen, 86](#_Toc159681278)

[15.3 Konstruktionszeichnungen, Versuchsberichte, betriebswirtschaftliche Kalkulationen etc.) 86](#_Toc159681279)

[15.4 Schaltungen, Zeichnungssätze, sonstiges 86](#_Toc159681280)

# Einleitung

## Projektziel

## Gesamtüberblick

# Grundlagen Drohnenflug

## Inertial Measurement Unit (IMU)

### Gyroskop

### Accelerometer

### Magnetometer

### Barometer

## Lagewinkel

### Throttle

Throttle beschreibt die Geschwindigkeit aller vier Motoren. Ein anderer Begriff für Throttle ist der Motorschub. Bei der Angabe von zum Beispiel 80% Throttle ist gemeint, dass alle Motoren sich mit 80% Geschwindigkeit drehen. Wenn der Wert hoch ist, fliegt die Drohne nach oben. Bei einem niedrigen Wert fliegt die Drohne nach unten.

Die Motoren und Propellern müssen genug Schub erzeugen, damit das Gesamtgewicht der Drohne angehoben und manövriert werden kann. Die Throttleangabe ist vor allem wichtig bei einem Hover-Modus. Dabei regelt der Quadrokopter die einzelnen Geschwindigkeiten der Motoren, um sich selber aufrecht zu halten.

### Pitch

Bei Pitch handelt es sich um den Neigungswinkel nach vorne und hinten, wenn die Drohne von hinten angeschaut wird. Mit der Angabe vom Pitch kann der Quadrokopter nach vorne und nach hinten gelenkt werden.

Bild Drohne mit Pitch winkel

Vielleicht mehr physikalisch erklären

### Roll

Bei Roll handelt es sich um den Neigungswinkel nach rechts und links, wenn die Drohne von hinten angeschaut wird. Mit der Angabe vom Roll kann der Quadrokopter nach rechts und links gesteuert werden.

Bild Drohne mit Roll winkel

Vielleicht mehr physikalisch erklären

### Yaw

Bei Yaw handelt es sich um die Drehung um die eigene Achse nach links oder rechts. Mit der Angabe vom Yaw kann der Quadrokopter nach links und rechts drehen.

Bild Drohne mit Yaw winkel

Vielleicht mehr physikalisch erklären

### Komplementärfilter

Der Komplementärfilter hat die Aufgabe die Messwerte von einen Beschleunigungssensor und Gyroskop in Lagewinkel umzuwandeln.

**Accelerometer Winkel**:

Durch die Kombination der terrestrischen Gravitation und Trigonometrie ermöglicht es die Accelerometer-Werte in Neigungswinkel umzuwandeln:

accelerometerPitch/Roll … jeweiliger berechneter Winkel in Radiant (rad)

accelerometerX/Y/Z … Accelerometer Messwert der jeweiligen Achse in g (Erdbeschleunigung, ungefähr 9,81m/s²)

Der Yaw-Winkel kann nicht berechnet werden, da die Yaw-Bewegung in der Ebene, um die Z-Achse, stattfindet und daher unabhängig von dem Werten der X- und Y-Achse ist.

Im Gegensatz zum Gyroskop besitzt ein Accelerometer keinen Drift in der Messung und kann daher für längerfristige Messungen verwendet werden.

Für den Filter wird der berechnete Winkel in Grad, statt Radiant, benötigt. Daher müssen die Ergebnisse mit einem Faktor von multipliziert werden.

Problem:

Wenn der Accelerometer bewegt wirkt, kann dieser nicht zwischen den Bewegungsbeschleunigungen und der Erdbeschleunigung unterscheiden und liefert daher verfälschte Werte.

**Gyroskop Winkel**:

Durch die Integration der Winkelbeschleunigungswerte über der Zeit ist es möglich Lagewinkel zu bestimmen:

gyroscopePitch/Roll/Yaw … jeweiliger berechneter Winkel in Radianten (rad)

gyroscopeX/Y/Z … Gyroskop Messwert der jeweiligen Achse in Grad pro Sekunde (°/s)

dt … Zeitbereich in Sekunden (s)

Problem:

Durch die Integration werden Messungenauigkeit aufsummiert, die zu einen Wertedrift führen. Daher kann das Gyroskop nur für kurzfristige Messungen verwendet werden.

**Sensorfusion**:

Der Komplementärfilter kann als Kombination von zwei Filter gesehen werden: Ein Hochpassfilter für das Gyroskop und einen Tiefpassfilter für den Accelerometer.

Das Accelerometer liefert eine gute Indikation der Orientierung bei konstanten Bedingungen und das Gyroskop liefert eine gute Indikation bei schnellen Neigungsänderungen.

Winkel … Pitch/Roll-Winkel in Grad (°)

α … Filterkoeffizient

gyroscopeData … Gyroskop Messwerte der jeweiligen Achse in Grad pro Sekunde (°/s)

dt … Abtastzeit in Sekunden (s)

accelerometerWinkel … berechneter Roll/Pitch nur mit Accelerometerdaten in Grad (°)

Der Wert für α ist typischerweise 0,98. Das bedeutet, dass die Gyroskop-Messung zu 98% und die Accelerometer-Messung zu 2% gewichtet wird. Daraus folgt:

Dadurch, dass mit dem Accelerometer kein Yaw-Winkel bestimmt werden kann, wird der Winkel nur mit dem Gyroskop berechnet. Wegen dem Gyroskop-Drift wird dieser Winkel über die Zeit immer ungenauer und muss für einen genauen Wert nach einer Zeit zurückgesetzt werden.

## PID-Regler

Im Allgemeinen wird zwischen einer Steuerung und einer Regelung unterschieden. Bei einer Steuerung wird der Sollwert direkt in einen Steuerungsalgorithmus geleitet, der immer nach demselben Schema abläuft. Bei einer Regelung wird der Istwert des Systems rückgekoppelt und mit dem Sollwert verglichen. Dieser Vergleich ergibt eine Regelabweichung, die das in den Regelalgorithmus geleitet wird. Das Ziel einer Regelung ist, die Regelabweichung zu verschwinden zu bringen – Soll- und Istwert auf denselben Wert regeln.

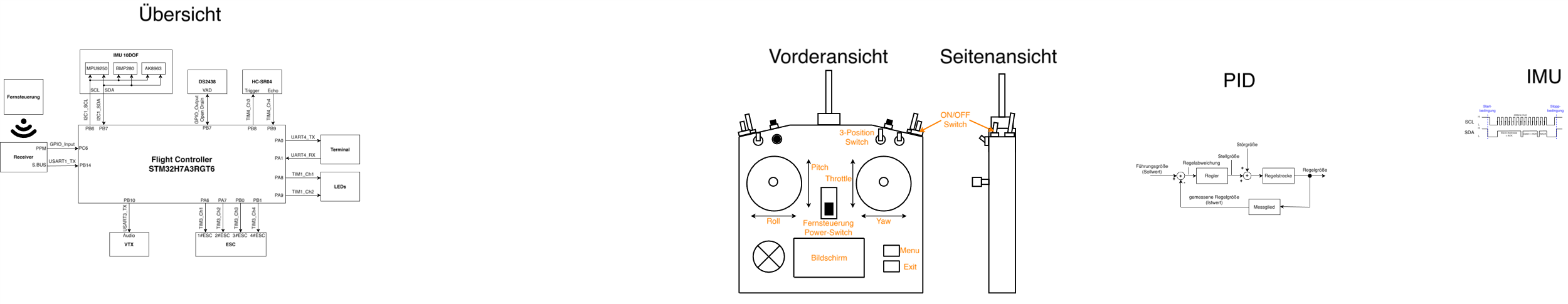


Abbildung 1: Regler-Blockschaltbild

Führungsgröße … eingestellter Sollwert, der vom Regler erreicht werden soll

Regelabweichung … Differenz zwischen Führungsgröße und gemessener Regelgröße

Regler … wandelt Regelabweichung in Stellgröße um

Stellgröße …

Störgröße … externe Einflüsse, die die Stellgröße beeinflussen

Regelstrecke … wandelt Stellgröße in die Regelgröße um

Regelgröße … gemessener Istwert, meistens durch Sensoren bestimmt

Es gibt verschiedene Arten für Regler, die für unterschiedliche Anwendungen Vor- und Nachteile liefern. Für den Quadrokopter wurde ein PID-Regler verwendet. Dieser hält während des Fluges die Drohne stabil. Bei Störgrößen, wie zum Beispiel Windstößen, soll die Drohne sich automatisch wieder in die richtige Lage ausrichten, um einen stabilen Flug zu gewährleisten.

Ein PID-Regler besteht aus drei verschiedenen Gliedern (Proportional-, Integral-, Differenzialglied), die unterschiedliche Aufgaben erfüllen und Funktionsweisen aufweisen:

### Proportionalglied (P-Glied)

Das Proportionalglied setzt das Ausgangssignal proportional zum Eingangssignal.

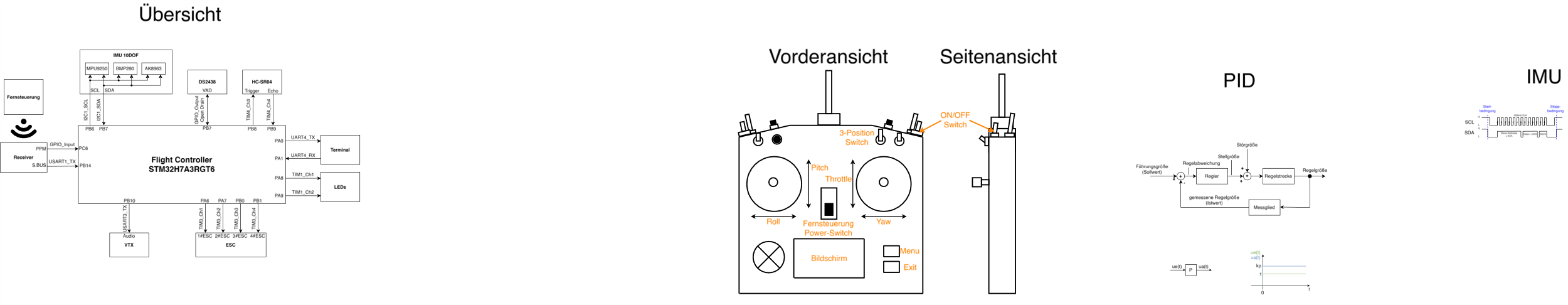


Abbildung 2: P-Glied Sprungantwort

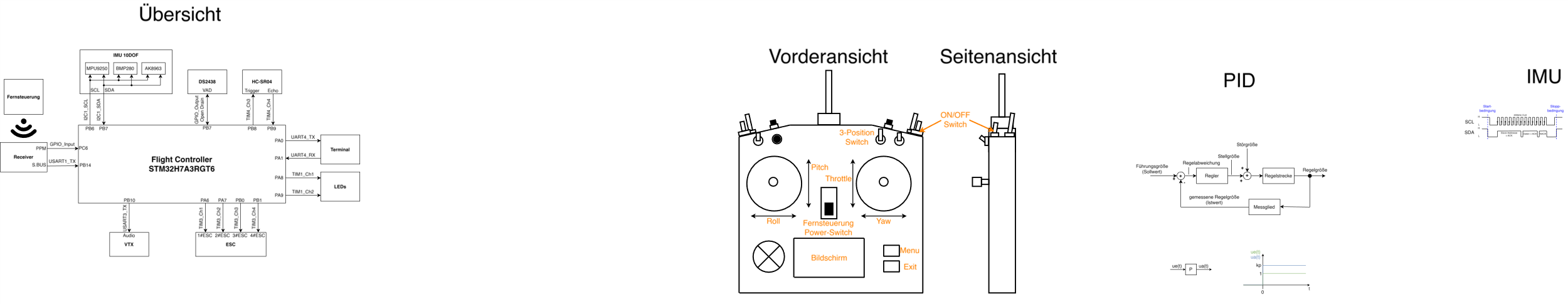


Abbildung 3: P-Glied Schaltsymbol

**Vor- und Nachteile:**

### Integralglied (I-Glied)

Das Integralglied setzt das Ausgangssignal zum Integral vom Eingangssignal.

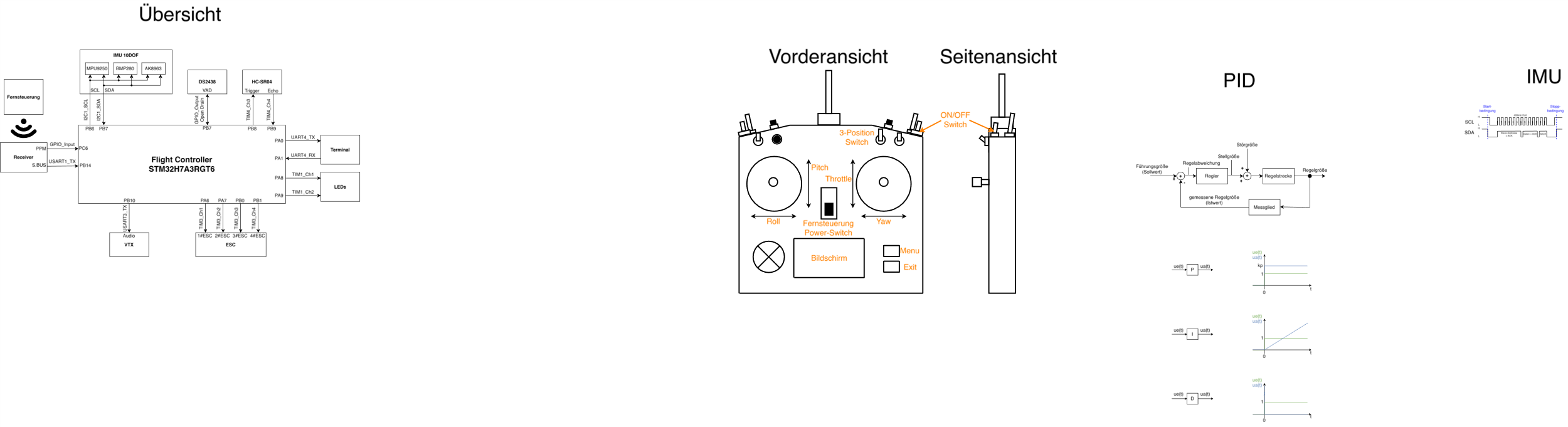


Abbildung 4: I-Glied Schaltsymbol

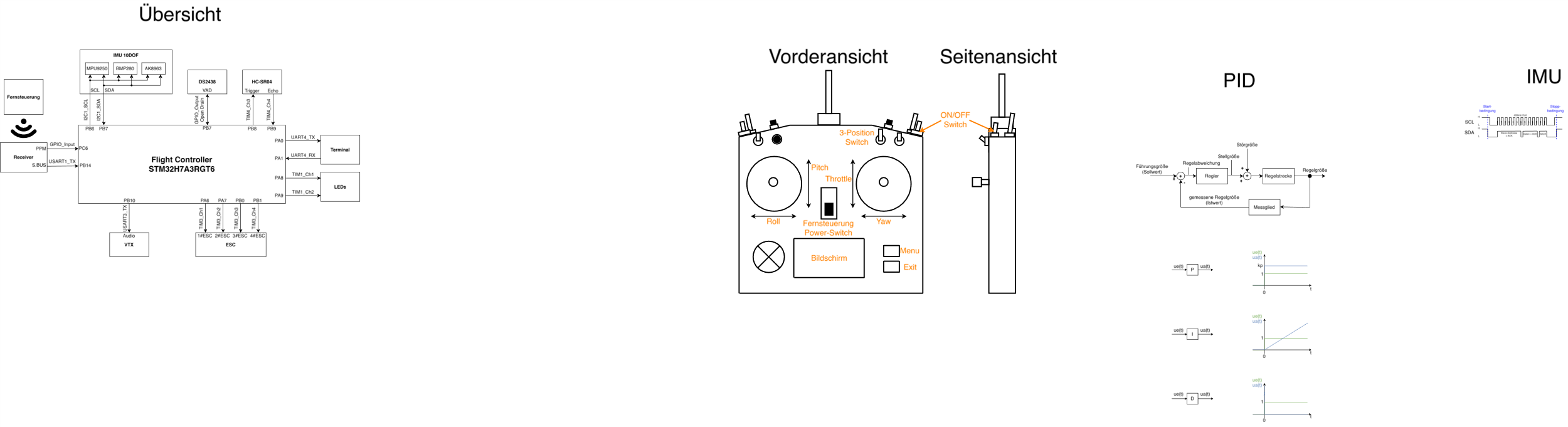


Abbildung 5: I-Glied Sprungantwort

**Vor- und Nachteile:**

### Differenzialglied (D-Glied)

Das Differenzialglied setzt das Ausgangssignal zur momentanen Änderung des Eingangssignals.

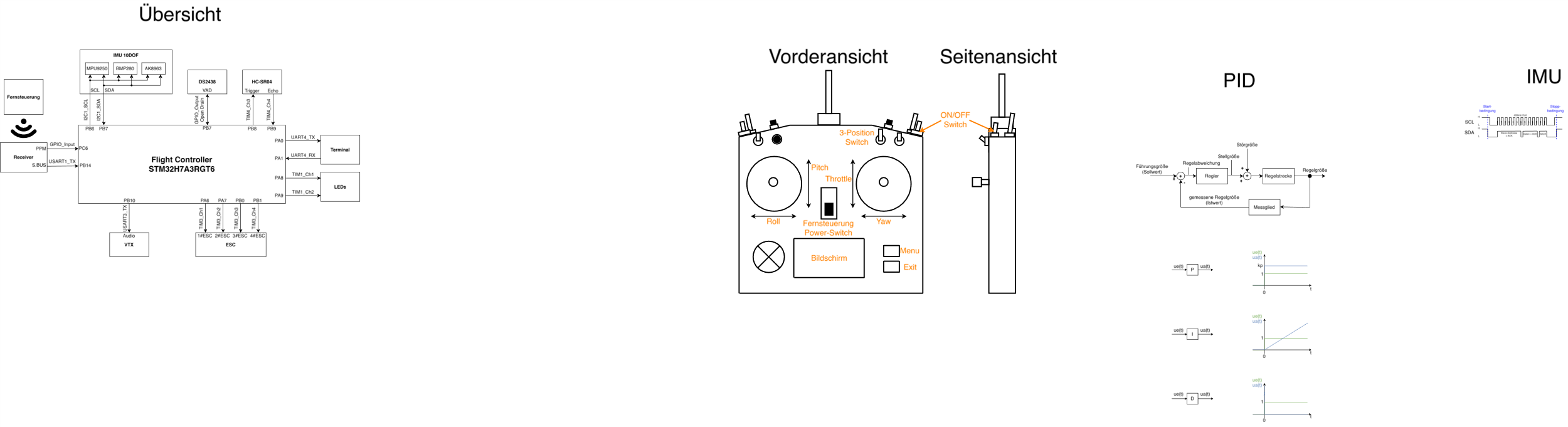


Abbildung 6: D-Glied Sprungantwort

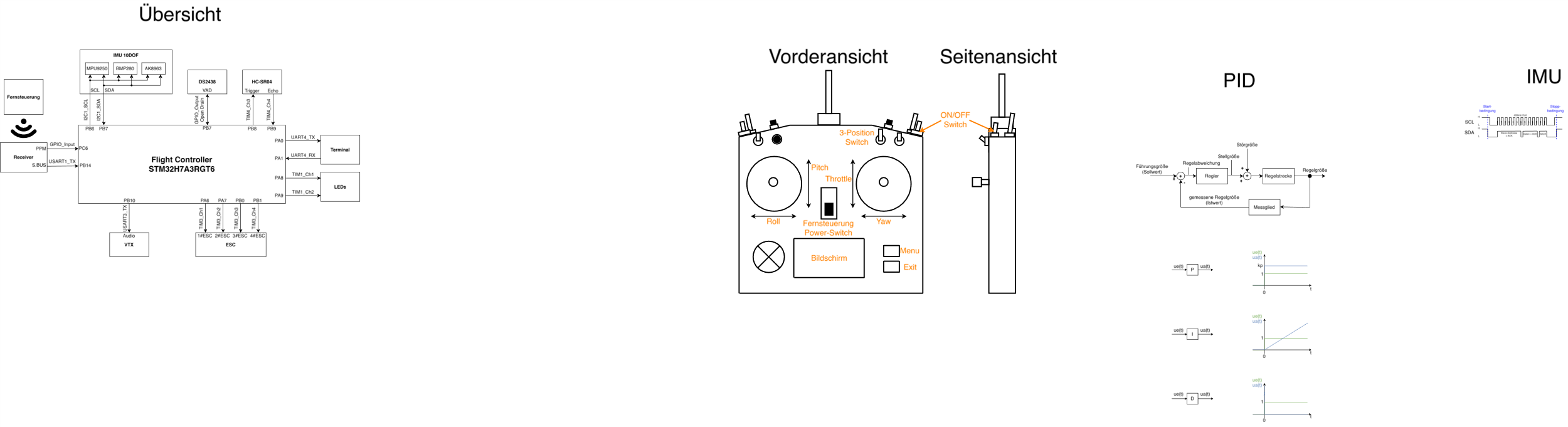


Abbildung 7: D-Glied Schaltsymbol

**Vor- und Nachteile:**

### PID-Regler

Der PID-Regler kombiniert alle Ausgangssignale der einzelnen Glieder.

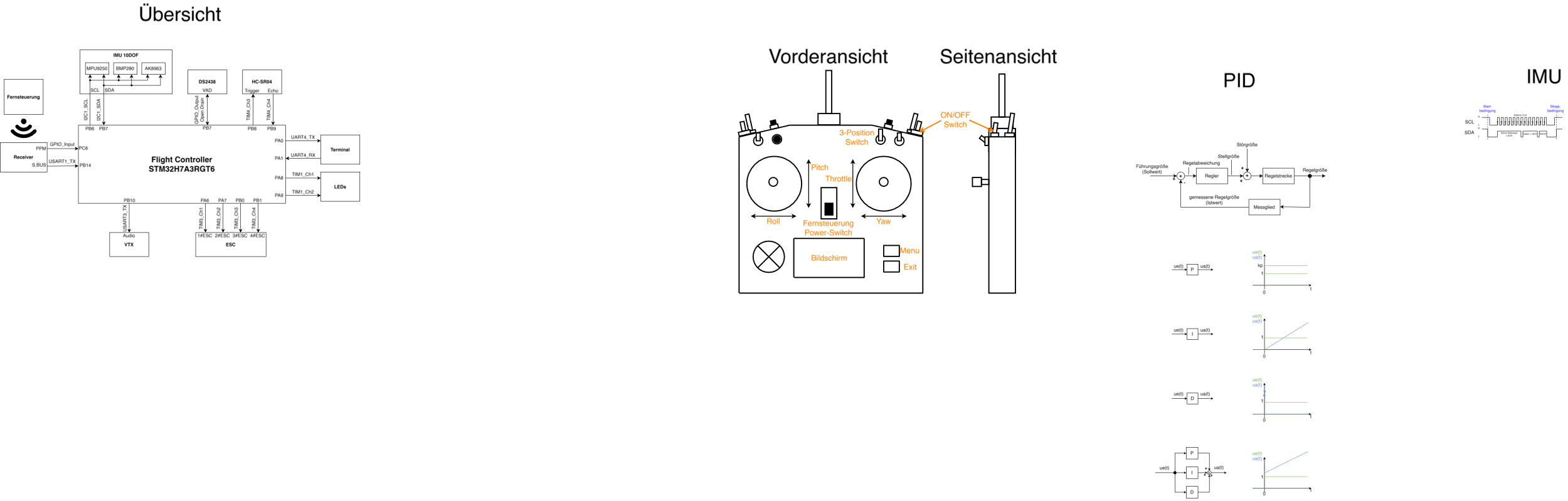


Abbildung 8: PID-Regler Schaltsymbol

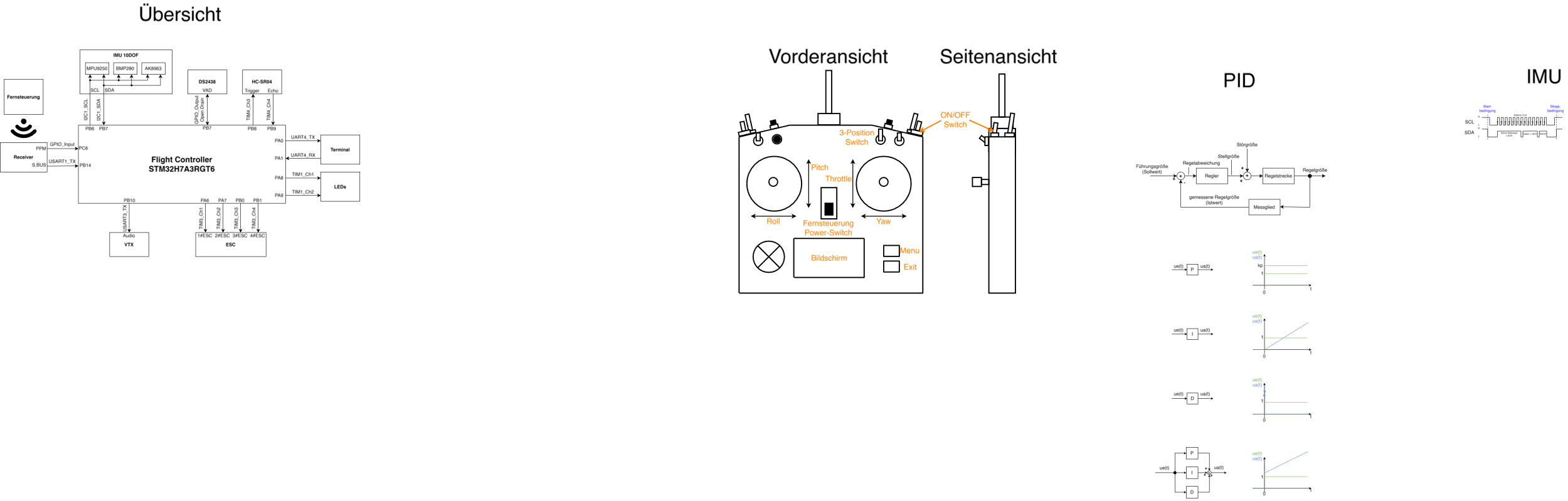


Abbildung 9: PID-Regler Sprungantwort

**Vor- und Nachteile:**

# Mechanischer Aufbau

### FPV – Drohne Gesamtaufbau

### 3D – Modelle

#### Propellerschutz

#### Groundstation

# Elektronik FPV-Drohne (BIE)

## Allgemeines

### Grundlegendes Hardwarekonzept

### Anforderungen

### Komponentenauswahl

## Flight Controller

### Allgemeines

### Spannungsversorgungskonzept

### Mikrocontroller

### Altium PCB Design

### Pinbelegung

## Electronic Speed Controller (ESC)

### Übersicht

### Aufbau

### Funktionsweise

### Technische Daten

## Motoren

### Übersicht

### Aufbau

### Funktionsweise

### Technische Daten

## Receiver Fernsteuerung

### Übersicht

### Funktionsweise

### Technische Daten

## Video Transmitter (VTx)

### Übersicht

### Funktionsweise

### Technische Daten

## Live Kamera

### Übersicht

### Funktionsweise

### Technische Daten

## VR-Brille

### Übersicht

### Funktionsweise

# Steuerungssoftware

## Einführung Entwicklungsumgebung

Um den Mikroprozessor STM32H7A3RGT6 auf der Flight-Controller Platine zu programmieren, wird die Entwicklungsumgebung Keil µVision5 in der Version V5.38.0.0 in Kombination mit STM32CubeMX in der Version 6.10.0 und Vision Studio Code verwendet. Programmiert wird dieser mithilfe eines DAPLink (CMSIS-DAP) – Interface über die SWD-Schnittstelle.

Mit STM32CubeMX können die Grundeinstellungen des Mikrocontrollers, wie die Peripherie- und Taktversorgungseinstellungen, mit einer grafischen Oberfläche einfach getätigt und automatisch eine Initialisierungssoftware in der Programmiersprache C generiert werden. Diese Software wird mithilfe von HAL (hardware abstraction layer) erstellt. Dieser bietet eine Menge APIs, die es ermöglichen mit einfachen Funktionen komplexe Befehle und Einstellungen in einen STM32 Mikrocontroller zu tätigen.

Vllt Bild von HAL in welchen Beziehungen die Layer stehen

**STM32CubeMX Projekt erstellen:**

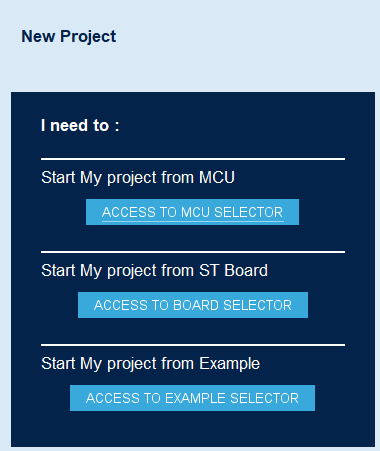


Abbildung 10: STM32CubeMX access to MCU selector

Nach dem Starten von der Software muss der zu programmierende Mikrocontroller ausgewählt werden.

Bei vorgefertigten Entwicklungsplatinen, kann „access to board selector“ oder „access to example selector“ verwendet werden.

Für die Diplomarbeit wird eine eigenerstellte Platine mit Mikrocontroller verwendet, daher wird die Option „access to MCU selector“ verwendet.

Nach der Auswahl werden die aktuellen Informationen der Mikrocontroller und Entwicklungsplatinen von der STM32 Datenbank runtergeladen.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Zahl, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 11: STM32CubeMX Liste von Mikrocontroller

Von einer Menge von Filtern und Suchfiltern kann der gewünschte Mikrocontroller ausgewählt werden. Bevor das Projekt erstellt wird, können die Eigenschaften der Auswahl kontrolliert. Um das Projekt zu erstellen, muss der Knopf „Start Project“ gedrückt werden.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Software enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 12: STM32CubeMX Auswahl Mikrocontroller

Mit der grafischen Oberfläche können die gewünschten Peripherie-, Pin-, Takt- und Projekteinstellungen getätigt werden.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Multimedia-Software enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 13: STM32CubeMX grafische Oberfläche

Um die effizienteste Programmstruktur für die Diplomarbeit zu erstellen, müssen wichtige Eistellungen getätigt werden.

Als Erstes muss die Taktquelle ausgewählt werden. Da externe Quarzoszillatoren verwendet werden, muss in der Kategorie RCC für „High Speed Clock (HSE)“ und „Low Speed Clock (LSE)“ die Einstellung „Crystal/Ceramic Resonator“ ausgewählt werden.

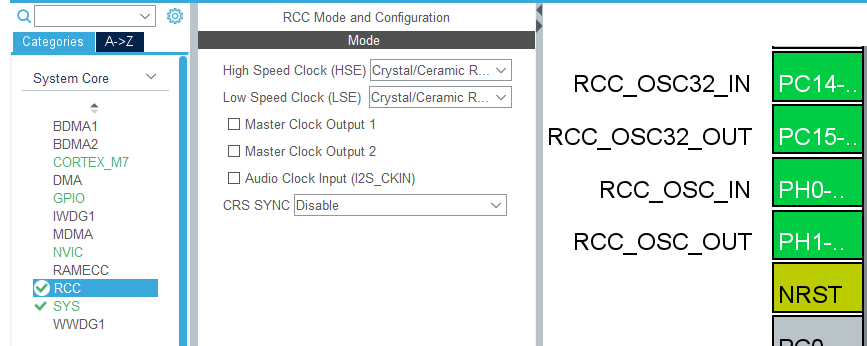


Abbildung 14: STM32CubeMX HSE/LSE Einstellung

Mit der Clock Configuration können die genauen Takteinstellungen getätigt werden.

Ein Bild, das Diagramm, Text, Reihe, Plan enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 15: STM32CubeMX clock configuration

Wichtig: Wenn externe Oszillatoren verwendet werden, muss auf der linken Seite, die Einstellung „Input frequency“ auf die vorhandene Frequenz gesetzt werden.

Für die Diplomarbeit wird ein 8MHz Quarz Oszillator, der auf eine Systemfrequenz von 279MHz erhöht wird, verwendet.

Um den genierten Code mit der Keil µVision5 Entwicklungsumgebung verwenden zu können, müssen unter Project Manager gewisse Einstellungen getätigt werden:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Reihe, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 16: STM32CubeMX project settings

Eine für die Drohne notwendige Einstellung ist unter Project Manager 🡪 Advanced Settings 🡪 Register Callback. In diesen Bereich können für einzelne Peripherien eigenerstellte Callback-Funktionen aktiviert werden.



Abbildung 17: STM32CubeMX register callback

Für die FPV-Drohne ist die Einstellung für die TIM-, UART- und USART-Peripherie aktiviert werden.

Eine Callback-Funktion wird beim Auslösen eines Interrupts von der ISR (Interrupt Service Routine) ausgelöst.

Zum Beispiel: *void HAL\_TIM\_PeriodElapsedCallback (TIM\_HandleTypeDef \* htim)* wird jedes Mal ausgeführt, wenn eine Timer-Peripherie einen Überlauf-Interrupt auslöst. Diese Funktion ist in der Datei *stm32h7xx\_hal\_tim.c* mit dem Präfix *\_\_weak* definiert. Das bedeutet, wenn die Funktion in einer anderen Datei ausprogrammiert wird, diese mit der neuen Version ersetzt wird.

Die Einstellung von Register Callback erlaubt es die Funktion mit einer eigenen zu ersetzen. Dafür muss die Funktion *HAL\_TIM\_RegisterCallback()* aufgerufen werden.

Zum Beispiel:

|  |
| --- |
| HAL\_TIM\_RegisterCallback(&htim15, HAL\_TIM\_PERIOD\_ELAPSED\_CB\_ID, RealTimeSystemCallback); |

Von der Timer15-Peripherie wird das Überlauf-Interrupt-Callback mit der Funktion *RealTimeSystemCallback()* ersetzt.

Nach der fertigen Einstellung des Projekts, können die Programmdateien mit dem Knopf „Generate Code“ erstellt werden. Daraufhin wird folgende Ordnerstruktur erstellt:

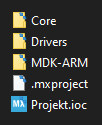


Abbildung 18: STM32CubeMX Ordnerstruktur

* Core: alle Programm- und Headerdateien
* Drivers: alle HAL-Dateien, die für das Projekt notwendig sind
* MDK-ARM: Keil µVision5 Projektdateien

**Keil µVision5 Einstellungen:**

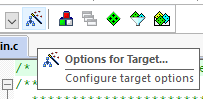


Abbildung 19: µVision Zauberstab

Die Einstellungen des Projekts können mit dem Zauberstab „Options for Target…“ eingestellt werden.

Die wichtigsten Einstellungen sind die Target- und Debug-Einstellungen:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Display, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 20: µVision Target Einstellungen

Ein Bild, das Text, Screenshot, Zahl, Display enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 21: µVision Debug Einstellungen

Für die Diplomarbeit wird der default compiler version 6 und der CMSUS-Dap Debugger verwendet.

Das von STM32CubeMX erstellte Programm, muss nicht geändert werden und eigener Code soll zwischen den Kommentaren „USER CODE BEGIN“ und „USER CODE END“ eingefügt werden, damit wenn neuer Code generiert wird, der eigene nicht überschrieben wird.

Um das Programm auf den Mikrocontroller zu spielen, müssen folgende Knöpfe verwendet werden:



Abbildung 22: µVision Build/Flash Knöpfe

## Softwarearchitektur

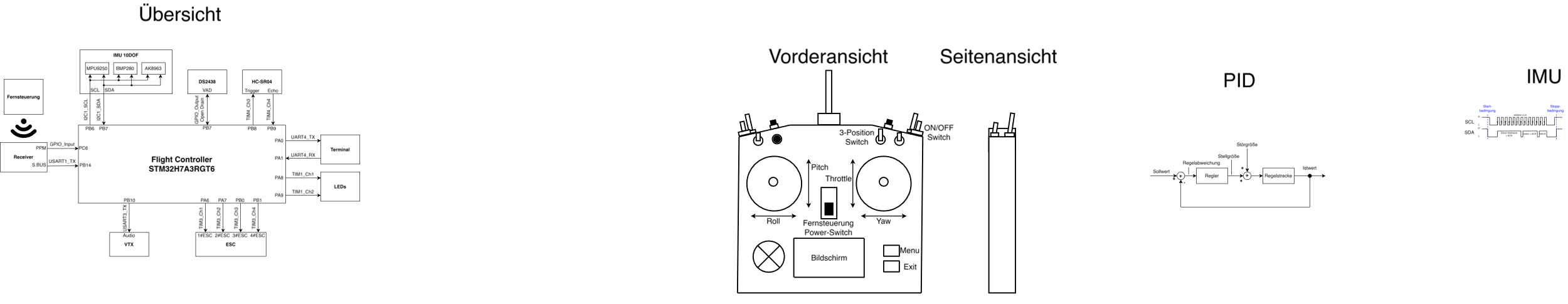


Abbildung 23: Softwarearchitektur Blockschaltbild

Die Software des Flight Controllers hat die Aufgabe die Daten der Fernsteuerung über einen Receiver und die Messwerte der Sensoren einzulesen und diese an die ESC, VTX, Status-LEDs und an ein Terminal zu senden.

Für die gesamte Pinbelegung des Flight-Controllers – *siehe Kapitel Marcel*

### Programmaufbau

Flussdiagramm Aufbau

Main Programm Ablauf

Real Time System Interrupt + Erklärung

## Fernsteuerung

Um eine FPV-Drohne steuern zu können, muss mindestens ein 4-Kanal Sender und Empfänger verwendet werden, um die gewünschten Steuerungsdaten, Throttle, Pitch, Roll und Yaw, zu senden. Mit weiteren Kanälen können zusätzliche Funktionen, wie zum Beispiel ON/OFF-Switch, realisiert werden.

Für das Projekt wurde der Turnigy 9X 9Ch Mode 2 Transmitter mit dem TGY-iA6C Receiver ausgewählt, da diese eine große Auswahl an Kanälen, Schalter und digitalen Signalausgang ermöglichen.

Bild Transmitter und Receiver

In der Abbildung 3 (Nummer ändert sich noch) wird die verwendete Tastenbelegung auf der Fernsteuerung dargestellt:



Abbildung 24: Fernsteuerung Tastenbelegung

Mit den zwei großen Joysticks kann die Drohne schon bedient werden. Für eine bessere Bedienung wird zusätzlich eine ON/OFF-Switch, der die Motoren der Drohne an- und ausschaltet, und ein 3-Position-Switch, womit man zwischen mehreren Flugmodi unterscheiden kann, verwendet. Um eine richtige Funktionalität der Schalter zur gewährleisten - [*siehe: 5.3.1 Konfiguration Fernsteuerung*](#_Konfiguration_Fernsteuerung)

Wenn der ON/OFF-Switch nach unten zeigt, dann ist die Drohne aus und die Motoren hören auf sich zu drehen. Wenn der Schalter nach oben zeigt, wirkt der 3-Position-Switch als Modus Auswahl.

In der oberen Stellung befindet sich die Drohne im „Safe-Mode“. Das bedeutet, dass der Throttle-Wert, der zur ESC geschickt wird, begrenzt wird.

In der mittleren Stellung schaltet man den „Normal-Mode“ ein. Dieser Modus verhält sich gleich, wie der „Safe-Mode“, nur erlaubt er eine schnellere Motordrehzahl.

Die untere Position stellt einen Hover-Mode ein. Die Drohne versucht jetzt sich selber gerade zu halten, ohne abzustützen.

Genauere Informationen und Grenzwerte: *(siehe: Motoransteuerung und Hovermodus)*

Wichtig:

Wenn die Versorgungsspannung der Fernsteuerung weniger als 8,5V beträgt, beginnt ein Buzzer alle 5 Sekunden den Benutzer zu alarmieren. Die aktuelle Spannung kann auf dem Bildschirm der Fernsteuerung überprüft werden.

**Switch Error:**

Beim Starten der Fernsteuerung, kann es vorkommen, dass am Bildschirm „switch-error!“ steht. Dieser Fehler wird angegeben, wenn die Schalter nicht auf ihrer High-Position sind. Das bedeutet beim Starten der Fernsteuerung, müssen alle Schalter nach oben zeigen, beziehungsweise die Schalter, die auf der Oberseite montiert worden sind, müssen nach hinten zeigen, wie in Abbildung 3 (Nummer ändert sich noch) dargestellt ist.

### Konfiguration Fernsteuerung

Damit die ausgewählte Fernsteuerung mit unserem System funktioniert, müssen grundlegende Vorbereitungen vor der Inbetriebnahme getroffen und kontrolliert werden.

**Verbindung mit Empfänger:**

Um die Verbindung zu testen, schalte die Fernsteuerung und den Receiver ein. Die eingebaute Status-LED des Receivers fängt schnell zum Blinken an. Wenn die LED nach ein paar Sekunden anfängt durchgehend zu leuchten, ist die Fernsteuerung mit dem Receiver verbunden.

Wenn dies nicht der Fall ist, muss die Fernsteuerung mit dem Receiver neu gekoppelt werden:

1. Schalte Fernsteuerung und Receiver aus
2. Halte den Bind-Knopf auf der Rückseite der Fernsteuerung, während diese angeschaltet wird
3. Schalte den Receiver ein
4. Warte, bis die Status-LED auf dem Receiver durchgehend leuchtet
5. Lasse den Bind-Knopf los und starte die Fernsteuerung neu, um die Koppelung zu testen

**Einstellungen in Fernsteuerung:**

Damit die Signale richtig von der Flugsoftware interpretiert werden können, müssen folgende Einstellungen in der Fernsteuerung getroffen werden:

Beim längeren gedrückt halten der MENU-Taste wird eine Auswahl zwischen „System Setting“ und „Function Setting“ angezeigt.

|  |  |
| --- | --- |
| **System Setting** | |
| Type Select | ACRO |
| Modeuat | PPM |
| Stick Set | MODEL 1 |
| Output Select | PPM s-BUS |

Die dargestellten Einstellungen sind die empfohlenen Werte. Die Einstellungen Stick Set und Output Select kann vom Benutzer in der Software festgelegt werden *(siehe: Stick Set Änderung und Output Select Änderung)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Function Setting** | | |
| AUX-CH  (für ON/OFF Switch) | CH5 Gear | |
| PROG. MIX  (für 3-Position-Switch) | MIX1 | STATE: ACT  MASTER: GYR  SLAVE: FLP  OFFSET: 000  UPRATE: -100  DNRATE: 100  SW: NOR |
| MIX2 | STATE: ACT  MASTER: GYR  SLAVE: FLP  OFFSET: 000  UPRATE: 000  DNRATE: 000  SW: ID1 |
| MIX3 | STATE: ACT  MASTER: GYR  SLAVE: FLP  OFFSET: 000  UPRATE: 100  DNRATE: -100  SW: ID2 |
| DISPLAY | Kontrolle der Kanal-Ausgänge | |

### Unterstützte Protokolle

Der Receiver unterstützt eine parallele digitale und analoge Signalausgabe. Ein Pin gibt immer ein PPM-Signal aus, während der andere Pin entweder ein S.Bus oder I.Bus Signal ausgibt. Die Ausgabe kann in den Fernsteuerungseinstellungen festgelegt werden. *(*[*siehe: 5.3.1 Konfiguration*](#_Konfiguration)*)*

#### PPM

Das PPM-Signal ist das einzige analoge Signal, das der Receiver ausgibt. Die Daten werden mit der Timer-Peripherie eingelesen, indem die Länge des high-Pegels bestimmt wird. Die Daten kommen in 12ms langen Paketen mit einer 8,1ms high-aktiven Ruhezustand. Die Daten befinden sich in den Bereich 0,5ms bis 1,5ms.

Bild wie es ausschaut

Dadurch, dass die digitalen Protokolle um ein Vielfaches schneller und nicht sehr fehleranfällig sind, unterstützt die Steuerungssoftware das PPM-Protokoll nicht. Das PPM-Signal wird nur bei der Initialisierung für einen Verbindungstest mit GPIO-Input und nicht für das Fliegen der Drohne verwendet.

#### S.Bus

Das S.Bus-Protokoll ist das empfohlene Protokoll für die Benutzung der Drohne. Es handelt sich um ein digitales Protokoll, das mittels der UART-Peripherie eingelesen wird. Das Protokoll ist schneller als das analoge Protokoll PPM und weniger fehleranfällig als das I.Bus-Protokoll, da das Signal invertiert ist. Die Datenpakete werden kontinuierlich gesendet, sind ungefähr 3ms lang und besitzen einen ungefähr 4,7ms langen low-aktiven Ruhezustand. Der digitale Wertebereich befindet sich zwischen 350 und 1680.

**UART-Konfiguration in STM32CubeMX**:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Webseite enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 25: STM32CubeMX Einstellungen S.Bus

Die wichtigsten UART-Einstellungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

|  |  |
| --- | --- |
| **Einstellung** | **Wert** |
| Mode | Single Wire (Half-Duplex) |
| Baud Rate | 10000 Bits/s |
| Word Length | 9 Bits (including Parity) |
| Parity | Even |
| Stop Bits | 2 |
| RX Pin Active Level Inversion | Enable |

**Protokolldaten:**

Das S.Bus Protokoll besteht aus 25 Bytes:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Byte[0] | S.Bus header, 0x0F | | | |
| Byte[1…22] | Daten, 16 Kanäle | | | |
| Byte[23] | Bit[0] (0x01)  Kanal 17 | Bit[1] (0x02)  Kanal 18 | Bit[2] (0x04)  Frame Lost Flag | Bit[3] (0x08)  Failsafe Flag |
| Byte[24] | S.Bus footer, 0x00 | | | |

Die Bytes[1…22] beinhalten die Daten der einzelnen Kanäle. Jeder Kanal besteht aus 11 Bits, die nacheinander gesendet werden, wobei die ersten Bits des Kanals den niedrigsten Stellenwert haben.

Beispiel für eine Dekodierung:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Byte** | 0 | 1 | 2 | 3 | … | 23 | 24 |
| **Daten**  header  0b001 0011 0001  Kanal 1  0b001 1001 0001  Kanal 2  flags  footer | 0x0F | 0b00110001 | 0b00110001 | 0b00110001 | … | 0b00000000 | 0x00 |

#### I.Bus

Das I.Bus-Protokoll ist das zweite digitale Protokoll, welches der Receiver ausgeben kann. Die Daten werden über die UART-Peripherie eingelesen. Die Datenpakete werden kontinuierlich gesendet, sind ungefähr 3ms lang und besitzen einen ungefähr 4,7ms langen high-aktiven Ruhezustand. Im Gegensatz zum S.Bus Protokoll kann mit I.Bus keine Signalverlust festgestellt werden, da dieses keine Flags besitzt. Der digitale Werteberiech befindet zwischen 1070 und 1920.

**UART-Konfiguration in STM32CubeMX**:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Computersymbol enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 26: STM32CubeMX Einstellungen I.Bus

Die wichtigsten UART-Einstellungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

|  |  |
| --- | --- |
| **Einstellung** | **Wert** |
| Mode | Single Wire (Half-Duplex) |
| Baud Rate | 115200 Bits/s |
| Word Length | 8 Bits (including Parity) |
| Parity | None |
| Stop Bits | 1 |
| RX Pin Active Level Inversion | Disable |

**Protokolldaten:**

Das I.Bus Protokoll besteht aus 32 Bytes:

|  |  |
| --- | --- |
| Byte[0] | Protokolllänge, 0x20 |
| Byte[1] | Command Code, 0x40 |
| Byte[2…29] | Daten, 14 Kanäle |
| Byte[30…31] | Checksumme |

Die Bytes[2…29] beinhalten die Daten der einzelnen Kanäle. Jeder Kanal besteht aus 2 Bytes, welche in der little-endian-byte-order geschickt werden. Die Checksumme besteht auch aus 2 Byte, welche in der little-endian-byte-order gesendet werden. Die Checksumme berechnet sich aus 0xFFFF weniger der Summe der ersten 30 Bytes.

Beispiel für die Dekodierung:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Byte** | 0 | 1 | 2 | 3 | … | 30 | 31 |
| **Daten**  Protokolllänge  Command Code  0x05DC  Kanal 1  0x3412  Checksumme | 0x20 | 0x40 | 0xDC | 0x05 | … | 0x12 | 0x34 |

Beispiel Checksumme:

### Initialisierung der Empfangssoftware

Receiver\_Init() Programm

Erklärung von Receiver\_IBusFailsafeCheck()

### Empfangssoftware

Receiver\_Decode() Programm

Receiver\_ConvertInput() Programm

## Inertial Measurement Unit (IMU)

Eine Inertial Measurement Unit (IMU) ist ein Sammelbegriff für alle Sensoren, die die Kräfte auf einen Körper messen. Typischerweise besteht ein IMU aus einem Gyroskop und einen Beschleunigungsmesser / Accelerometer. Manchmal sind weitere Sensoren, wie ein Kompass / Magnetometer und ein Luftdrucksensor / Barometer zusätzlich vorhanden.

Der Sensor wird meistens mit dem Begriff „Degrees of freedom / DOF“ beschrieben. Dieser Parameter gibt an, wie viele Achsen der Sensor messen kann.

Das heißt, dass zum Beispiel ein 6DOF-IMU, der aus einem Gyroskop und einen Accelerometer besteht, um sechs Achsen messen kann – zwei Mal um die x-, y- und z-Achsen (jeder Sensor jeweils einmal).

Für die FPV-Drohne wird ein 10DOF-IMU mit einem Gyroskop, Accelerometer, Barometer und Magnetometer verwendet, die auf dem IMU-Breakout vorhanden sind. Mit diesen Sensoren wird der Lagewinkel, die Flughöhe und Parameter für einen PID-Regler bestimmt.

### I²C Protokoll

Das IMU-Breakout auf der FPV-Drohne kann nur mit dem I²C-Protokoll angesprochen werden. Dieses Protokoll besteht aus drei Leitungen: SDA (Datenleitung), SCL (Taktleitung) und GND und basiert auf dem Master-Slave-Prinzip.

Um die Datenübertragung zu starten, muss eine Startbedingung erfüllt werden: während die SCL-Leitung im high-Ruhezustand ist, wechselt die SDA-Leitung auf einen low-Zustand.

Nach der Startbedingung schickt der Master im System (Flight Controller) ein 400kHz Rechtecksignal mit einen Duty Cycle von 50% auf die SCL-Leitung. Zuerst wird auf der SDA-Leitung wird die I²C-Addresse des I²C-Slaves geschickt. Danach werden gleichzeitig die Daten gesendet beziehungsweise empfangen und bei einer steigenden Flanke der SCL-Leitung interpretiert. Nach jedem Datenbyte schickt der Empfänger der Daten ein Acknowledge-Bit (ACK / 0), um den Empfang der Daten zu bestätigen. Wenn das Acknowledge-Bit einen high-Pegel hat (not Acknowledge, NACK), kam bei der Übertragung ein Fehler auf.

Am Ende jeder Übertragung wird ein not-Acknowledge-Bit (NACK / 1) empfangen. Darauf folgt eine Stoppbedingung, die eine zeitlich invertierte Startbedingung ist. Während die SCL-Leitung sich in den high-Ruhezustand befindet, wechselt die SDA-Leitung von einen low-Zustand auch in den high-Ruhezustand.

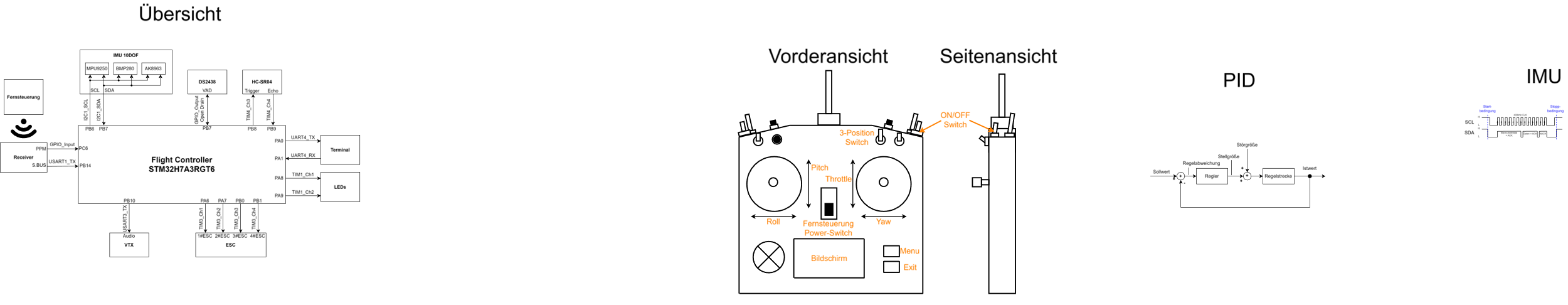


Abbildung 27: I²C Datentransfer

**I²C Einstellung in STM32CubeMX:**

Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Webseite enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 28: STM32CubeMX Einstellungen IMU

Um die schnellste Kommunikation mit dem IMU-Breakout festzulegen, muss die Einstellung *I2C Speed Mode* auf *Fast Mode* und *I2C Speed Frequency (KHz)* auf *400* gesetzt werden.

Um zwischen mehreren I²C Geräten zu unterscheiden, hat jedes Gerät eine eigene I²C-Adresse. Die Adresse besteht aus einer 7-Bit-Zahl. Bei Kommunikation mit Sensoren muss ein achtes Bit (R/W Bit) zur Adresse hinzugefügt werden, welches bei Schreibzyklen auf 0 gesetzt werden muss und bei Lesezyklen auf 1 gesetzt werden muss.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sensor** | **Slave Adressen + R/W Bit** | |
| **Schreiben** | **Lesen** |
| MPU9250 | 0xD0 | 0xD1 |
| BMP280 | 0xEE | 0xEF |
| AK8963 | 0x18 | 0x19 |

Damit mit den Sensoren des IMUs kommuniziert werden kann, müssen bestimmte Lese- und Schreibzyklen eingehalten werden:

**Schreibzyklus**:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 29: I²C Schreibzyklus

|  |  |
| --- | --- |
| **Signal** | **Beschreibung** |
| S | Startbedingung |
| AD+W | Slave-Adresse + Write Bit |
| ACK | Acknowledge Bit |
| RA | Register Adresse |
| P | Stoppbedingung |

Es können mehrere Byte direkt hintereinander geschickt werden. Dabei können beliebig viele Datenbyte mit Acknowledge-Bit vor der Stoppbedingung gesendet werden. Ein interner Zeiger erhöht die Register Adresse um eine Stelle pro Datenbyte.

**Schreiben zu IMU-Register**:

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function writes 1 byte to a register from the IMU   \* @param sensor MPU9250, AK8963 (MAG), BMP280 (BARO)   \* @param regAddr register address   \* @param data data to write   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_WriteRegister(IMU\_Sensor sensor, uint8\_t regAddr, uint8\_t data)  {      // determine the I2C device address      uint16\_t devAddress;      switch(sensor)      {          case MPU9250:              devAddress = IMU\_MPU\_I2C\_ADDR;              break;          case AK8963:              devAddress = IMU\_MAG\_I2C\_ADDR;              break;          case BMP280:              devAddress = IMU\_BARO\_I2C\_ADDR;              break;          default:              return IMU\_ADDRESS\_ERROR;      }      // read register(s)      HAL\_I2C\_Mem\_Write(imu\_ComI2C, devAddress, regAddr, I2C\_MEMADD\_SIZE\_8BIT, &data, 1, 1000);      return IMU\_OK;  } |

Die Funktion *HAL\_I2C\_Mem\_Write()* sendet automatisch die angegeben Daten und Befehle an den I²C-Peripheriebaustein, die für die Kommunikation notwendig sind.

**Lesezyklus:**

Ein Bild, das Text, Reihe, Screenshot, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 30: I²C Lesezyklus

|  |  |
| --- | --- |
| **Signal** | **Beschreibung** |
| S | Startbedingung |
| AD+W | Slave-Adresse + Write Bit |
| ACK | Acknowledge Bit |
| RA | Register Adresse |
| AD+R | Slave-Adresse + Read Bit |
| NACK | not Acknowledge Bit |
| P | Stoppbedingung |

Wie beim Schreibablauf können auch mehrere Byte direkt hintereinander eingelesen werden. Dabei wird die Kommunikation mit NACK vom Master im System beendet. Ein interner Zeiger erhöht die Register Adresse, um eine Stelle, pro Datenbyte.

**Lesen vom IMU-Register/n:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads an amount of bytes from registers from the IMU   \* @param sensor MPU9250, AK8963 (MAG), BMP280 (BARO)   \* @param regAddr register address   \* @param data data pointer   \* @param rxBytes amount of bytes to read   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_ReadRegister(IMU\_Sensor sensor, uint8\_t regAddr, uint8\_t \*data, uint8\_t rxBytes)  {      // determine the I2C device address      uint16\_t devAddress;      switch(sensor)      {          case MPU9250:              devAddress = IMU\_MPU\_I2C\_ADDR;              break;          case AK8963:              devAddress = IMU\_MAG\_I2C\_ADDR;              break;          case BMP280:              devAddress = IMU\_BARO\_I2C\_ADDR;              break;          default:              return IMU\_ADDRESS\_ERROR;      }      // read register(s)      HAL\_I2C\_Mem\_Read(imu\_ComI2C, devAddress, regAddr, I2C\_MEMADD\_SIZE\_8BIT, data, rxBytes, 1000);      return IMU\_OK;  } |

Die Funktion *HAL\_I2C\_Mem\_Read()* sendet automatisch die Befehle an den I²C-Peripheriebaustein, die für die Kommunikation notwendig sind und speichert die Daten in der angegeben Variable.

### IMU-Verbindungstest

Alle drei Sensoren haben ein Who Am I – Register. Diese Register haben festgelegte Werte, die nicht geändert werden können.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sensor** | **Who Am I Register Adresse** | **Registerinhalt** |
| MPU9250 | 0x75 | 0x71 |
| BMP280 | 0xD0 | 0x58 |
| AK8963 | 0x00 | 0x48 |

Mit der Funktion *IMU\_CheckConnection()* werden alle drei Sensoren auf diese Werte überprüft und wenn ein Wert nicht übereinstimmt, wird ein *IMU\_<Sensor>\_ADDRESS\_ERROR* ausgegeben.

**Verbindungstest aller IMU-Sensoren:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function checks the connection of all sensors on the IMU   \* @attention This function enables the bypass mode in the MPU9250   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_CheckConnection(void)  {      uint8\_t regVal[3] = {0x71, 0x48, 0x58};      uint8\_t regAddr[3] = {IMU\_MPU\_WHOAMI\_ADDR, IMU\_MAG\_WHOAMI\_ADDR, IMU\_BARO\_CHIPID\_ADDR};      uint8\_t sensor[3] = {MPU9250, MAG, BARO};      uint8\_t timeout;      uint8\_t data = 0x00;      for(uint8\_t i = 0; i < 3; i++)      {          timeout = 0;          while(data != regVal[i])          {              if(IMU\_ReadRegister(sensor[i], regAddr[i], &data, 1) != IMU\_OK)                  return IMU\_ADDRESS\_ERROR;              if(timeout++ > 100)                  return IMU\_MPU\_WHOAMI\_ERROR + i;          }          if(sensor[i] == MPU9250)          {              // enable bypass mode              if(IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_INT\_PIN\_CFG\_ADDR, 0x02) != IMU\_OK)                  return IMU\_ADDRESS\_ERROR;              IMU\_DelayUs(10000);          }      }      return IMU\_OK;  } |

Damit der Magnetometer und auf das Barometer zugegriffen werden kann, muss im MPU9250 im bypass enable Register das BYPASS\_EN – Bit gesetzt werden. Dadurch werden die I²C-Leitung durch den Sensor durchgeführt und auf den anderen Sensoren kann zugegriffen werden.

### Gyroskop und Accelerometer - MPU9250

#### Registerübersicht MPU9250

Bild von allen wichtigen Registern + vielleicht Beschreibung

#### Initialisierung Accelerometer und Gyroskop

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c | Ausschnitt aus IMU\_Init() Funktion |
| /\*\*   \* @brief This function initialzes the 10DOF IMU (accel, gyro, mag, baro)   \* @param imuInit pointer to IMU\_InitTypeDef   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_Init(IMU\_InitTypeDef \*imuInit)  {      ...      // reset MPU      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_PWR\_MGMT\_1\_ADDR, 0x00);      IMU\_DelayUs(10000);      // auto select best clk source      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_PWR\_MGMT\_1\_ADDR, 0x01);      // enable gyro and accel      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_PWR\_MGMT\_2\_ADDR, 0x00);      // select full scale range for gyro and accel      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_ACCEL\_CONFIG\_ADDR, imuInit->accelFS << 3);      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_GYRO\_CONFIG\_ADDR, imuInit->gyroFS << 3);        // select digital low pass filter for gyro and accel      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_ACCEL\_CONFIG\_2\_ADDR, imuInit->accelDLPF);      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_CONFIG\_ADDR, imuInit->gyroDLPF);        // select fastest sample rate      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_SMPLRT\_DIV\_ADDR, 0x00);      // calculate sensitivity scale factor (LSB/g and LSB/(°/s))      accelSens = IMU\_ACCEL\_RES\_MAX / (1 << imuInit->accelFS);      gyroSens = IMU\_GYRO\_RES\_MAX / (1 << imuInit->gyroFS);      // calibrate gyro      uint16\_t amount = 2000;      IMU\_RegCoordinates tempGyro = {0};      int32\_t tempX = 0, tempY = 0, tempZ = 0;      for(uint16\_t i = 0; i < amount; i++)      {          tempGyro = IMU\_MPU\_ReadGyro();          tempX += tempGyro.x;          tempY += tempGyro.y;          tempZ += tempGyro.z;          IMU\_DelayUs(3000);      }      gyroOffset.x = (float)tempX / (float)amount;      gyroOffset.y = (float)tempY / (float)amount;      gyroOffset.z = (float)tempZ / (float)amount;  ...      return IMU\_OK;  } |

Bemerkung:

Die Punkte ... bedeuten, dass vor und nach dem Ausschnitt noch weiterer Programmcode, der nicht in direkte Verbindung mit dem MPU9250 steht.

Die Messwerte eines Gyroskops driften bei Bewegung in einer Richtung *(siehe: Gyroskop Erklärung vom Drift)*. Um dem dagegen zu wirken, wird ein Gyroskop Offset bestimmt. Es wird nach 2000 Messung der durchschnittliche Messwert bestimmt, der als Offsetwert verwendet wird. Im Programm wird das Ergebnis in der globalen Variable ‚gyroOffset‘ gespeichert.

**Beispiel Aufruf vom Programm**:

|  |
| --- |
| main.c |
| // init IMU 10DOF  IMU\_InitTypeDef imuInit;  imuInit.hi2c = &hi2c1;  imuInit.gyroFS = GYRO\_500DPS;  imuInit.accelFS = ACCEL\_16G;  imuInit.gyroDLPF = GYRO\_DLPF\_10HZ;  imuInit.accelDLPF = ACCEL\_DLPF\_10HZ;  imuInit.baroCoeff = IMU\_BARO\_FILTER\_COEFF\_16;  imuInit.baroTempOS = BARO\_TEMP\_OS\_2X;  imuInit.baroPressOS = BARO\_PRESS\_OS\_16X;  imuInit.baroSBT = BARO\_STANDBY\_0P5MS;  imuInit.htim = &htim17;  imuInit.dt = dt;  errorCode = IMU\_Init(&imuInit);  if(errorCode != IMU\_OK)      Sensor\_ErrorHandler(IMU, errorCode); |

#### Einlesen der Accelerometer- und Gyroskop-Daten

Die Messdaten des Accelerometers werden in den Registern 59 ACCEL\_XOUT\_H bis zum Register 64 ACCEL\_ZOUT\_L gespeichert. XOUT, YOUT und ZOUT bestimmt die einzelne Messachse und \_H und \_L bestimmt das high- und low-Byte des Messwertes.

**Auslesen der Accelerometer-Daten**:

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads accelerometer register data (x,y,z)   \* @return IMU\_RegCoordinates   \*/  IMU\_RegCoordinates IMU\_MPU\_ReadAccel(void)  {      uint8\_t buffer[6] = {0};      IMU\_ReadRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_ACCEL\_XOUT\_H\_ADDR, buffer, 6);      IMU\_RegCoordinates accelData = {0};      accelData.x = ((int16\_t)buffer[0] << 8) | buffer[1];      accelData.y = ((int16\_t)buffer[2] << 8) | buffer[3];      accelData.z = ((int16\_t)buffer[4] << 8) | buffer[5];      return accelData;  } |

In dem Programm werden die Daten beginnend mit dem Register 59 nacheinander bis zum Register 64 eingelesen und danach zusammengefügt. Die z-Achse des Accelerometers muss invertiert werden, weil das IMU-Breakout auf der FPV-Drohne umgedreht angebracht ist.

Die Messung des Gyroskops funktioniert gleich mit dem Accelerometer. Die Messdaten des werden in den Registern 67 GYRO\_XOUT\_H bis zum Register 72 GYRO\_ZOUT\_L gespeichert. XOUT, YOUT und ZOUT bestimmt die einzelne Messachse und \_H und \_L bestimmt das high- und low-Byte des Messwertes.

**Auslesen der Gyroskop-Daten**:

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads gyroscope register data (x,y,z)   \* @return IMU\_RegCoordinates   \*/  IMU\_RegCoordinates IMU\_MPU\_ReadGyro(void)  {      uint8\_t buffer[6] = {0};      IMU\_ReadRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_GYRO\_XOUT\_H\_ADDR, buffer, 6);      IMU\_RegCoordinates gyroData = {0};      gyroData.x = ((int16\_t)buffer[0] << 8) | (int16\_t)buffer[1];      gyroData.y = ((int16\_t)buffer[2] << 8) | (int16\_t)buffer[3];      gyroData.z = ((int16\_t)buffer[4] << 8) | (int16\_t)buffer[5];      return gyroData;  } |

Bemerkung:

Bei beide Programmen werden nur die Registerwerte zurückgeliefert. Um die eigentlichen Messwerte zu bekommen, müssen die Werte mit dem sensitivity scale factoren des Accelerometers und des Gyroskops gerechnet werden. Diese Faktoren werden im Initialisierungsprogramm berechnet und in den globalen Variablen ‚accelSens‘ und ‚gyroSens‘ gespeichert [*(siehe: 5.4.3.2 Initialisierung)*](#_Initialisierung).

Um die Drift vom Gyroskop entgegenzuwirken wird der Registerwert noch mit dem Gyroskop-Offset gerechnet werden. Diese Werte werden auch im Initialisierungsprogramm bestimmt und in der globalen Variable ‚gyroOffset‘ gespeichert [*(siehe: 5.4.3.2 Initialisierung)*](#_Initialisierung).

**Berechnung der eigentlichen Messwerte**:

|  |
| --- |
| IMU\_RegCoordinates gyroData = IMU\_MPU\_ReadGyro();  IMU\_RegCoordinates accelData = IMU\_MPU\_ReadAccel();  gyro.x = (gyroData.x - gyroOffset.x) / gyroSens;  gyro.y = (gyroData.y - gyroOffset.y) / gyroSens;  gyro.z = (gyroData.z - gyroOffset.z) / gyroSens;  accel.x = (accelData.x / accelSens) - 0.01f;  accel.y = (accelData.y / accelSens) - 0.02f;  accel.z = (accelData.z / accelSens) - 0.1f; |

Die Offsetwerte bei der Beschleunigungsberechnung (0,020; 0,021 und 0,140) müssen händisch bestimmt werden. Wenn der Sensor auf einer ebenen Fläche gerade liegt, muss der Sensor eine Beschleunigung von 1g auf der z-Achse messen. Der Offset ergibt sich aus der eigentlichen Messung auf einer ebenen Fläche von 1,14g. Dieser Vorgang muss mit 90° Drehungen mit allen Achsen wiederholt werden, um die restlichen Offsetwerte zu bestimmen.

#### Komplementärfilter

Um die Lagewinkel Pitch, Roll und Yaw zu bestimmen, wird ein Komplementärfilter auf die Messwerte des MPU9250 angewendet [*(siehe: 2.2.5 Komplementärfilter)*](#_Komplementärfilter).

**Anwendung des Komplementärfilters:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function calculates pitch,roll and yaw   \* @details data gets stored in the global variable 'angle'   \* @retval None   \*/  void IMU\_GetAngles(void)  {      uint16\_t tmpTime = \_\_HAL\_TIM\_GET\_COUNTER(imu\_DelayTIM);      \_\_HAL\_TIM\_SET\_COUNTER(imu\_DelayTIM, 0);      static int8\_t firstTimeFlag = 0;      if(firstTimeFlag == 0)      {          tmpTime = 0;          firstTimeFlag = 1;      }      imu\_DeltaTime = (float)tmpTime / 1E6f;      IMU\_RegCoordinates gyroData = IMU\_MPU\_ReadGyro();      IMU\_RegCoordinates accelData = IMU\_MPU\_ReadAccel();      gyro.x = (gyroData.x - gyroOffset.x) / gyroSens;      gyro.y = (gyroData.y - gyroOffset.y) / gyroSens;      gyro.z = (gyroData.z - gyroOffset.z) / gyroSens;      accel.x = (accelData.x / accelSens) - 0.01f;      accel.y = (accelData.y / accelSens) - 0.02f;      accel.z = (accelData.z / accelSens) - 0.1f;      // invert axis because the sensor is upside down      accel.z = -accel.z;      // Complementary filter      float accelPitch = atan2(accel.y, accel.z) \* RAD2DEG;      float accelRoll = atan2(accel.x, accel.z) \* RAD2DEG;      angle.roll = 0.98f \* (angle.roll + gyro.y \* imu\_DeltaTime) + (1.0f - 0.98f) \* accelRoll;      angle.pitch = 0.98f \* (angle.pitch - gyro.x \* imu\_DeltaTime) + (1.0f - 0.98f) \* accelPitch;      angle.yaw += gyro.z \* imu\_DeltaTime;  } |

Bemerkung:

Die aktuellen Werte für Pitch, Roll und Yaw werden in der globalen Variable ‚angle‘ gespeichert.

### Barometer / Luftdrucksensor - BMP280

#### Registerübersicht BMP280

Bild von allen wichtigen Registern + vielleicht Beschreibung

#### Initialisierung Barometer

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c | Ausschnitt aus IMU\_Init() Funktion |
| /\*\*   \* @brief This function initialzes the 10DOF IMU (accel, gyro, mag, baro)   \* @param imuInit pointer to IMU\_InitTypeDef   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_Init(IMU\_InitTypeDef \*imuInit)  {      ...     IMU\_WriteRegister(BMP280, IMU\_BARO\_RESET\_ADDR, 0xB6); // reset barometer      // check status of device      uint8\_t timeout = 0, status = 1;      while(status != 0x00)      {          IMU\_ReadRegister(BMP280, IMU\_BARO\_STATUS\_ADDR, &status, 1);          if(timeout++ > 100)              return IMU\_BARO\_INIT\_ERROR;      }      IMU\_BARO\_ReadCompensationValues();      // set standby time and time constant of IIR filter      uint8\_t config = ((imuInit->baroSBT << 5) | (imuInit->baroCoeff << 2));      IMU\_WriteRegister(BMP280, IMU\_BARO\_CONFIG\_ADDR, config);      // set oversampling settings for temperature and pressure measurement and set normal mode      uint8\_t ctrl = (imuInit->baroTempOS << 5) | (imuInit->baroPressOS << 2) | 0x03;      IMU\_WriteRegister(BMP280, IMU\_BARO\_CTRL\_MEAS\_ADDR, ctrl);      // get current altitude level      IMU\_DelayUs(UINT16\_MAX - 1);      float baroSum = 0;      for(uint16\_t i = 0; i < amount; i++)      {          IMU\_BARO\_ReadBaro();          baroSum += baroAltitude;          IMU\_DelayUs(1000);      }      baroAltitudeOffset = baroSum / amount;      return IMU\_OK;  } |

Das Barometer wird immer im Normal-Mode betrieben.

Für die richtige Luftdruck- und Höhenbestimmung müssen die Registerwerte kompensiert werden. Diese Kompensationswerte werden vom Sensor zur Verfügung gestellt und müssen vor Beginn der Werteberechnung eingelesen werden. Das Einlesen wird mit der Funktion *IMU\_Baro\_ReadCompensationValues()* realisiert.

**Kompensationswerte für Barometermessung auslesen:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads the temperature and pressure compensation values   \* @details values get stored in variable "baroCompensation"   \* @retval None   \*/  void IMU\_BARO\_ReadCompensationValues(void)  {      uint8\_t buffer[24];      IMU\_ReadRegister(BMP280, IMU\_BARO\_DIG\_T1\_L\_ADDR, buffer, 24);      baroCompensation.T1 = (buffer[1] << 8) | buffer[0];      baroCompensation.T2 = (buffer[3] << 8) | buffer[2];      baroCompensation.T3 = (buffer[5] << 8) | buffer[4];      baroCompensation.P1 = (buffer[7] << 8) | buffer[6];      baroCompensation.P2 = (buffer[9] << 8) | buffer[8];      baroCompensation.P3 = (buffer[11] << 8) | buffer[10];      baroCompensation.P4 = (buffer[13] << 8) | buffer[12];      baroCompensation.P5 = (buffer[15] << 8) | buffer[14];      baroCompensation.P6 = (buffer[17] << 8) | buffer[16];      baroCompensation.P7 = (buffer[19] << 8) | buffer[18];      baroCompensation.P8 = (buffer[21] << 8) | buffer[20];      baroCompensation.P9 = (buffer[23] << 8) | buffer[22];  } |

Die Daten befinden sich in den Registern 0x88 dig\_T1 bis zu den Register 0x9F dig\_P9 [*(siehe: 5.4.4.1 Registerübersicht)*](#_Registerübersicht). Die Werte werden zusammengefügt und in der globalen Variable ‚baroCompensation‘ gespeichert.

#### Einlesen der Barometer-Daten

Die Messdaten vom BMP280 werden in den Registern 0xF7 press\_msb bis 0xFC temp\_xlsb gespeichert [*(siehe: 5.4.4.1 Registerübersicht)*](#_Registerübersicht).

**Einlesen der Barometerwerte:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c | Ausschnitt aus IMU\_BARO\_ReadBaro() Funktion |
| /\*\*   \* @brief This function reads the barometer values and calculates temperature, pressure and altitude   \* @details values gets stored in global variables 'baroTemperature', 'baroPressure' and 'baroAltitude'   \* @retval None   \*/  void IMU\_BARO\_ReadBaro(void)  {      uint8\_t buffer[6] = {0};      IMU\_ReadRegister(BMP280, IMU\_BARO\_PRESS\_ADDR, buffer, 6);      int32\_t adcPress = ((int32\_t)buffer[0] << 12) | ((int32\_t)buffer[1] << 4) | ((int32\_t)buffer[2] >> 4);      int32\_t adcTemp = ((int32\_t)buffer[3] << 12) | ((int32\_t)buffer[4] << 4) | ((int32\_t)buffer[5] >> 4);      int32\_t fineTemp;      int32\_t temp = IMU\_BARO\_CompensateTemp(adcTemp, &fineTemp);      uint32\_t press = IMU\_BARO\_CompensatePress(adcPress, fineTemp);      baroTemperature = (float)temp / 100.0;      baroPressure = (float)press / 256.0;      ...  } |

Für die Berechnung müssen die Temperatur und der Luftdruck kompensiert werden. Dafür werden die Funktionen *IMU\_BARO\_CompensateTemp()* und *IMU\_BARO\_CompensatePress()* verwendet. Diese Funktionen sind im Datenblatt des Sensors vom Hersteller vorgegeben und wurden für die Nutzung in der Steuerungssoftware angepasst und übernommen.

**Barometer Temperatur- und Luftdruckwerte kompensieren:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function compensates the temperature according to the datasheet   \* @details   \* Returns temperature in DegC, resolution is 0.01 DegC. Output value of “5123” equals 51.23 DegC.   \* @param adcTemp measured temperature   \* @param fineTemp   \* @return int32\_t (temperature)   \*/  int32\_t IMU\_BARO\_CompensateTemp(int32\_t adcTemp, int32\_t \*fineTemp)  {      int32\_t var1, var2, T;      var1 = ((((adcTemp >> 3) - ((int32\_t)baroCompensation.T1 << 1))) \* ((int32\_t)baroCompensation.T2)) >> 11;      var2 = (((((adcTemp >> 4) - ((int32\_t)baroCompensation.T1)) \* ((adcTemp >> 4) - ((int32\_t)baroCompensation.T1))) >> 12) \* ((int32\_t)baroCompensation.T3)) >> 14;      \*fineTemp = var1 + var2;      T = (\*fineTemp \* 5 + 128) >> 8;      return T;  }  /\*\*   \* @brief This function compensates the pressure according to the datasheet   \* @details   \* Returns pressure in Pa as unsigned 32 bit integer in Q24.8 format (24 integer bits and 8 fractional bits).   \* Output value of “24674867” represents 24674867/256 = 96386.2 Pa = 963.862 hPa   \* @param adcPress measured pressure   \* @param fineTemp   \* @return uint32\_t (pressure)   \*/  uint32\_t IMU\_BARO\_CompensatePress(int32\_t adcPress, int32\_t fineTemp)  {      int64\_t var1, var2, p;      var1 = ((int64\_t)fineTemp) - 128000;      var2 = var1 \* var1 \* (int64\_t)baroCompensation.P6;      var2 = var2 + ((var1 \* (int64\_t)baroCompensation.P5) << 17);      var2 = var2 + (((int64\_t)baroCompensation.P4) << 35);      var1 = ((var1 \* var1 \* (int64\_t)baroCompensation.P3) >> 8) + ((var1 \* (int64\_t)baroCompensation.P2) << 12);      var1 = (((((int64\_t)1) << 47) + var1)) \* ((int64\_t)baroCompensation.P1) >> 33;      if(var1 == 0)      {          return 0; // avoid exception caused by division by zero      }      p = 1048576 - adcPress;      p = (((p << 31) - var2) \* 3125) / var1;      var1 = (((int64\_t)baroCompensation.P9) \* (p >> 13) \* (p >> 13)) >> 25;      var2 = (((int64\_t)baroCompensation.P8) \* p) >> 19;      p = ((p + var1 + var2) >> 8) + (((int64\_t)baroCompensation.P7) << 4);      return (uint32\_t)p;  } |

#### Berechnung der Höhe

Mit dem gemessenen Luftdruck kann die aktuelle Höhe über dem Meeresspiegel ausgerechnet werden.

Ein Bild, das Text, Schrift, Diagramm, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 31: Formel Berechnung Höhe über Meeresspiegel

altitude … Höhe über den Meeresspiegel in Meter (m)

p … gemessener Luftdruck in Hektopascal (hPa)

p0 … typischer Luftdruck am Meeresspiegel, normalerweise 1013,25hPa

**Höhe über Meeresspiegel bestimmen:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c | Ausschnitt aus IMU\_BARO\_ReadBaro() Funktion |
| /\*\*   \* @brief This function reads the barometer values and calculates temperature, pressure and altitude   \* @details values gets stored in global variables 'baroTemperature', 'baroPressure' and 'baroAltitude'   \* @retval None   \*/  void IMU\_BARO\_ReadBaro(void)  {      ...      // convert pressure to altitude according to datasheet      float presshPa = baroPressure / 100;      baroAltitude = (44330.0 \* (1.0 - pow(presshPa / 1013.25, 1.0 / 5.255))) - baroAltitudeOffset;  } |

Dadurch, dass in der Berechnung die Variable ‚baroAltitudeOffset‘ berücksichtigt wird, wird die relative Höhe der Drohne berechnet. Wenn dieser Teil der Berechnung entfernt wird, kann die absolute Höhe bestimmt werden.

Problem mit Höhenmessung mit Barometer (langsam und so)

### Magnetometer - AK8963

#### Registerübersicht AK8963

Bild von allen wichtigen Registern + vielleicht Beschreibung

#### Initialisierung Magnetometer

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c | Ausschnitt aus IMU\_Init() Funktion |
| /\*\*   \* @brief This function initialzes the 10DOF IMU (accel, gyro, mag, baro)   \* @param imuInit pointer to IMU\_InitTypeDef   \* @return IMU\_Status   \*/  IMU\_Status IMU\_Init(IMU\_InitTypeDef \*imuInit)  {      ...      // power down AK8963      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL1\_ADDR, 0x00);      IMU\_DelayUs(10000);      // soft reset the sensor      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL2\_ADDR, 0x01);      // power down AK8963      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL1\_ADDR, 0x00);      HAL\_Delay(100);      // set Fuse ROM access mode + 16-bit output      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL1\_ADDR, 0x1F);      HAL\_Delay(100);      // read sensitivity adjustment values      IMU\_ReadRegister(AK8963, IMU\_MAG\_ASAX\_ADDR, magAdjust, 3);      // power down AK8963      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL1\_ADDR, 0x00);      HAL\_Delay(100);      // set Continuous measurement mode 2 + 16-bit output      IMU\_WriteRegister(AK8963, IMU\_MAG\_CNTL1\_ADDR, 0x16);      HAL\_Delay(100);      IMU\_WriteRegister(MPU9250, IMU\_MPU\_PWR\_MGMT\_1\_ADDR, 0x01);  ...      return IMU\_OK;  } |

#### Einlesen der Daten

Um zu überprüfen, ob der AK8963 die Messung abgeschlossen hat, muss das Data Ready Bit im Register 0x02 ausgelesen werden. Die Messdaten werden in den Registern 0x03 HXL bis zum Register 0x08 HZH gespeichert [*(siehe: 5.4.5.1 Registerübersicht)*](#_Registerübersicht_1).

**Einlesen der Magnetometer-Daten:**

|  |
| --- |
| IMU\_10DOF.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads magnetometer register data (x,y,z)   \* @return IMU\_RegCoordinates   \*/  IMU\_RegCoordinates IMU\_MAG\_ReadMag(void)  {      uint8\_t check = 0x00;      do      {          IMU\_ReadRegister(AK8963, IMU\_MAG\_ST1\_ADDR, &check, 1);      }      while(!(check & 0x01));      uint8\_t buffer[6] = {0};      IMU\_ReadRegister(AK8963, IMU\_MAG\_HXL\_ADDR, buffer, 6);      IMU\_RegCoordinates magData = {0};      magData.x = ((int16\_t)buffer[1] << 8) | (int16\_t)buffer[0];      magData.y = ((int16\_t)buffer[3] << 8) | (int16\_t)buffer[2];      magData.z = ((int16\_t)buffer[5] << 8) | (int16\_t)buffer[4];      return magData;  } |

Fehlererklärung

## Smart Battery Monitor - DS2438

Für die Diplomarbeit wird der DS2438 für die Spannungsüberwachung des Akkus verwendet. Die Kommunikation zwischen dem Flight-Controller und dem DS2438 findet mit dem One-Wire Protokoll statt.

Als Vorlage für die Programmierung wurde ein, in der 4. Klasse erstelltes, Projekt verwendet. Nach Absprache mit den Autoren (Lukas Lindmayr und Marcel Bieder) wurde die Erlaubnis für die Verwendung und Anpassung an die FPV-Drohne Diplomarbeit, erteilt.

### One-Wire Protokoll

Der Flight Controller kommuniziert mit dem DS2438 über das One-Wire Protokoll. Dieses besteht aus einer einzelnen halbduplexen, bidirektionalen Leitung. Der Cortex-M7 hat keine One-Wire Peripherie, deswegen muss das Protokoll selbstständig implementiert werden. Die Kommunikation mit dem DS2438 beginnt immer aus einer Initialisierungssequenz. Als nächstes wird ein ROM-Funktionsbefehl ausgeführt. Danach wird ein Memory-Funktionsbefehl gesendet, und am Ende werden die Daten ausgetauscht.

**GPIO-Einstellungen in STM32CubeMX**:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 32: STM32CubeMX Einstellungen von DS2438

Der Pin PC0 wird am Flight-Controller für DS2438\_DQ (Datenleitung) verwendet. Bei anderen Systemen kann der Pin beim Aufruf von *DS2438\_Init()* bestimmt werden. *(siehe: Init Progamm)*

Damit die Kommunikation funktionieren kann, muss in STM32CubeMX der *GPIO mode* auf *Output Open Drain* und der *GPIO Pull-up/Pull-down* auf *No pull-up and no pull-down* gesetzt werden.

#### One-Wire Schreibzyklen

Bei der Kommunikation wird das niederwertigste Bit immer zuerst gesendet.

**Um das Bit 1 zu senden, müssen folgende Zeitbedingungen eingehalten werden:**

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 33: One-Wire Bit 1 senden

**Um das Bit 0 zu senden, müssen andere Zeitbedingungen eingehalten werden**:

Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, Quittung enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 34: One-Wire Bit 0 senden

**Ein Byte zum DS2438 senden:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function writes one byte to the DS2438   \* @param byte byte to write   \* @retval None   \*/  void DS2438\_WriteByte(uint8\_t byte)  {      for(int8\_t i = 0; i < 8; i++)      {          DS2438\_WriteBit(byte & 0x01);          byte >>= 1;      }  }  /\*\*   \* @brief This function writes one bit to the DS2438   \* @param bit bit to write   \* @retval None   \*/  void DS2438\_WriteBit(int8\_t bit)  {      if(bit == 1)      {          HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_RESET);          DS2438\_DelayUs(10);          HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_SET);          DS2438\_DelayUs(70);      }      else      {          HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_RESET);          DS2438\_DelayUs(60);          HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_SET);          DS2438\_DelayUs(10);      }  } |

Um auf eine bestimmte Page Daten schreiben zu können, müssen diese zuerst auf das Scratchpad geschrieben werden. Danach muss das Scratchpad in den ROM oder RAM kopiert werden.

Zuerst wird die Initialisierungssequenz ausgeführt, und danach wird der Skip-ROM- (0xCC) und der Write-Scratchpad-Befehl (0x4E) ausgeführt. Anschießend muss die gewünschte Page-Nummer übertragen werden. Darauf folgen die Daten und eine zweite Initialisierungssequenz. Damit die Daten vom Scratchpad auch in den Speicher des Sensors übertragen werden, muss noch ein Skip-ROM- (0xCC) und ein Copy-Scratchpad-Befehl (0x48), gefolgt von der Page-Nummer, ausgeführt werden.

**Zu einer Page Daten senden:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function writes the data to one page of the DS2438   \* @param page page number (0 - 7)   \* @param pageData data of page   \* @return DS2438\_Status   \*/  DS2438\_Status DS2438\_WritePage(uint8\_t page, int16\_t \*pageData)  {      // reset + presence pulse      if(DS2438\_Reset() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // copy current data to scratchpad      DS2438\_WriteByte(DS2438\_SKIP\_ROM);      DS2438\_WriteByte(DS2438\_WRITE\_SP);      DS2438\_WriteByte(page);      for(uint8\_t i = 0; i < 9; i++)          DS2438\_WriteByte(pageData[i]);      // reset + presence pulse      if(DS2438\_Reset() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      DS2438\_WriteByte(DS2438\_SKIP\_ROM);      DS2438\_WriteByte(DS2438\_COPY\_SP);      DS2438\_WriteByte(page);      return DS2438\_OK;  } |

#### One-Wire Lesezyklen

Genau wie bei den Schreibzyklen gibt es auch spezielle Zeitkriterien, die bei den Lesezyklen eingehalten werden müssen. Es wird auch das niederwertigste Byte zuerst empfangen.

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 35: One-Wire Bit empfangen

**Ein Byte vom DS2438 auslesen:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads one byte from the DS2438 (LSB first)   \* @return uint8\_t   \*/  uint8\_t DS2438\_ReadByte(void)  {      uint8\_t byte = 0;      for(int8\_t i = 0; i < 8; i++)          byte |= (DS2438\_ReadBit() << i);      return byte;  }  /\*\*   \* @brief This function reads one bit from the DS2438   \* @return int8\_t   \*/  int8\_t DS2438\_ReadBit(void)  {      int8\_t bit = 0;      HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_RESET);      DS2438\_DelayUs(10);      HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_SET);      DS2438\_DelayUs(10);      // read current pin level      bit = HAL\_GPIO\_ReadPin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin) == GPIO\_PIN\_SET;      DS2438\_DelayUs(60);      return bit;  } |

Um von einer bestimmen Page Daten lesen zu können, müssen diese zuerst vom Sensor auf das Scratchpad geschrieben werden. Danach muss man die Daten vom Scratchpad einlesen.

Zuerst wird die Initialisierungssequenz ausgeführt und danach wird der Skip-ROM- (0xCC) und der Recall-Memory-Befehl (0xB8) ausgeführt. Anschließend muss die gewünschte Page-Nummer übertragen werden. Darauf folgt eine zweite Initialisierungssequenz. Um jetzt die Daten vom Scratchpad zu lesen, muss ein Skip-ROM- (0xCC) und ein Read-Scratchpad-Befehl (0xBE), gefolgt von der Page-Nummer, ausgeführt werden. Danach können die Daten auf der One-Wire-Leitung empfangen werden.

**Von einer Page Daten auslesen:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads the data from one page of the DS2438   \* @param page page number (0 - 7)   \* @param pageData data of page   \* @return DS2438\_Status   \*/  DS2438\_Status DS2438\_ReadPage(uint8\_t page, int16\_t \*pageData)  {      // reset + presence pulse      if(DS2438\_Reset() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // copy current data to scratchpad      DS2438\_WriteByte(DS2438\_SKIP\_ROM);      DS2438\_WriteByte(DS2438\_RECALL\_MEM);      DS2438\_WriteByte(page);      // reset + presence pulse      if(DS2438\_Reset() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // read scratchpad data      DS2438\_WriteByte(DS2438\_SKIP\_ROM);      DS2438\_WriteByte(DS2438\_READ\_SP);      DS2438\_WriteByte(page);      for(int8\_t i = 0; i < 9; i++)          pageData[i] = DS2438\_ReadByte();      return DS2438\_OK;  } |

#### Initialisierungssequenz

Die Initialisierungssequenz besteht immer aus einen Reset- und einen Presence-Puls, die die folgenden zeitlichen Anforderungen einhalten müssen:

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 36: One-Wire Initialisierungssequenz

Wenn der One-Wire Slave bei dem Presence-Puls nicht nach 60µs bis 240µs die Leitung in den high-Zustand setzt, besteht ein Problem bei der Kommunikation zwischen Master und Slave.

**Initialisierungssequenz DS2438:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function resets / checks device presence   \* @return DS2438\_Status   \*/  DS2438\_Status DS2438\_Reset(void)  {      // reset DS2438      // send reset pulse (min 480us)      HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_RESET);      DS2438\_DelayUs(480);      // release line -> change to receive mode      HAL\_GPIO\_WritePin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin, GPIO\_PIN\_SET);      // wait until slave sends presence pulse      DS2438\_DelayUs(70);      // read current pin state      int8\_t pin = HAL\_GPIO\_ReadPin(ds2438\_GPIOPort, ds2438\_GPIOPin);      DS2438\_DelayUs(410);      // check pin state (0 -> found, 1 -> not found)      if(pin == GPIO\_PIN\_SET)          return DS2438\_ERROR;      return DS2438\_OK;  } |

#### ROM-Funktionsbefehl

Es gibt viele verschiedene ROM-Funktionsbefehle. Für das Spannungsmonitoring ist nur der SKIP-ROM-Befehl (0xCC) wichtig. Dieser Befehl erlaubt es dem Master direkt einen Memory-Funktionsbefehl zu senden, ohne einen ROM-Code senden zu müssen. Dadurch wird Zeit gespart.

Vllt Liste von allen Befehlen mit Beschreibung

#### Memory-Funktionsbefehl

Der einzige Memory-Funktionsbefehl, der wichtig für das Spannungsmonitoring wichtig ist, ist der CONVERT-V (0xB4) Befehl. Diese Anweisung startet die Analog-Digital-Spannungswandlung des Sensors. Wenn die Umwandlung beendet ist, wird das ADB-Flag (A/D Conversion Busy Flag) auf 0 gesetzt.

Vllt Liste von allen Befehlen mit Beschreibung

### Registerübersicht DS2438

Der DS2438 ist unterschiedliche Pages unterteilt, die alle notwendigen Einstellungen und Messdaten des Sensors beinhalten.

Ein Bild, das Text, Karte Menü, Zahl, Dokument enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 37: DS2438 Memory Map

Für die Spannungsüberwachung ist nur die Page 0 wichtig, da im Byte[0] Einstellungen gesetzt werden können und in den Byte[3..4] die gemessenen Spannungswerte gespeichert werden.

### Initialisierung DS2438

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function initializes the DS2438   \* @param htim pointer to TIM\_HandleTypeDef (timer for us delay)   \* @param gpio\_Port GPIOx (port of DQ Pin)   \* @param gpio\_Pin GPIO\_PIN\_x (pin of DQ Pin)   \* @return DS2438\_Status   \*/  DS2438\_Status DS2438\_Init(TIM\_HandleTypeDef \*htim, GPIO\_TypeDef \*gpio\_Port, uint16\_t gpio\_Pin)  {      if(htim == NULL)          return DS2438\_ERROR;      DS2438\_DelayTimer = htim;      HAL\_TIM\_Base\_Start(DS2438\_DelayTimer); // start timer for DS2438\_DelayUs      ds2438\_GPIOPort = gpio\_Port;      ds2438\_GPIOPin = gpio\_Pin;      if(DS2438\_Reset() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // set Vad as A/D converter input      int16\_t pageData[9] = {0x00};      if(DS2438\_ReadPage(0x00, pageData) == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // pageData[0] |= 0x08; // supply voltage      pageData[0] &= 0xF7;    // external input      if(DS2438\_WritePage(0x00, pageData) == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // check current voltage      int8\_t errorCode = DS2438\_ReadVoltage();      if(errorCode != DS2438\_OK)          return errorCode;      return DS2438\_OK;  } |

Man kann sich aussuchen, ob man die Versorgungsspannung oder die Spannung am Eingang vom A/D-Wandler messen will. Dies funktioniert mit dem AD-Bit in der Page 0 im Byte[0]. Wenn das AD-Bit auf 1 gesetzt wird, wird die Versorgungsspannung gemessen. Wenn das Bit auf 0 gesetzt wird, misst der Sensor die Eingangsspannung vom A/D-Wandler.

**Beispiel Aufruf vom Programm**:

|  |
| --- |
| main.c |
| errorCode = DS2438\_Init(&htim16, GPIOC, GPIO\_PIN\_0);  if(errorCode != DS2438\_OK)  Sensor\_ErrorHandler(DS2438, errorCode); |

### Spannungsüberwachung

Die eingelesen Spannungswerte werden in folgendem Format gespeichert:

Ein Bild, das Text, Schrift, Zahl, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Abbildung 38: DS2438 Spannungsregister Format

Um mit den eingelesenen Werten einen Spannungswert zu bilden, müssen MSB und LSB zusammengefügt werden. Da die Werte im Spannungsregisters eine Auflösung von 10mV pro LSB haben, muss der Registerwert mit 10mV multipliziert oder durch 100 gerechnet werden, um den eigentlichen Spannungswert zu bestimmen.

**Spannung einlesen:**

|  |
| --- |
| DS2438.c |
| /\*\*   \* @brief This function reads the current voltage value of the DS2438   \* @attention the voltage gets stored in the global variable 'ds2438\_Voltage'   \* @return DS2438\_Status   \*/  DS2438\_Status DS2438\_ReadVoltage(void)  {      // start measurement (send CONVERT T command)      if(DS2438\_StartVoltageMeasurement() == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // wait for measurement to be complete (ADB flag: 1 = busy, 0 = ready)      while(DS2438\_ReadControlVoltageFlag());      int16\_t pageData[9] = {0x00};      // read data      if(DS2438\_ReadPage(0x00, pageData) == DS2438\_ERROR)          return DS2438\_ERROR;      // extracting voltage bytes      int16\_t voltageLSB = pageData[3];      int16\_t voltageMSB = pageData[4];      ds2438\_Voltage = (((voltageMSB & 0x3) << 8) | (voltageLSB)) / 100.0;      ds2438\_Voltage \*= 3; // times 3 because of resistor voltage divider      if(ds2438\_Voltage <= DS2438\_MIN\_VOLTAGE)          return DS2438\_VOLTAGE\_ERROR;      return DS2438\_OK;  } |

Da der A/D-Wandler des DS2438 nur einen Spannungsbereich von 0-10V hat, muss die Eingangsspannung vor dem Sensor geteilt werden. Auf der Platine des Flight-Controllers ist vor dem Eingang des A/D-Wandlers des DS2438 ein 3:1 Spannungsteiler eingebaut. Um die richtige Akkuspannung zu bekommen, muss der eingelesen Spannungswert mit dem Faktor drei multipliert werden.

**Beispiel Aufruf vom Programm**:

|  |
| --- |
| main.c |
| errorCode = DS2438\_ReadVoltage();  if(errorCode != DS2438\_OK)  {    sprintf(txt, "DS2438 Error %d\n\r", errorCode);      Terminal\_Print(txt);  } |

## Abstandssensor - HCSR04 (Ben)

### Funktionsweise

### Code

## Motoransteuerung

### Motorstrom auslesen

ADC Erklärung

ADC Einlesen Erklärung

### DShot Protokoll

Aufbau Protokoll

Geschwindigkeiten

Init() Aufruf + Programm selber

## PID-Regler

### Hover Modus

Schalter auf Fernsteuerung Erkennung im Programm

PID-Algorithmus Programm

ChangeKs Programm

### Failsafe

Wann?

Wie?

Programm

## Debugging

### Terminal Ausgabe

Wofür?

Wie?

USB UART Platine (siehe Kapitel vom Merlex)

Einstellungen CubeMX

Einstellungen Terminal (VSCode, X-CTU)

### Status – LEDs

Auf der Flight-Controller Platine befinden sich eine rote und eine blaue LED. Die blaue wird zum Initialisierungsstatus und die rote LED wird für zur Anzeige von Errors verwendet.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Blaue LED** | leuchtet nicht | Problem bei Programmstart |
| blinkt alle 0,5 Sekunden | DS2438 initialisiert |
| blinkt alle 0,4 Sekunden | IMU initialisiert |
| blinkt alle 0,3 Sekunden | Receiver initialisiert |
| blinkt alle 0,2 Sekunden | DShot initialisiert |
| blinkt alle 0,1 Sekunden | PID initialisiert |
| leuchtet durchgehend | Initialisierungen abgeschlossen |
| **Rote LED** | leuchtet nicht | kein Error |
| leuchtet durchgehend | Error während Initialisierungen |
| blinkt alle 0,1 Sekunden | Failsafe von Receiver oder DS2438 ausgelöst |

**Einstellungen STM32CubeMX:**

**Ein Bild, das Text, Screenshot, Software, Computersymbol enthält.

Automatisch generierte Beschreibung**

Abbildung 39: STm32CubeMX Einstellungen LEDs

# Datenübertragung der Mess- und Videodaten (Ben)

## Überblick Datenübertragung

Blockschaltbild und schaltung

## Kommunikation: Flight Controller und Sender

### *Aufbau Sendermodul (VTx)*

### ASK – Modulation

Überblick und wieso nicht verwendet

### Transmit – Programm auf Cortex µC

#### Gleitkommadarstellung (memcpy)

#### Code

### Testen der Übertragung

+ probleme

## Kommunikation: Sender und Empfänger

### Aufbau Empfängermodul

### Verbindungsaufbau

### Testen der Übertragung

## Kommunikation: Empfänger und Raspberry Pi

### Empfangsprogramm auf Raspberry Pi

#### UART auf dem Raspberry Pi

#### Code

### Senden der Daten auf dem MQTT-Server

## Testen der Datenübertragungskette

# Visualisierungs-App

## Applikation

### Einführung – Dart / Flutter - Framework

#### Allgemeines

#### Pub Dev / Package Installer

#### Dart Syntax

#### State Management

##### Stateful vs. Stateless Widgets

##### Provider

### Allgemeines zur App

#### Usersystem

#### Datenvisualiserung

#### 3D-Model-Viewer

#### Livestream-Viewer

### UI-Konzept

### Projektstruktur und -umgebung

#### Editor – Visual Studio Code

#### Flutter Installation

#### Projekterstellung

#### Projektstruktur

#### Packages

##### Pubspec.yaml

##### Installieren neuer Packages

### Splash + Willkommensscreen

#### Native Splash Screen

#### Willkommensbildschirm

#### Logo-Design

### Login + Registrierung

#### E-Mail-Login

#### Google-Login

#### Passwort vergessen

#### Registrierung

### Homepage

#### Bottom Navigation Bar / GNav-Bar

#### Serverdatendialog

#### Flugdatenvisualisierung

##### MQTT-Datenstreams

##### Syncfusion Cartesian Charts

##### Echtzeitdaten + Animierte Diagramme

##### Speicherung der Daten

#### 3D-Model-Viewer

##### Flutter Cube

##### MQTT-Datenstream

##### 3D-Dronenmodell

###### Optimierungen in Blender

##### Extrabedienungen

#### Live-View

##### VLC-Plugin

##### Darstellung eines Netzwerkstreams

##### Video-Overlay

### Sidemenu / Drawer

#### Userprofil

##### Darstellung der Userdaten

##### Profilbildauswahl

##### Änderung der Userdaten

#### Credits

#### Vorherige Flüge

##### Darstellung aller gespeicherten Flüge

##### Sortiermöglichkeiten

##### Einsicht in vorherigen Flug

#### Einstellungen

##### Dark- / Light-Mode

##### 3D-Model Ausrichtung

#### Logout´

## Firebase Backend

### Installation via Firebase CLI

##### Firebase CLI – Setup

##### Firebase für Dart / Flutter aktivieren

##### Flutter App mit Flutterfire konfigurieren

### Einbindung in Flutter

##### Flutterfire Configure

##### Benutzten Firebase Packages hinzufügen

### Nutzen der verschiedenen Datenbanksysteme

#### Auth

##### E-Mail + Passwort – Login

##### Google Login

#### Firestore Database

##### Struktur

##### Allgemeine Userdaten

##### Flugdaten

##### Einstellungen

#### Realtime Database

##### Allgemein

##### Sinn der verschiedenen Flags

#### Storage

##### Allgemein

##### Referenz zu User in Firestore

# Videostreaming

## Allgemeiner Aufbau

### Anforderungen

### Übertragungskette

## CADFPX Analog Kamera

### Allgemein

### Produktinformationen

### Verwendungszweck

### Verbindungstest via USB-Camera App

## USB2.0 VHS Video Grabber

## RTMP-Server via NGINX aufsetzen

### RTMP Allgemein

### NGINX

#### Allgemein

#### Installation

#### RTMP-Konfiguration

#### Serverstatus einsehen

## RTMP-Stream erstellen

### FFMPEG Allgemein

### Aufbau der Konvertierung

#### Simple Konvertierung

#### Optimierungen

##### Encodervergleich

##### Optimierungsflags

##### Unoptimiert vs. Optimiert

# Videoserver-Port Forwarding

## Allgemein

## Routereinstellungen

## Kontakt mit Routerfirma zur Freischaltung

## Testen der Ports

### Portchecker.co

## Testen des Videostreams

### VLC-Player

#### Devicestream direkt testen

#### Netzwerkstream im selben Netzwerk

#### Netzwerkstream via Public IP

# Ergebnisse

Entweder Gesamt System irgendwelche Bilder

Oder wenn nicht, dann einzelne Teile die funktionieren zeigen / beschreiben

Das Kapitel ist, um die Ergebnisse zu verkaufen, basically alles was geht

Name könnte sich noch ändern

# Anhang

## Einführung CAD – Software (Fusion 360) (Ben)

### UI und Projekterstellung

### Skizze anfertigen

### Körper erstellen

### Schrift und Bilder einfügen

## 3D – Druck (Ben)

### 3D – Drucker

### Filamente

### 3D – Drucker Software (Ultimaker Cura)

## Inbetriebnahme Anleitung

## Projektplan

## Projektkosten

## Projekttagebuch

# Quellen

## Gedruckte Medien

Für die Quellenangabe bei Fachbüchern ist, wie nachfolgend dargestellt, vorzugehen (löschen):

Vorname Nachname: Titel. Untertitel. - Verlagsort: Verlag, Jahr.

Vorname Nachname: Titel. Untertitel. Auflage - Verlagsort: Verlag, Jahr.

z.B.:

[REI13] Jürgen Reichhardt: Lehrbuch Digitaltechnik - Eine Einführung mit VHDL  
 3. Auflage, München: Oldenbourg Verlag, 2013  
 ISBN: 978-3-486-72765-4

## Online

Für die Quellenangabe von Suchergebenisse in Internet ist, wie nachfolgend dargestellt, vorzugehen (löschen):

Vorname Nachname des Autors: Titel. Online in Internet: URL: www – Adresse, Datum.

(Autor und Titel wenn vorhanden, Online in Internet: www-Adresse, Datum auf jeden Fall )

z.B.:

[APA17] Apache Foundation: The Maven Project

<http://maven.apache.org/>

(Letzter Aufruf: 17.12.2017)

[TOR91] Linus Torvalds: Linux announcement

<https://web.archive.org/web/20100104211620/http://www.linux.org/people/linus_post.html>

(Erstellt: 25.08.1991, Letzter Aufruf: 17.12.2017)

# Verzeichnis der Abbildungen

# Begleitprotokoll

# Anhang

## — Projektdokumentation (Kostendarstellung, Besprechungsprotokolle etc.)

## — Technische Dokumentation (technische Beschreibungen, Berechnungen,

## Konstruktionszeichnungen, Versuchsberichte, betriebswirtschaftliche Kalkulationen etc.)

## Schaltungen, Zeichnungssätze, sonstiges