

HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
MÜNCHEN

Bachelorarbeit

Implementierung des Pixhawk 2.1 Cube

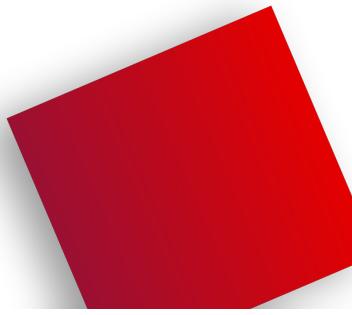
Entwicklung einer Trägerplatine für den Pixhawk 2.1 Cube
- Anleitung zur Inbetriebnahme auf einem Multikopter -

Autor: **Michael Simbürger**

Dozent: **Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Siebold**

Fakultät 03 – Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik

22. Januar 2018

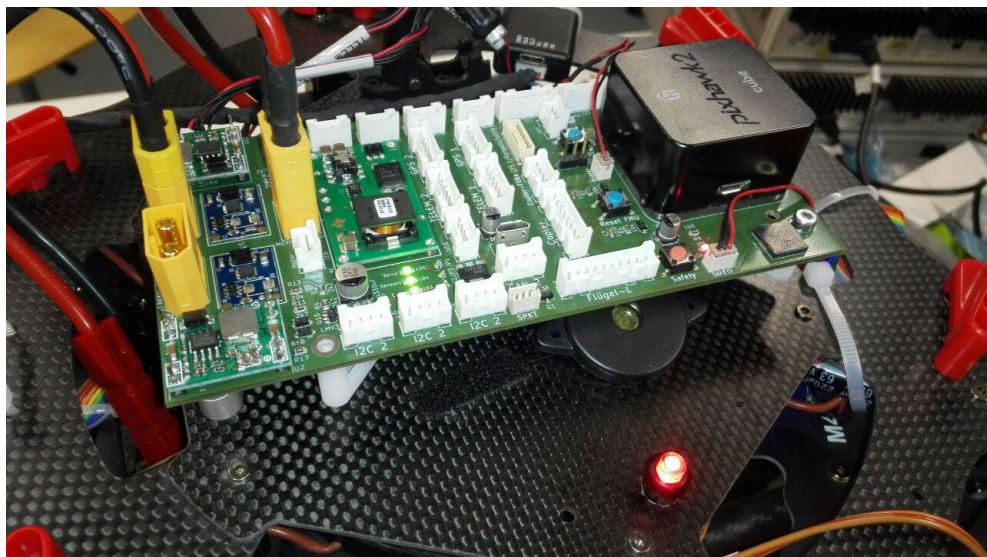


HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
MÜNCHEN

Bachelor Thesis

Implementation of the Pixhawk 2.1 Cube

Development of a Carrier Board for the Pixhawk 2.1 Cube
- Guidance for start-up on a multicopter -



Author: Michael Simbürger

Supervisor: Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Siebold

Fakultät 03 – Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik

22. Januar 2018

Lizenzierung/Licensing

Hiermit veröffentliche ich diese Arbeit und deren Inhalt unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 3.0.

Die in dieser Arbeit erstellten Schaltpläne und Leiterplatten-Layouts sind getrennt unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 3.0 veröffentlicht worden.

Alle Inhalte Dritter sind als solche kenntlich gemacht und unterliegen den jeweiligen Lizenzen und Rechten.

Für Korrespondenz und Lizenzierungsanfragen bin ich unter msimbuer@gmail.com zu erreichen.

I hereby publish this work and its content under the creative commons license CC BY-NC-SA 3.0.

The schematics and PCB layouts created in this paper have been published separately under the creative commons license CC BY-SA 3.0.

All third-party contents are identified as such and are subject to the respective licenses and rights.

For correspondence and licensing inquiries I can be reached at msimbuer@gmail.com.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Ich versichere auch, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version übereinstimmt. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde / Prüfungsstelle vorgelegen hat. Sie wurde bisher noch nicht veröffentlicht. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Ich erkläre mich ebenso damit einverstanden, dass die Digitalversion dieser Arbeit zwecks Plagiatsprüfung auf die Server externer Anbieter hoch geladen werden darf. Die Plagiatsprüfung stellt keine Zurverfügungstellung für die Öffentlichkeit dar.

München, 23.12.2017

Michael Simbürger

Kurzzusammenfassung/Abstract

In der modernen Welt gewinnen unbemannte Fluggeräte immer mehr an Bedeutung. Die Einsatzbereiche erstrecken sich vom normalen Hobby über Forschungszecke bis hin zu einer großen Bandbreite an militärischen Anwendungen. Der technologische Fortschritt schreitet in den letzten Jahren immer schneller voran. Diese Entwicklung wirkt sich auch in einer immer besseren Hard- und Software im Bereich der Flugregelung aus.

Diese Abschlussarbeit ist in zwei Bereiche gegliedert. Der erste Bereich befasst sich mit der Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1 auf einem Multikopter. Im zweiten Teil ist die Integration des Pixhawk 2.1 Cube (Cube) auf einer Trägerplatine beschrieben. Eine kurze Einweisung in die Software Mission Planner (MP) ist enthalten. Die Trägerplatine umfasst die komplette Energieversorgung inklusive einer Rekuperationsschaltung. Weiterhin werden alle Sensoren und Aktuatoren an die Platine angeschlossen. Zusätzlich werden Besonderheiten des Carrier Board/Original-Trägerplatine (CB) beschrieben. Der Cube wird über einen 80-Pin Anschluss in die Platine Integriert. Die Dokumentation enthält eine genaue Auflistung aller Anschlüsse, inklusive deren Funktionen, des Pixhawk 2.1.

In the modern world, unmanned aerial vehicles become increasingly more and more important. The fields of application extend from the normal hobby to research up to a broad range of military applications. Technological progress has advanced faster and faster in the last years. This development also implies a better hard- and software in the field of flight control.

This thesis is divided into two sections. The first section deals with the start-up of the Pixhawk 2.1 on a multicopter. The second part describes the integration of the Pixhawk 2.1 Cube (Cube) on a carrier board. A short introduction into the software Mission Planner (MP) is included. The carrier board comprises the entire energy management including a recuperation circuit. Furthermore, all sensors and actuators are connected to the board. In addition, special features of the Carrier Board (CB) are described. The Cube is integrated into the board via an 80-pin connector. The documentation contains an explicit list of all connections of the Pixhawk 2.1.

Inhaltsverzeichnis

Lizenzierung/Licensing	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
2 Der Pixhawk 2.1 als Autopilot	2
2.1 Hintergrund & Motivation	2
2.2 Systemmodule	2
2.3 Zielsetzung dieser Arbeit	7
3 Anleitung zur Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1	8
3.1 Entpacken und Montage	8
3.2 Kabel und Anschlüsse	9
3.3 Aufspielen der Firmware	14
3.4 Hardware-Konfiguration	15
3.4.1 Konfiguration der Rahmenbauweise	15
3.4.2 Kalibrierung der Beschleunigungssensoren	16
3.4.3 Kalibrierung des Kompasses	16
3.4.4 Kalibrierung der Fernsteuerung	17
3.4.5 Flugmodus Konfiguration der Fernsteuerung	19
3.4.6 Kalibrierung der Electronic Speed Controller (ESC)	20
3.5 Erster Flug	21
3.5.1 Flugmodi	22
3.5.2 Pre-arm Safety Check	22
3.5.3 Grundlegende Justierung	23
3.6 Erweiterte Konfiguration	23
3.6.1 Automatische Justierung	23

3.6.2	Kompensation des <i>Ground Effects</i>	26
3.7	Optionale Hardware	26
3.7.1	Batterieanzeige	26
3.7.2	Fahrwerk	28
3.7.3	Abstandsmessgerät	29
3.7.4	Konfiguration der Motor–Betriebsbereiche	33
4	Entwicklung der Trägerplatine	35
4.1	Energieversorgung der Trägerplatine	36
4.1.1	Prävention des Ladungsausgleichs	36
4.1.2	Strom– und Spannungsmonitoring	36
4.1.3	Netzaufteilung	38
4.1.4	Energieversorgung zum Datentransfer per Micro–USB	41
4.1.5	Rekuperation	43
4.2	Power–Selection–Module (PSM) des Carrier Boards	44
4.2.1	Priorisierender Leistungswegregler	45
4.2.2	Leistungsschutzschaltung	45
4.2.3	3,3V Versorgung/ Strombegrenzung	46
4.2.4	Alarm–Signal Verstärker	47
4.2.5	Ein– und Ausgänge des PSMs	47
4.3	Sensorik	49
4.3.1	I2C-Bus	50
4.3.2	Telemetrie	50
4.4	Servo	53
4.5	Cube	53
4.5.1	ADS–B	54
4.5.2	Buzzer	55
4.5.3	FMU– und IO–Reset	56
4.5.4	GPS	57
4.5.5	Safety–Switch (Boot–Error LED)	59
4.5.6	Spektrum	60

5 Pinbelegung	62
5.1 Verwendete Pins	62
5.2 Nicht benutzte Pins	64
5.3 Steckerbelegung der Trägerplatine	67
5.3.1 Stecker	67
5.3.2 Steuerflächen	72
5.4 Nicht benötigte Anschlüsse des Carrier Boards	74
6 Platinenhalterung	77
7 Ausblick: Zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten	79
8 Zusammenfassung	80
Danksagung	XI
Anhang	XII
A. Revision 0: Schaltplan, Layout	XII
B. Revision 1: Schaltplan, Layout	XIV
C. PSM Schaltplan	XVI
D. CB Schaltplan	XVIII
Literatur	XXIV

Abbildungsverzeichnis

1	DJI Spreading Wings S900	3
2	Gehäuse der Versorgungsschiene mit XT-60 Anschlüssen	3
3	S900 mit dem Pixhawk 2.1 (1), Telemetrie (2), GPS (3) und dem Höhen-sensor (4)	4
4	Startbildschirm des MP	5
5	MP-Menüleiste	6
6	MP-Menüleiste	7
7	Pixhawk 2.1	9
8	Altes Steckersystem (a) und Neues Steckersystem (b)	9
9	80-Pin Anschluss am CB und Cube	10
10	Power-Modul des Pixhawk 2.1	11
11	Akku-Anschluss an Multikopter	12
12	5V/A DC-DC Wandler, 5V-Einstellung über Jumper (1)	12
13	Servo-Schiene mit Anschlüssen am Pixhawk 2.1	13
14	Motor-Signal Anschlüssen am Multikopter	13
15	Auswahl der COM-Port und BAUD-Rate	14
16	Auswahl des Fluggeräts	15
17	Behandelte Punkte im Menü: Basis Hardware	15
18	Auswahlmenü des Rahmentyps	16
19	Kompass Kalibrierung	17
20	Anzeige der PWM-Bereiche der einzelnen Kanäle	18
21	Zusammenfassung der PWM-Bereiche	19
22	Auswahl der Flugmodi	20
23	Arming Check Optionen	23
24	Basic Tuning	23
25	Kanaleinstellung 8: AutoTune	24
26	Einstellungen der <i>Batterieanzeige</i>	26
27	Einstellungen der <i>Batterieanzeige2</i>	27
28	Kalibrierungsanzeige	28

29	Servo des Fahrwerks	28
30	Kanaleinstellung 7: Landing Gear	29
31	Auswahl des Entfernungssensors	30
32	I2C–Kabelanschluss an LIDAR–Lite v3	30
33	LIDAR–Lite v3	31
34	LightWare SF11/C	32
35	Einstellung der von Gas % und Dauer(s)	34
36	Testoptionen der Motoren	34
37	Einbaurichtung der Akkus: gedreht (a) normal (b)	35
38	Spannungsmessung durch Spannungsteiler	37
39	Stromstärkenmessung mit Hall-Sensor	37
40	Schaltplan Motor–Power	38
41	Flächige Leiterbahn zwischen Hallsensor (a) und Motor-Power (b)	39
42	Netze mit 5V Versorgungsspannung – DC–DC Wandler (a); Rückflusssicherungen (b); Lötbrücken (c); Kontroll–LEDs (d); Sicherungen (e)	40
43	Linearer Spannungsregler zur 3,3V Erzeugung	41
44	Micro–USB und USB Schaltplan	42
45	Priorisierungsschaltung der Stromversorgungen	43
46	Rekuperationsschaltung – Laderegler U3; Kondensator C10	44
47	3D–Modell der Power-Selection-Module Platine	44
48	Priorisierungsschaltung der Energieversorgung	45
49	Protektions IC vor zu hohen Spannungen und Strömen	46
50	Strombegrenzung der Servoschiene/ 3,3V Versorgung	47
51	Verstärkung des Alarmsignals	47
52	Terminierungswiderstände der I2C–Busse, R1–4	50
53	Pinbeschreibung des RFD900+ (RFD868+)	51
54	RFD868+ Kabelanschluss	52
55	Schaltung des 5V, 6A DC–DC Wandlers der Servo–Schiene	53
56	ADS–B Receivers	54
57	Anschlüsse der Buzzer	56
58	Schalter FMU–Reset	56

59	Schalter IO–Reset	57
60	GPS Geräte mit Safety–Switch	57
61	Platine (oben) und Gehäuse (unten) des GPS	58
62	Schalter Safety–Switch	59
63	LED Safety–LED	59
64	LED Boot–Error–LED	60
65	Spektrum – Schaltplan	60
66	Spektrum Binden	61
67	Tabelle der verwendeten Pins	63
68	Pin 9 und 53 mit +5V_Servo verbunden	63
69	Tabelle der nicht angeschlossenen Pins	64
70	Platinenhalterung – Draufsicht	77
71	Platinenhalterung – Schnittansicht	77

Tabellenverzeichnis

1	Anschlüsse von Pixhawk	11
2	LIDAR-Lite v2 I2C-Kabelbelegung	30
3	LIDAR-Lite v3 Kabelbelegung	31
4	LIDAR-Lite v3 I2C-Kabelbelegung	32
5	LightWare SF11/C Kabelbelegung	33
6	LightWare SF11/C I2C-Kabelbelegung	33
7	5V-Netz Daten	39
8	Pinbelegung des RFD868+	52
9	Anschlüsse am Gerät des ADS-B Receivers	54
10	Anschlüsse des GPS	58
11	Analog – JST-ZH Steckersystem	67
12	Buzzer – JST-ZH Steckersystem	68
13	CAN 1	68
14	CAN 2	68
15	RC IN – normaler 3-Pin Servo-Anschluss	68
16	Spektrum – JST-ZH Steckersystem	69
17	GPS 1	69
18	GPS 2	69
19	GPS 1 mit Safety-Switch (JST-GH Steckersystem)	70
20	I2C 1	70
21	I2C 2	70
22	Safety-Switch – JST-ZH Steckersystem	71
23	Telemetrie 1	71
24	Telemetrie 2	71
25	USB/Micro-USB	72
26	Übersicht der Kanalbelegung	72
27	Copter	72
28	Copter-Füße	73
29	Flügel – Links	73

30	Flügel – Rechts	73
31	Leitwerk	74
32	Motor	74
33	Nicht benutzte Signalleitungen	74
34	Power 1	75
35	Power 2	75
36	CONs	75
37	SBUSo	75
38	USB	76

Abkürzungsverzeichnis

AP	Autopilot
CB	Carrier Board/Original-Trägerplatine
Cube	Pixhawk 2.1 Cube
ESC	Electronic Speed Controller
GND	Ground/Masse
Mosfet	Feldeffekttransistor
MP	Mission Planner
OpAmp	Operationsverstärker
PSM	Power-Selection-Module

1 Einleitung

Als Autopilot (AP) wird im Allgemeinen die automatische Steuerungsanlage in Flugzeugen oder ähnlichen Maschinen bezeichnet [11]. Diese Arbeit beschränkt sich auf die Anwendung von AP in Fluggeräten. Im Rahmen dieser Abschlussarbeit umfasst das System „Autopilot“ daher nur das Gerät mit der darauf installierten Software zur Steuerung eines Fluggeräts und die bereits integrierten Sensoren (siehe Kapitel 2.2). Alle externen Anschlüsse und Sensoren fallen nicht unter den Begriff des APs.

Der AP, Pixhawk 2.1 wurde von der Firma ProfiCNC mit der Hilfe von Hex, enRoute, 3DR, Ardupilot und dem PX4 Team entwickelt. Dieser AP ist das Ergebnis vieler Entwickler der „Open Source“ Gemeinschaft [21]. Im Nachfolgenden werden die Begriffe Cube und AP synonym verwendet.

Um auf den AP zu zugreifen wird das Programm MP, mit der Version 1.3.50, benutzt. Über den MP können jegliche Einstellungen und Missionen auf den Cube hochgeladen werden. Auch während des Fluges werden alle Daten dem MP übergeben.

2 Der Pixhawk 2.1 als Autopilot

2.1 Hintergrund & Motivation

Es gibt eine Serie von Pixhawk-Autopiloten. Der Pixhawk 2.1 ist das jüngste Mitglied der Pixhawk-Familie. Der Pixhawk 2.1 ist mit besseren Sensoren und Rechenleistung ausgestattet. Es sind bereits Trägerplatten für ältere Modelle des Pixhawks vorhanden. Das Ziel des Labors für Systemtechnik der Hochschule München ist an den AUVSI Wettbewerben teil zu nehmen. Für die Teilnahme ist die Verwendung des Pixhawks mit einer individuell angepassten Trägerplatine sehr interessant. Durch die schnellere Verarbeitung von Sensordaten kann ein stabilerer Flugzustand hergestellt werden. Auch können die Missionen des Wettbewerbs präziser ausgeführt werden. Der Pixhawk 2.1 ist im Vergleich zu seinen Vorgängern sehr kompakt. Auf Grund der geringen Abmaße des Cubes (38mm x 38mm x 22mm) kann die Trägerplatine kompakt gebaut werden. Des Weiteren ist die Trägerplatine verhältnismäßig äußerst klein.

2.2 Systemmodule

In der heutigen Zeit werden Drohnen, neben der schon langjährigen militärischen Anwendung, immer häufiger auch in der Industrie aber auch privat genutzt. Die Einsatzbereiche erstrecken sich von der automatischen Paketzustellung bis hin zu privaten Luftaufnahmen der Natur und Personen. Die manuelle Steuerung rückt dabei immer weiter in den Hintergrund. So ist für die Industrie aber auch für den privaten Gebrauch die Anwendung eines Autopiloten essentiell. Der Hexakopter S900 der Firma DJI ist mit sechs Motoren, Motor-Kontroller und einem einziehbaren Fahrwerk ausgestattet. An der Unterseite kann eine Kamera für Luftaufnahmen bzw. jegliche andere Nutzlast bis 3,5kg befestigt werden.



Abbildung 1: DJI Spreading Wings S900

Bildquelle: [10]

In den Multikopter sind die wichtigsten Geräte zur automatischen Flugführung integriert. Die Motoren, das Fahrwerk und das Gerät der Nutzlast benötigen die originale Akkuspannung. Von einer Versorgungsschiene in der Mitte des Kopters (Abbildung 2), wird die Akkuspannung auf alle internen Systeme verteilt. Externe Verbraucher können über XT-60 Stecker an die Versorgungsschiene angeschlossen werden.

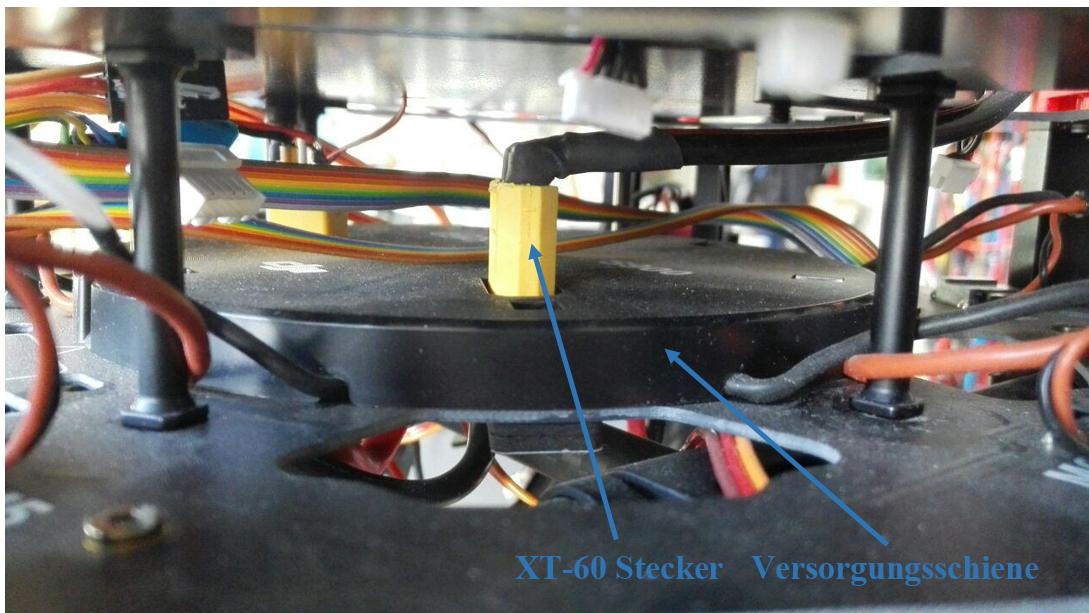


Abbildung 2: Gehäuse der Versorgungsschiene mit XT-60 Anschlüssen

Durch zusätzliche Sensoren kann die Performance des automatischen Fluges verbessert werden. Für den standardmäßigen Gebrauch sind die verwendeten Sensoren aus Abbildung 3 ausreichend.



Abbildung 3: S900 mit dem Pixhawk 2.1 (1), Telemetrie (2), GPS (3) und dem Höhensensor (4)

Im Cube des Pixhawk 2.1 sind ein Gyroskop, Beschleunigungssenoren, magnetischer Kompass und ein barometrischer Höhensensor integriert. Der Gyrosensor misst die Winkelgeschwindigkeit und errechnet draus die Lage des AP im Raum. Das Gyroskop beruht auf der Funktion der Kreiselgeräte [12]. Der Kompass gibt die Position AP an. Mit Hilfe des barometrischen Höhensensors errechnet der Pixhawk 2.1 die Höhe des Fluggeräts. Die zu messende Größe ist der vorherrschenden Umgebungsdruck [18].

Das *Armen*

Analog wie im Auto, bevor sich der Motor starten lässt muss die Zündung eingeschaltet werden. Sobald die Zündung aktiv ist lässt sich das Lenkrad drehen, ohne die Sperre zu aktivieren. Auch andere Funktionen lassen sich nur benutzen sobald die Zündung an ist. Beim Pixhawk 2.1 ist es ähnlich. Jedoch nennt sich hier dieser Vorgang *Armen*. Dieser Begriff leitet sich von der englischen Form „to arm sth.“ her, was so viel bedeutet wie

„etwas scharf machen/schalten“.

AP des Modellflugsektors haben zwei Stufen des *Armens*. Die erste Stufe wird über den Safety-Switch (einem rot blinkenden Button) aktiviert und wird im Folgenden als „Safety-Arm“ bezeichnet. Alle Servo-Signalleitungen sind im Safety-Arm Modus aktiv. Motoren und das Fahrwerk empfangen nun ein Signal und können getestet bzw. kalibriert werden. Um den Safety-Arm zu aktivieren muss, wie oben erwähnt, der Safety-Switch gedrückt werden bis dieser aufhört zu blinken und konstant rot leuchtet. Zum Deaktivieren diesen solange drücken bis die LED wieder blinkt.

Die zweite Stufe des *Armens* kann nur eingeleitet werden, wenn der Safety-Arm aktiv ist. Das Fluggerät ist nun startbereit, das heißt der Motorschub lässt sich regulär über den RC-Receiver steuern. Hierfür muss der Gashebel des RC-Receiver ungefähr fünf Sekunden am linken Anschlag des Seitenruders gehalten werden. Umgekehrt muss der Gashebel des RC-Receiver dieselbe Zeit an den rechten Anschlag des Seitenruders zum Deaktivieren gehalten werden. Diese Stufe des *Armens* wird im Folgenden als RC-Arm bezeichnet.

Der Mission Planner (MP)

Über die Software MP kann auf den Pixhawk 2.1 zugegriffen werden. Alle notwendigen Einstellungen werden mit diesem Programm aufgespielt. Der MP erhält laufend Updates. Für diese Abschlussarbeit wurde die Software-Version v1.3.50 verwendet.

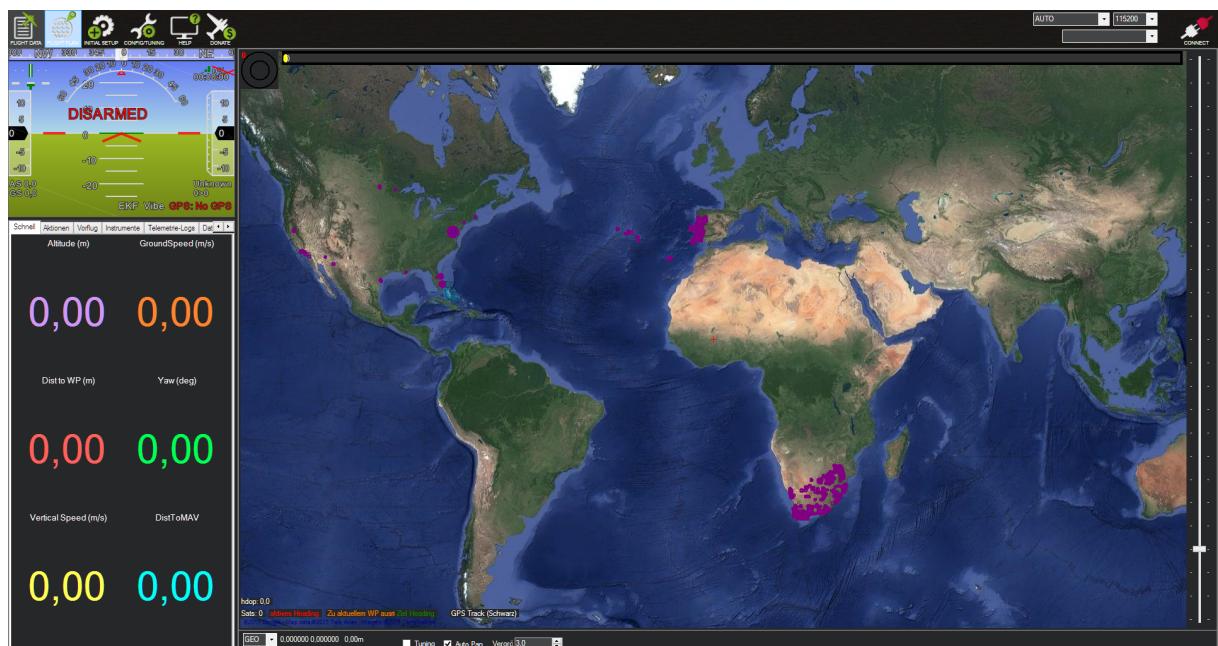


Abbildung 4: Startbildschirm des MP

Über die Menüleiste (Abbildung 5) wird der AP kalibriert, konfiguriert und überwacht. Die

Menüleiste besteht aus folgenden Bereichen *FLIGHT DATA*, *FLIGHT PLAN*, *INITIAL SETUP*, *CONFIG/TUNING*, *SIMULATION*, *TERMINAL*, *HELP* und *DONATE*.



Abbildung 5: MP–Menüleiste

Es folgt eine kurze Auflistung der standardmäßig benutzten Menüpunkte und deren Funktionen.

- *FLIGHT DATA*: Überwachung des Flugzustands mit Echtzeitdaten und Positionsangabe
- *FLIGHT PLAN*: Planung der Flugroute per Wegpunkten auf der Weltkarte
- *INITIAL SETUP*: Menü zur Kalibrierung des Fluggeräts mit Auswahl der Sensoren
- *CONFIG/TUNING*: Menü für erweiterte Einstellungen
- *SIMULATION*: Überprüfung der zufliegenden Mission gekoppelt mit einem Flugsimulator

Einstellungen die nur den MP an sich betreffen, sollten nur geändert werden, wenn kein AP angeschlossen ist. Zur richtigen Kalibrierung mancher Sensoren und Flugmodi müssen einzelne Parameter geändert werden. Unter *Full Parameter List/Full Parameter Tree* sind alle Parameter des Pixhawk 2.1 aufgelistet. Um auf diese Listen zugreifen zu können, muss im Menüpunkt *CONFIG/TUNING*, *Planner* bei *Layout* der Modus von *Basis* ⇒ *Advanced* geändert werden (Abbildung 6). Die Sprache kann unter *UI Sprache* ausgewählt werden. *Full Parameter List/Full Parameter Tree* sind anschließend im Menü *CONFIG/TUNING* zu finden.



Abbildung 6: MP–Menüleiste

2.3 Zielsetzung dieser Arbeit

Diese Abschlussarbeit dient der Entwicklung einer funktionsfähigen Trägerplatine für den Cube. Die Trägerplatine soll auf dem Hexakopter S900 zum Einsatz kommen. Ein Bestandteil der Dokumentation soll eine ausführliche Anleitung, vom ersten Auspacken des Pixhawk 2.1 bis zum flugfähigen Kopter sein. Auch eine kleine Einführung in die Software MP ist enthalten. Nachfolgenden Studenten soll dieses Dokument zur vollständigen Einarbeitung in die Entwicklung der Trägerplatine dienen. Des Weiteren ist die Auflistung aller Anschlüsse des Cubes und deren Anwendung und Funktion enthalten.

Für weiterführende Projekte in Bezug auf den Cube sind Vorschläge für Verbesserungen der Trägerplatine bzw. der anzuwendenden Sensorik ausgearbeitet.

3 Anleitung zur Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1

Die Inbetriebnahme des AP erfolgt unter der offiziellen Anleitung von Ardupilot [2] mit der Software MP der Version 1.3.50. Die Punkte vor dem Kapitel 3.3 werden nicht in der Anleitung behandelt. Als Fluggerät wurde ein S-900 Multikopter mit sechs Rotoren verwendet. In dieser Anleitung wird der Cube mit seinem originalen CB verwendet. Sobald die entwickelte Trägerplatine mit dem implementierten Cube auf dem Multikopter installiert wird können einige externe Bauteile weggelassen werden. Die Inbetriebnahme des Cubes ändert sich jedoch nicht.

Diese Anleitung enthält nur die Schritte die zur Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1 durchgeführt wurden. Alle Schritte werden separat durchgearbeitet. Der MP bietet jedoch auch die Möglichkeit alle Grundeinstellungen mit dem „Wizard“ durchzuführen. In diesem Werkzeug werden alle grundlegenden Punkte dieser Anleitung mit zusätzlichen Einstellungen, wie z.B. dem Monitoring der Akkus, der Reihe nach durchgegangen. Bestimmte Punkte können auch übersprungen werden falls diese Einstellungen nicht relevant sind. Unter den Menüpunkten im *INITIAL SETUP* kann der *Wizard* gestartet werden. Bei bestimmten Geräten kann es bei der Kalibrierung vereinzelt zu Fehlern während der Kalibrierung kommen. In der offiziellen Anleitung unter ardupilot.org/copter/ sind alle offiziell bekannten Fehler mit Lösung beschrieben.

3.1 Entpacken und Montage

Der Pixhawk 2.1 ist zuerst nach dem Herausnehmen aus der Verpackung auf seine Unversehrtheit zu überprüfen. Nach dem Entpacken ist der gesamte Inhalt auf seine Vollständigkeit zu kontrollieren. Mit Hilfe der mitgelieferten klebenden Schaumstoff-Pads kann der Pixhawk 2.1 auf der für den AP festgelegten Flächen befestigt werden. Alternativ dazu werden Klebestreifen mit Klettverschluss verwendet. Dies ermöglicht eine einfache Wiederabnahme. Bei der Montage ist darauf zu achten den Pixhawk 2.1 möglichst in Flugrichtung zu montieren. Ein weißer Pfeil auf der Oberseite des Cubes zeigt die normale Flugrichtung an. Falls es nicht möglich ist den AP in Flugrichtung zu montieren muss dies der Flugregelungssoftware mitgeteilt werden.

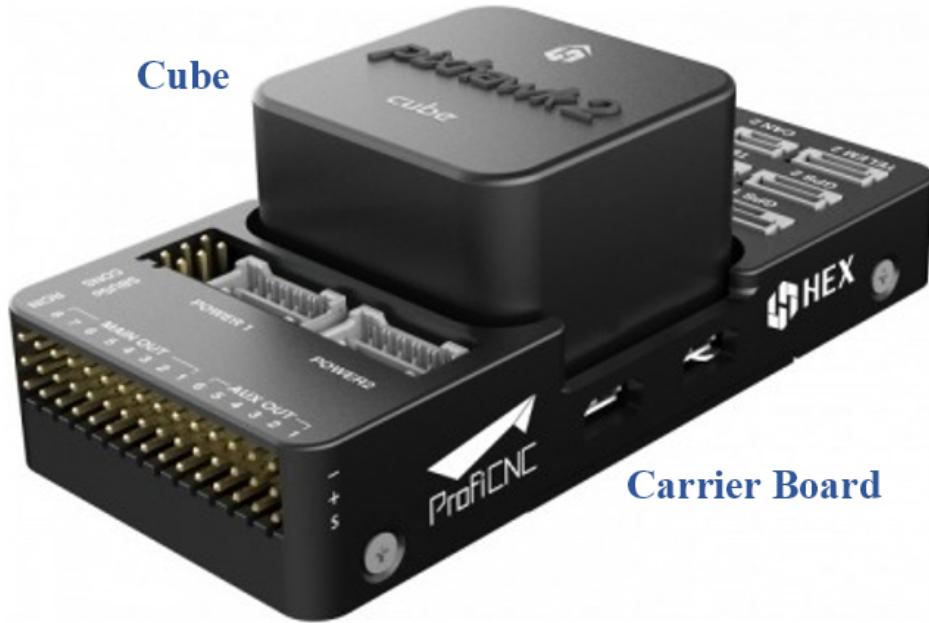


Abbildung 7: Pixhawk 2.1

Bildquelle: [23]

3.2 Kabel und Anschlüsse

Im Pixhawk 2.1 wurde ein Steckersystem verwendet, welches, im Vergleich zu seinen Vorgängermodellen, ein einfaches und kontrolliertes An- und Abstecken erlaubt (Abbildung 8).



Abbildung 8: Altes Steckersystem (a) und Neues Steckersystem (b)

Des Weiteren ist das CB und der Cube (Abbildung 7) über einen 80-Pin-Stecker (Abbildung 9) miteinander verbunden.

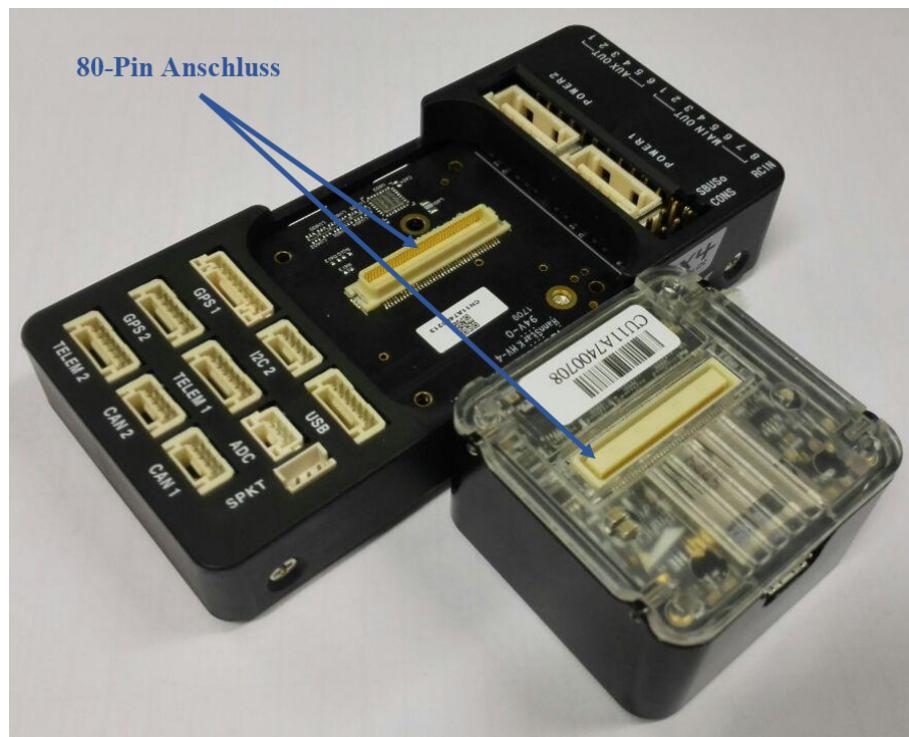


Abbildung 9: 80-Pin Anschluss am CB und Cube

Alle Bezeichnung und Beschreibung der Anschlüsse des CB sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Anschlüsse	Erklärung	Stecker
Power1	Stromversorgung	Akku 1
Power2	Stromversorgung	Akku 2
TELEM 1 (Serial 1)	Telemetrie 1	Telemetrie-Antenne
TELEM 2 (Serial 2)	Telemetrie 2	Telemetrie-Antenne
GPS 1 (Serial 3)	GPS 1	GPS & Magnetkompass
GPS 2 (Serial 4)	GPS 2	ADSB (Kollisionswarnsensor)
CAN 1	CAN-Bus 1	-
CAN 2	CAN-Bus 2	-
I2C 2	I2C 2	Höhensorik etc.
USB	USB-Anschluss	Buzzer etc.
ADC	Analogeingang	analoge Sensorik
SPKT	Spektrum	Digitaler Empfänger (Transmitter)
SBUSo	SBUS-out	-
CONS	CONS	-
RC IN	RC Eingang	PWM Empfänger (Transmitter)
MAIN OUT	Hauptkanäle	Servos
AUX OUT	Zusatzkanäle	Servos

Tabelle 1: Anschlüsse von Pixhawk

Mit der Stromversorgung von Power1&2 werden auch die Ladezustände überwacht. Für eine korrekte Stromversorgung muss ein *Power Modul* zwischen Akku und AP geschaltet werden, dieses liefert eine konstante 5V Spannung mit zusätzlichen Informationen zum Akkuzustand.

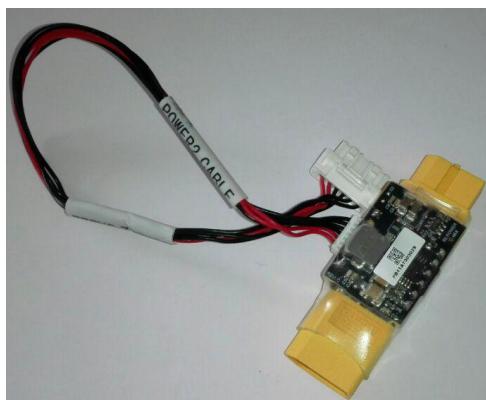


Abbildung 10: Power-Modul des Pixhawk 2.1

Für den Betrieb mit dem originalen Pixhawk 2.1 wurde im Multikopter kein Power-Modul verwendet. Denn das Power-Modul des Pixhawk verfügt nur über XT-60 Anschlüsse. Der

Akku des Kopters hingegen kann nur über einen *Powerpole*-Adapter angeschlossen werden (Abbildung 11). Für den Multikopter übernimmt eine Platine das Monitoring von Strom, Spannung. Zusätzlich ist der *Powerpole* Anschluss für den Akku auf der Platine integriert.

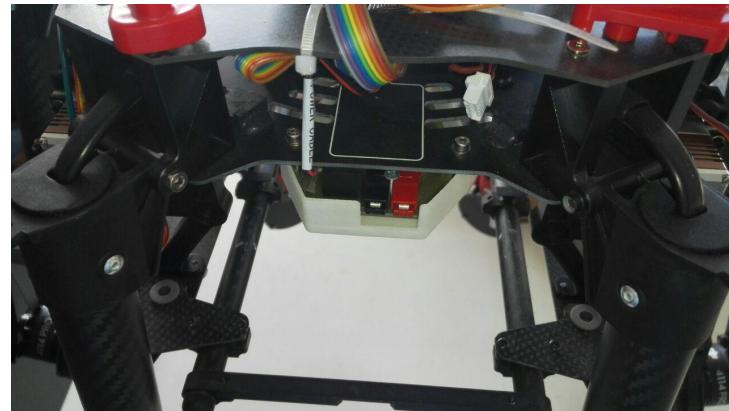


Abbildung 11: Akku–Anschluss an Multikopter

Geräte und Sensoren, die über einen Serial-Anschluss verfügen, wie z.B. der Kollisionswarnsensor ADS–B (Kapitel 4.5.1), können an jedem freien Serial-Anschluss angeschlossen werden.

Die Servoschiene benötigt eine Stromversorgung von 5V und 5A. Da der Pixhawk 2.1 die Servoschiene nicht mit Strom und Spannung versorgt, wird ein zwischengeschalteter DC-DC-Wandler benutzt.

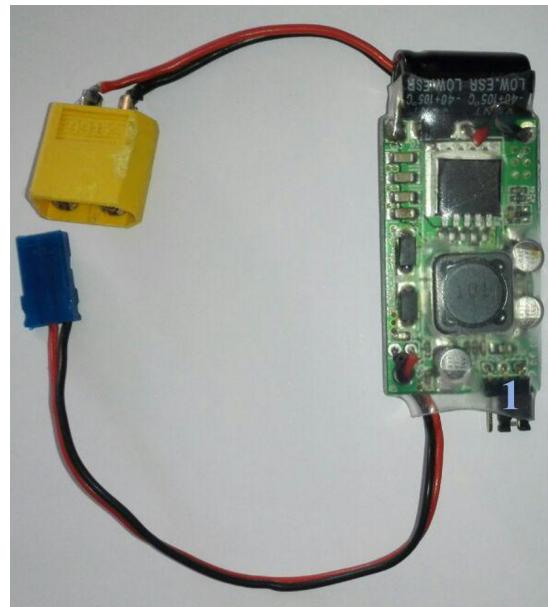


Abbildung 12: 5V/A DC–DC Wandler, 5V–Einstellung über Jumper (1)

Die Signale für alle Servos bzw. Motoren werden an die *MAIN OUT* Schiene angeschlossen.

sen. Das Fahrwerk ist als einzige Servoeinheit an *AUX OUT*, Kanal 1 angeschlossen.

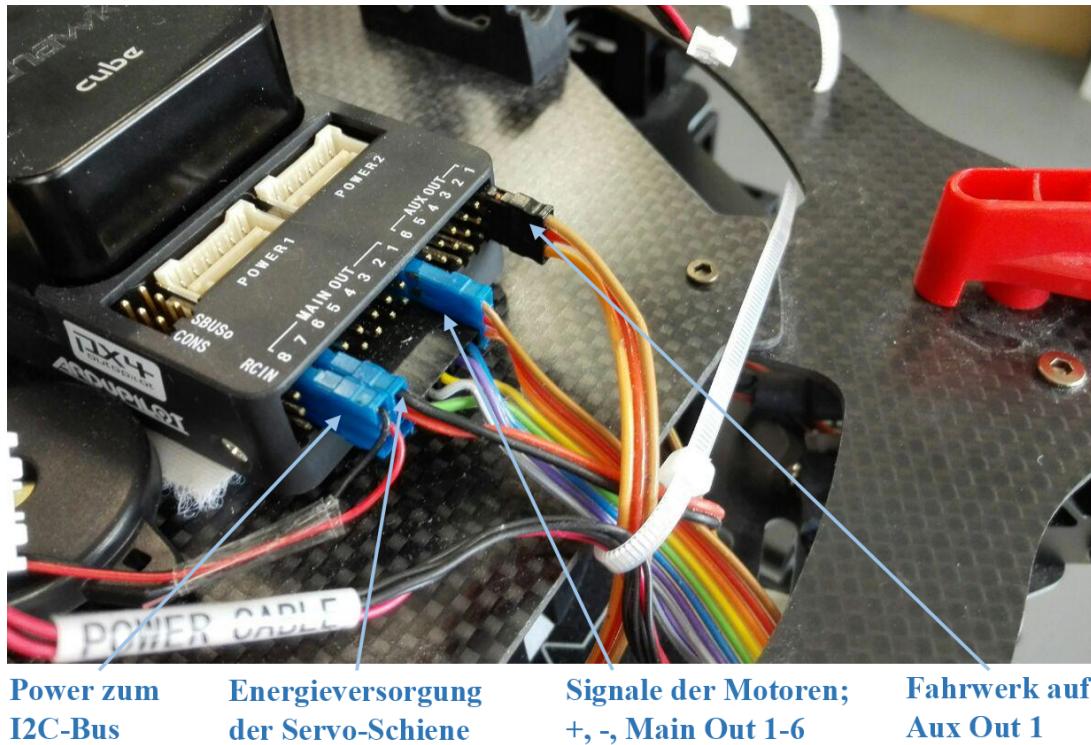


Abbildung 13: Servo-Schiene mit Anschlüssen am Pixhawk 2.1

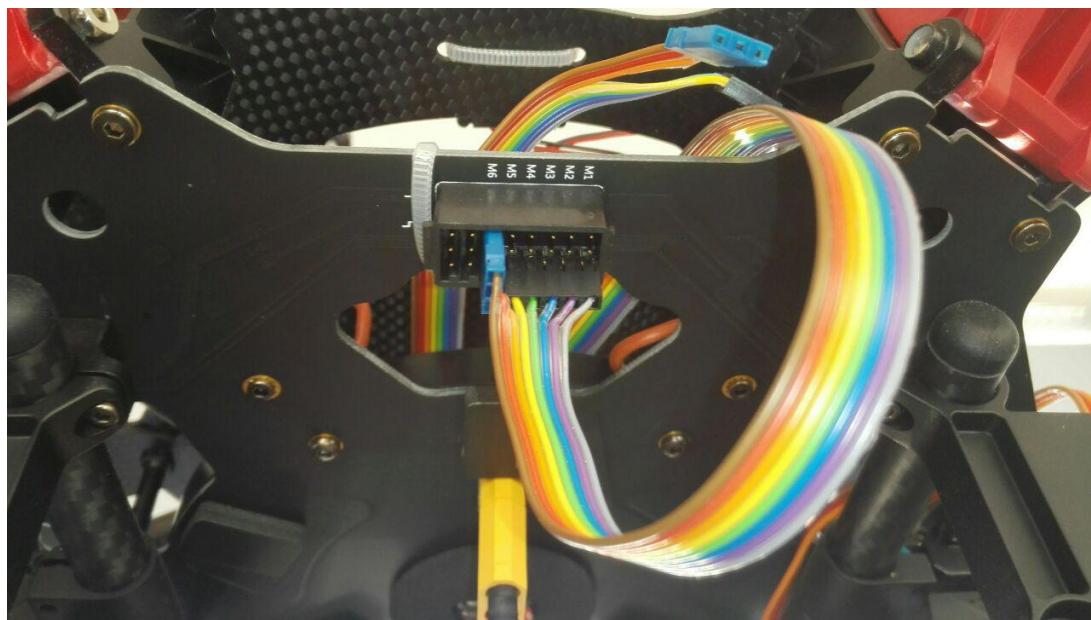


Abbildung 14: Motor-Signal Anschlüsse am Multikopter

Für den Multikopter wurde der I2C 2 Anschluss mit einer I2C-Steckerleiste erweitert. Da, wie oben erwähnt, im Pixhawk 2.1 ein neues Steckersystem verbaut ist, wurden die

I2C-Signalleitungen aus dem Serial-Anschluss GPS 2 verwendet, die normalerweise zur Ansteuerung des Magnetkompasses dient. Die I2C-Steckerleiste wird von der Servoschie-ne mit Spannung versorgt.

Für die Testflüge wurde nur ein LIDAR-Höhensensor, der auf den I2C-Bus angeschlossen ist, verwendet. Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass zwei verschiedene Ansteckoptionen für die RC-Empfänger vorhanden sind. Im Multikopter wurde ein RC-Empfänger mit Spektrum-Anschluss verwendet.

3.3 Aufspielen der Firmware

Das Aufspielen der Firmware auf den Cube erfolgt per Kabel. Über den MicroUSB-Anschluss wird der AP an den Computer angeschlossen. Im MP muss der COM-Port und die BAUD-Rate (Abbildung 15) richtig eingestellt sein. Wichtig dabei ist, den MP noch nicht mit dem Cube zu verbinden.

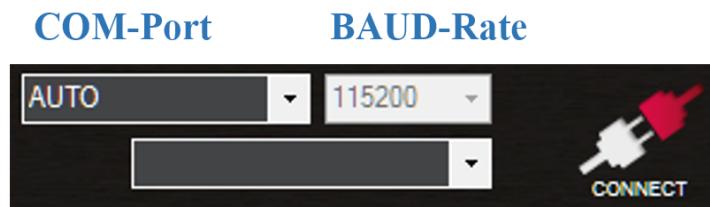


Abbildung 15: Auswahl der COM-Port und BAUD-Rate

Unter *INITIAL SETUP* im Reiter *Firmware installieren* muss das entsprechende Flug-gerät (Abbildung 16) ausgewählt werden. Als Fluggerät wird der Hexakopter mit der Firmware Version „APM: Copter V3.5.4 Hexa“ verwendet. Bei den weiteren Schritten ist den Anweisungen des MPs Folge zu leisten. [5]

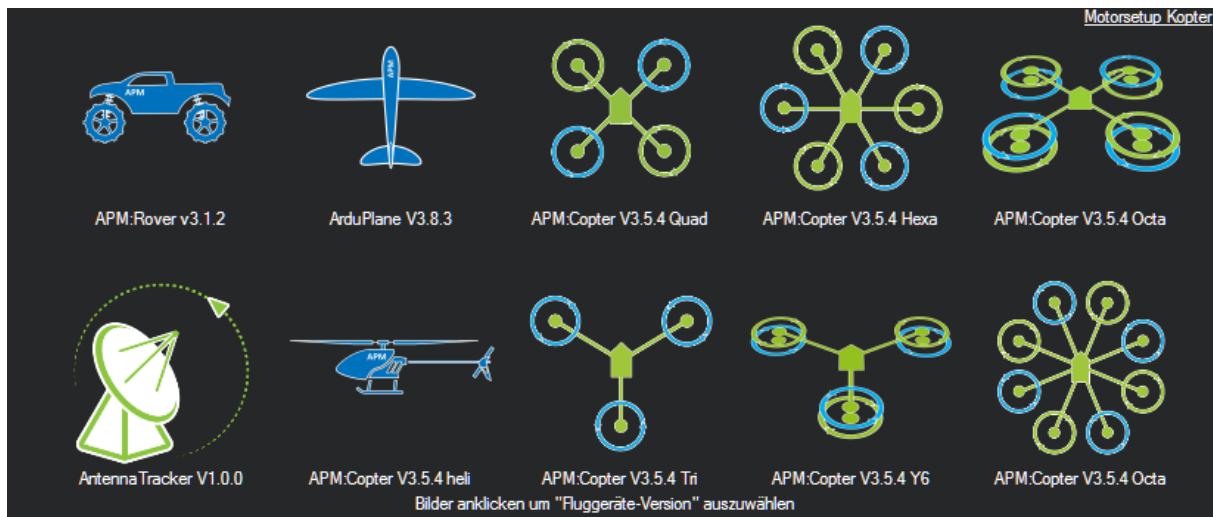


Abbildung 16: Auswahl des Fluggeräts

3.4 Hardware-Konfiguration

Zur Konfiguration der Hardware werden unter *INITIAL SETUP* \Rightarrow *Basis Hardware* die verschiedenen Menüpunkte durchgearbeitet (Abbildung 17). Es ist äußerst wichtig zu beachten in welche Richtung der Pixhawk 2.1 im Bezug zur Flugrichtung montiert ist. Falls der AP nicht in Flugrichtung montiert sein sollte, muss dies im MP explizit eingestellt werden. Dieser Fall ist jedoch nicht optimal. Während die Einstellungen vorgenommen werden, muss das Fluggerät mit dem MP verbunden sein. [5]



Abbildung 17: Behandelte Punkte im Menü: Basis Hardware

3.4.1 Konfiguration der Rahmenbauweise

Im Menüpunkt *Rahmentyp* ist unter *Frame Class* die Anzahl der Rotoren bzw. um welche grundlegende Art von Kopter es sich handelt einzustellen. Danach muss der *Rahmentyp* ausgewählt werden. Hierbei sind Flug- und Motorendrehrichtung entscheidend. In den

graphischen Darstellungen wird über den Pfeil in der Narbe die Flugrichtung angegeben, dabei ist auf die Anordnung der Rotoren zu achten (Abbildung 18). [5]

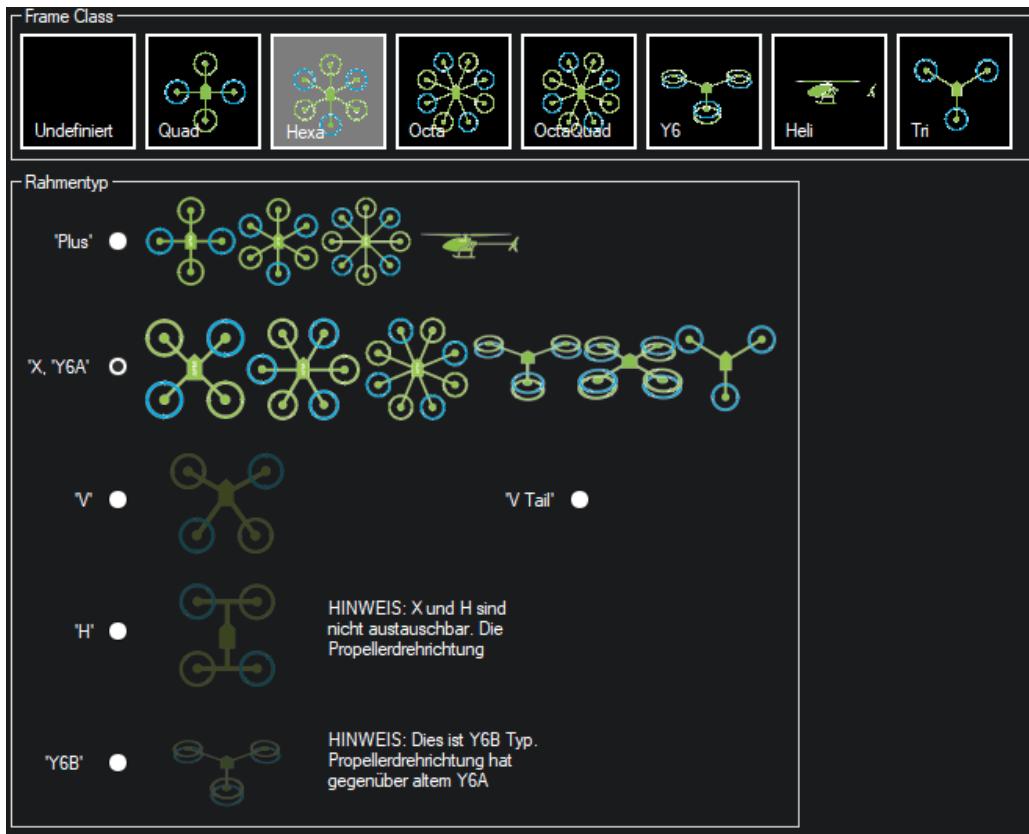


Abbildung 18: Auswahlmenü des Rahmentyps

3.4.2 Kalibrierung der Beschleunigungssensoren

Unter *Kalibrierung Beschleunigung* wird die Kalibrierung der Beschleunigungssensoren durch Klicken auf die Schaltfläche *Beschl. kalib.* gestartet. Für die Kalibrierung ist der AP nacheinander auf alle Seiten zu legen. Um Fehler in der Kalibrierung zu vermeiden, ist es äußerst wichtig den Flugregler still zu halten und diesen dabei nicht zu bewegen. Falls das Fluggerät zu sperrig für eine ruhige Ausrichtung ist, muss der Pixhawk 2.1 vom Fluggerät abmontiert werden. Der MP zeigt an in welche jeweilige Position der AP auszurichten ist. Die einzelnen Ausrichtungen müssen separat bestätigt werden um fortzufahren. [5]

3.4.3 Kalibrierung des Kompasses

Die Kompass-Kalibrierung erfolgt im Menüpunkt *Kompass*. Zuerst muss ausgewählt werden welcher AP verwendet wird, anschließend wird der Kalibrierungsstart unter *Onboard Mag Calibration* gestartet. Während der Kalibrierung muss der Multikopter solange mit den Händen in der Luft in alle Richtungen geschwenkt werden bis sich alle grünen Balken

bei 100% befinden.

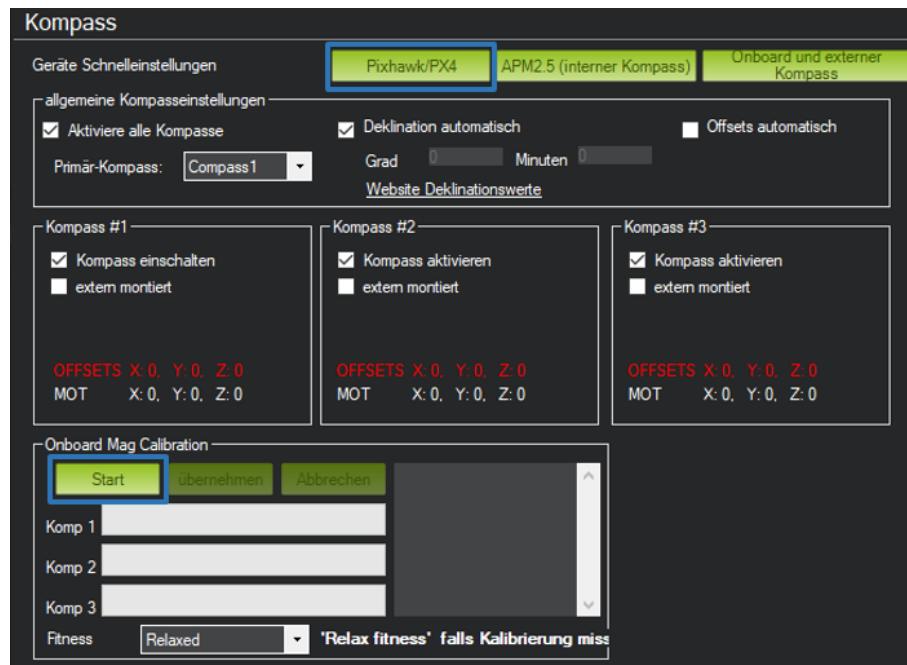


Abbildung 19: Kompass Kalibrierung

Anschließend muss ein Neustart erfolgen. Hierfür zuerst die Verbindung zwischen MP und Pixhawk trennen, den Flugregler aus- und einschalten und wieder mit dem MP verbinden. [5]

3.4.4 Kalibrierung der Fernsteuerung

Bevor mit der Kalibrierung begonnen werden kann, muss die Belegung der Steuerknüppel definiert werden. In diesem Fall wurde auf den rechten Steuerknüppel Kanal 1 & 2 mit Rollen & Nicken gelegt, für den zweiten Steuerknüppel wurden Kanal 3 & 4 mit Gas & Gieren definiert. Die restlichen Kanäle 5 – 8 können je nach Bedarf auf die Schalter des RC-Transmitters gelegt werden. Diese Einstellungen sind in der Fernsteuerung einzustellen. Der Kanal 5 ist für die Einstellung der Flugmodi reserviert. Es kann lediglich ausgewählt werden welcher Schalter an der Fernbedienung dafür verwendet werden soll. Die Funktionen der Kanäle 6–8 können im MP frei definiert, werden. In der Plane-Firmware der Flugzeuge kann der Kanal zur Einstellung der Flugmodi über den Parameter `FLT_MODE_CH` beliebig auf jeden Kanal gesetzt werden. Diese Option ist beim Kopter nicht vorhanden.

Bevor mit dem Vorgang des Kalibrierens begonnen wird, muss gewährleistet sein, dass durch das Fluggerät bzw. die Rotoren niemand verletzt werden kann. Jedoch sollten bei der Kalibrierung keine (Servo-)Motoren angesteuert werden. Das Fluggerät muss mit der

Fernsteuerung verbunden sein. Zum Starten der Kalibrierung unter *Kalibrierung RC-Steuerung* auf *Sender kalibrieren* klicken. Nun müssen alle Steuerknüppel, Schalter denen Kanäle zugewiesen sind bis zu den Anschlägen bewegt werden.

Die Richtungen der grünen Anzeigen im MP müssen mit den Bewegungsrichtungen der Fernbedienung übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall müssen die Kanäle in den Einstellungen der Fernsteuerung oder im MP umgekehrt werden. Die einzige Ausnahme gilt für *Pitch/Nicken*, die grünen Anzeigebalken bewegen sich entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung am Sender.



Abbildung 20: Anzeige der PWM-Bereiche der einzelnen Kanäle

Sobald die Kalibrierung abgeschlossen ist und die minimalen, maximalen Positionen der Kanäle erfasst wurde, gibt der MP eine Zusammenfassung aller Werte aus. Normalerweise liegen diese Werte ungefähr zwischen 1100 und 1900. Abschließend müssen die Fernsteuerung und der AP abgeschaltet werden. [5]

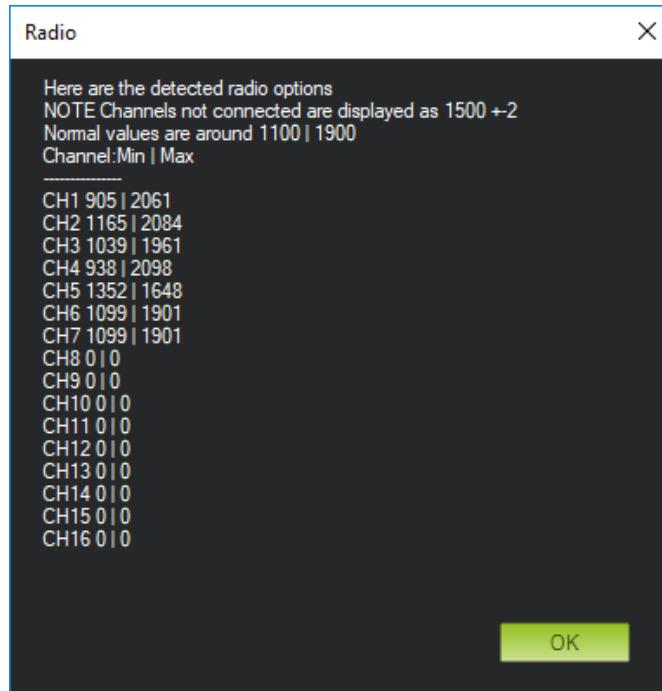


Abbildung 21: Zusammenfassung der PWM–Bereiche

3.4.5 Flugmodus Konfiguration der Fernsteuerung

Unter dem Menüpunkt *Flugmodi* können bis zu sechs Flugmodi eingestellt werden. An der Fernbedienung werden die verschiedenen Flugmodi selektiert. Die Auswahl des aktuellen Flugmodus wird über den Kanal 5 geregelt. Jedem Flugmodus ist ein bestimmter PWM–Bereich zu geordnet. Um alle Flugmodi gleichzeitig nutzen zu können, muss die Fernsteuerung über einen Schalter mit sechs Positionen verfügen, damit alle PWM-Bereiche angesteuert werden können.

Zum Starten der Kalibrierung ist es zuerst erforderlich den RC-Transmitter einzuschalten und mit dem Fluggerät zu verbinden. Das Fluggerät ist danach mit dem MP zu verbinden. Durch das Betätigen des entsprechenden Schalters, färbt der MP den aktiven Flugmodus grün ein (Abbildung 22).

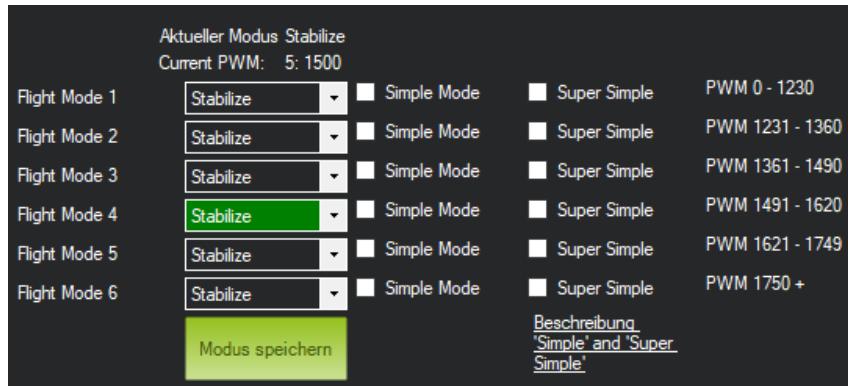


Abbildung 22: Auswahl der Flugmodi

Da an Fernbedienungen standardmäßig nur Schalter mit einer maximalen Positionsanzahl von drei eingebaut sind, kann meistens nicht die maximale Anzahl an Flugmodi ausgenutzt werden. Je nachdem welche Flugmanöver geflogen werden sollen, sind immer wieder unterschiedliche Flugmodi einzustellen. Die geänderte Konfiguration muss anschließend über *Modus speichern* an den AP noch übertragen werden. [5]

3.4.6 Kalibrierung der ESC

Bei der Kalibrierung der ESCs ist es essentiell zu wissen welche ESCs benutzt werden. So ist vor dem Beginn der Kalibrierung auf deren Tonsignale zu achten. Da mit den Motoren gearbeitet wird, ist es besonders relevant für die eigene Sicherheit und die des Umfeldes zu sorgen. Das Fluggerät ist gegen ungewollte selbstständige Bewegungen, in Bezug auf rotierende Teile und gegen unbefestigte Kabel zu sichern. Weiterhin darf der AP nicht über USB-Kabel mit dem MP verbunden sein.

Fernbedienung und Fluggerät müssen sich am Anfang im ausgeschalteten Zustand befinden. Anschließend wird die Fernsteuerung eingeschaltet und der *Throttle-Stick* auf Vollgas gesetzt. Nun wird das Fluggerät an die Energieversorgung angeschlossen. Daraufhin wird die Energieversorgung ab- und erneut angesteckt. Den Safety-Button gedrückt halten bis er nur noch rot leuchtet. Der Pixhawk 2.1 bestätigt seinen aktuellen Status durch zwei Tonabfolgen, beide enthalten mehrere „Piep-Töne“. Die erste Tonabfolge enthält die Anzahl an Tönen nach Zellen des Akkus, wohingegen die zweite Tonfolge nur aus zwei längeren Tönen besteht. Die zweite Tonabfolge ist die akustische Bestätigung der korrekten Erkennungen des maximalen Schubs. Im nächsten Schritt wird an der Fernbedienung der, sich immer noch auf Vollgas befindende, Steuerknüppel auf null gesetzt. Im Anschluss daran ertönen ein letztes Mal zwei längere Töne. Nun ist die Nullposition des Gasknöpels erkannt worden und die Kalibrierung ist beendet. Sobald an der Fernsteuerung das Gas erhöht wird, werden die Motoren zu drehen beginnen. Zum Schluss das Gas auf das Minimum reduzieren und die Energieversorgung vom Kopter trennen. Der ESC-Kalibrierungsmodus

ist nun beendet. [5]

Der zusammengefasste Ablauf der ESC-Kalibrierung:

1. Fernbedienung und Fluggerät sind ausgeschaltet
2. Fernbedienung einschalten und auf Vollgas setzen
3. Fluggerät mit Energie versorgen
4. Fluggerät von Energieversorgung trennen
5. Fluggerät mit Energie versorgen
6. Safety-Button drücken bis er durchgehend rot leuchtet
7. Akustische Bestätigung von maximalem Schub
8. Gasknöppel auf null setzen
9. Akustische Bestätigung von minimalem Schub, Schub zum Testen der Motoren leicht erhöhen
10. Schub auf null setzen, Energieversorgung des Kopters unterbrechen

Nach der Kalibrierung der ESCs müssen noch die Betriebsbereiche angepasst werden. Dies wird in Kapitel 3.7.4 beschrieben.

3.5 Erster Flug

Für den ersten Flug bzw. zwischen den ersten Flügen, sind noch einige spezifische Einstellungen zu tätigen. Diese variieren und hängen stark von Abläufen ab, die das Fluggerät fliegen soll. Da die Flugregelungskontroller noch nicht richtig eingestellt sind, können diese zwischen den ersten Flügen manuell und automatisch angepasst werden.

Alle zusätzlichen Elemente wie Sensoren und Fahrwerk, sowie das essentielle Monitoring der Akku(s), bedürfen einer individuellen Konfiguration und Kalibrierung. Wenn nichts anderes angegeben ist, sind die verschiedenen Reiter in der Menüleiste unter *CONFIG/TUNING* im MP zu finden. [4]

3.5.1 Flugmodi

Wie bereits oben erwähnt, erfordern unterschiedliche Flugmanöver spezielle Flugmodi. Diese können wie in Kapitel 3.4.5 erwähnt im Menüpunkt *Flugmodi*, über „Drop–Down Menüleisten“, für die verschiedenen Flugmodi konfiguriert werden.

Im Allgemeinen sollten für Testflüge und Einsteiger nur folgende Flugmodi verwendet werden:

- Stabilize (*Stabilisieren*)
- Alt Hold (*Höhe halten*)
- Loiter (*Kreisen*)
- RTL (*Return–to–Launch/Zurück–zum–Start*)
- Auto (*Automatisch*)

Einsteiger haben zusätzlich zu diesen standard Flugmodi die Möglichkeit den Modus *Simple Mode* oder *Super Simple* zu wählen. Diese Modi erleichtern die manuelle Flugsteuerung für Einsteiger extrem, da kein Vorwissen erforderlich ist. Knüppel nach vorne, Kopter fliegt nach vorne. Knüppel zurück, Kopter fliegt zum Piloten zurück. Für bestimmte Konfigurationen bzw. für spezielle Missionen stehen eine Reihe von weiteren Flugmodi zur Verfügung. [4]

3.5.2 Pre-arm Safety Check

Als Schutz vor ungewollten Beschädigungen ist, in der Software des Multikopters, ein *Pre–Arm Safety Check* integriert. Es werden bestimmte Parameter auf ihre Plausibilität überprüft. Sollte ein Parameter nicht in den definierten Grenzwerten liegen kann der RC-Arm nicht aktiviert werden und der Kopter somit nicht starten. Die Liste der durchgeföhrten Checks und der Fehlermöglichkeiten bzw. die Lösungen der Fehler ist zu umfangreich um hier alle aufzulisten. Die exakte Beschreibung der durchgeföhrten Tests und der Fehlerbehebungen, ist unter [4] im Reiter *Pre–Arm Safety Check* zu finden.

Die Einstellungen des *Pre–Arm Safety Checks* sind unter *Standard Params* ⇒ *Arming Check* zu finden. Der Safety Check kann deaktiviert werden. Es besteht allerdings die Möglichkeit einzelne Systemüberprüfungen im Safety Check zu überspringen. Er sollte jedoch nur beschränkt oder ausgeschaltet werden, wenn es keinen Zweifel an der Flugfähigkeit des Fluggeräts gibt. Zur Deaktivierung bzw. Einschränkung des Safety–Checks, die gewünschte Einstellung auswählen (Abbildung 23). [4]

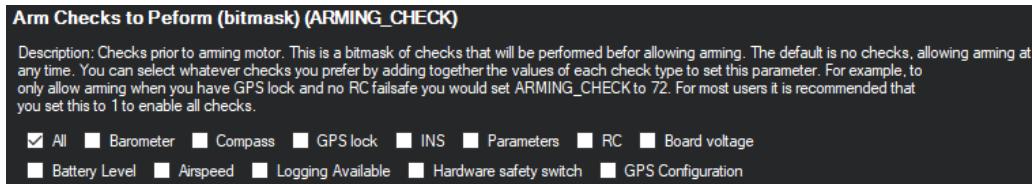


Abbildung 23: Arming Check Optionen

3.5.3 Grundlegende Justierung

Um die Flugeigenschaften bzw. die Reaktionen des Fluggeräts schnell und einfach zu verändern, können die Parameter des PID-Kontrollers grob eingestellt werden. Wenn während des Betriebs unerwünschte Flugverhalten festgestellt werden, ist es möglich diese Fehler schnell und einfach zu beheben. Im Reiter *Basic Tuning* befinden sich die Parameterwerte für Rollen/ Nicken, Schub/Höhe halten und die Empfindlichkeit des Steigens. Anhand der fehlerhaften Eigenschaften im Flug, kann abgeschätzt werden, in welcher Größenordnung die PID-Parameter geändert werden müssen (Abbildung 24). [4]

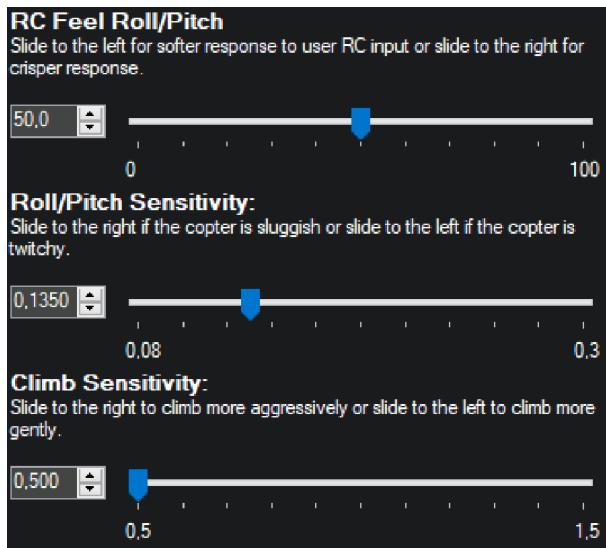


Abbildung 24: Basic Tuning

3.6 Erweiterte Konfiguration

Auch die Einstellungen der erweiterten Konfiguration sind im Menü *CONFIG/TUNING* zu finden.

3.6.1 Automatische Justierung

Die Flugeigenschaften können alternativ zur grundlegenden Justierung auch automatisch justiert werden. Hierfür müssen einige Einstellungen in *Extended Tuning* vorgenommen

werden. Der Modus *AutoTune* kann in zwei verschiedenen Flugmodi ausgeführt werden. Die normale Vorgehensweise nutzt den Modus *AltHold*, in der neueren Variante, ab MP–Copter 3.5, können auch die Flugmodi *Loiter* und *PosHold* verwendet werden. Der Modus *AutoTune* muss in einem der zwei zusätzlichen Funktionskanäle sieben oder acht ausgewählt sein. In diesem Fall ist es Kanal 8 (Abbildung 25). Über den Hebel von Kanal 8 am RC–Receiver wird der Modus *AutoTune* aktiviert beziehungsweise deaktiviert.

Im Modus *AutoTune* werden die entsprechenden Parameter der Regelungstechnik so optimiert, um die beste Reaktion des Kopters ohne einen *Overshoot* zu erhalten. Dabei zuckt der Kopter immer um eine entsprechende Achse, entweder die x– oder y–Achse. Nachfolgend wird für die PWM–Raten Schalter–EIN und –AUS verwendet. Dabei steht EIN für hohe PWM–Raten und AUS für niedrige PWM–Raten. [1]



Abbildung 25: Kanaleinstellung 8: AutoTune

Generelle Einstellungen

1. Einen Flugmodus auf *AltHold* setzen
2. Kanal sieben oder acht auf *AutoTune* setzen, ist bei Start noch deaktiviert
3. Alle freibeweglichen Teile am Fluggerät entfernen
4. Auswahl der zu justierenden Achsen unter Parameter *AUTOTUNE_AXES*
5. Auswahl der Aggressivität des *AutoTunens* (*AUTOTUNE_AGGR* ist standardmäßig 0,1)
6. *ATC_RAT_RLL_FILT* und *ATC_RAT_PIT_FILT* (Roll- und Nickraten) bei Multikoptern mit Durchmessern über 33 cm auf 10 Hz setzen

7. Es ist empfehlenswert die Strom– und Spannungslimitierung zu aktivieren (siehe [3])

AutoTune mit AltHold

Diese Variante darf nur an relativ windstillen Tagen durchgeführt werden.

1. Einen Flugmodus auf *PosHold* setzen
2. Alle Trim–Einstellungen auf 0 setzen
3. Kanal sieben oder acht auf *AutoTune* setzen, ist bei Start deaktiviert
4. Abheben und den Kopter auf *AltHold*, in einer zum Steuern angenehmen Höhe, setzen
5. Denn Kopter so ausrichten, dass die Achse, um die der Kopter zuckt parallel zur Windrichtung steht (der Kopter kann jederzeit über den Höhenruder–Rollen Hebel am RC–Receiver wieder in Position gebracht werden)
6. Sobald das Tunen beendet ist springt der Kopter zu den originalen PID–Einstellungen zurück
7. Den Schalter des Kanals *AutoTune* auf AUS und anschließend wieder auf EIN setzen, um die getunten PID–Parametern zu testen
8. Zum Vergleichen mit den alten PID–Parametern den *AutoTune* Schalter auf AUS setzen
9. Um die neuen PID–Parameter zu übernehmen den *AutoTune* Schalter auf EIN setzen und den RC-Arm deaktivieren, wenn die neuen PID–Parameter nicht übernommen werden sollen, den *AutoTune* Schalter auf AUS setzen und den RC-Arm deaktivieren

AutoTune mit Loiter oder PosHold

Diese Variante baut auf dem Grundlegenden Ablauf der einfacheren automatischen Kalibrierung mit *AltHold* auf. In dieser neueren Variante bewegt sich das Fluggerät um einen Zielpunkt. Als Zielpunkt wird die Position verwendet bei der der *AutoTune* Modus eingeleitet wurde. Der Zielpunkt kann verändert werden, in dem der Pilot das Fluggerät mit den Steuerknüppeln steuert. Durch loslassen der Steuerknüppel wird der neue Zielpunkt gesetzt. Sobald der Kopter mehr als fünf Meter entfernt ist giert er ungefähr plus oder minus 90 Grad in eine Richtung und fährt danach mit der Kalibrierung fort.

3.6.2 Kompensation des *Ground Effects*

Als *Ground Effect* wird der Fall bezeichnet, wenn während der Landung oder bei sehr schnellem Höhenverlust der Kopter einen kurzen Augenblick sehr hart auf den Boden aufsetzt und danach sofort wieder in die Luft federt. Dies führt zu einer unkontrollierten Landung und kann des Weiteren einen Bruch des Fahrwerks zur Folge haben. Zur Vermeidung dieses Effekts ist unter *Full Parameter List/Full Parameter Tree* der Parameter *GND_EFFECT_COMP* auf 1 zu ändern. [1]

3.7 Optionale Hardware

Die einzelnen Punkte der optionalen Hardware sind im Menü *INITIAL SETUP* unter *Optionale Hardware* eingepflegt.

3.7.1 Batterieanzeige

Es besteht die Möglichkeit die Ladezustände der Akkus zu überwachen. Wenn der Akku nur noch einen festgelegten Prozentsatz an Ladung übrig hat kann der MP ein Warnsignal ausgeben. Außerdem kann festgelegt werden was das Fluggerät tun soll, wenn der Akku schwach wird. Es können maximal zwei Akkus überwacht werden. Für die Warnmeldung ist nur Akku 1 ausschlaggebend, egal ob Akku 2 geladen ist.

Im MP müssen Strom und Spannung als zu messenden Größen, welcher Sensor verwendet wird und was für ein AP angeschlossen ist, angegeben werden. Für *Batterieanzeige* ist als Sensor *Other* und für *Batterieanzeige 2 A10* eingestellt. Alle weiteren Einstellungen sind Abbildungen 26 und 27 zu entnehmen. Die maximale Anzahl der mAh muss für jeden Akku manuell definiert werden. Der MP erkennt die maximale Kapazität nicht automatisch. Auch ab wie viel Prozent der Restladung und –spannung eine Warnmeldung erscheinen soll muss definiert werden.



Abbildung 26: Einstellungen der *Batterieanzeige*

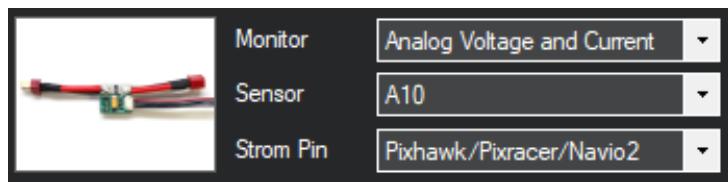


Abbildung 27: Einstellungen der *Batterieanzeige*

Die Messgrößen sind in ihrem normalen Betriebsbereich zu kalibrieren. Für die Kalibrierung muss der AP an ein geeichtes Spannungs- und Strommessgerät angeschlossen sein. Der AP berechnet den entsprechenden Wert der Messgröße. Jedoch ist der berechnete Wert anfangs nicht richtig. Zur richtigen Skalierung der Messgröße muss der reale Wert, von Strom bzw. Spannung den das geeichte Messgerät ausgibt, in den MP für die gemessene Größe eingegeben werden. Der AP berechnet daraus erneut die zu messende Größe. Gemessene und berechnete Größe müssen qualitativ übereinstimmen.

Für die Messung der Stromstärke werden Hall-Sensoren verwendet. Hall-Sensoren geben als Signalgröße eine Spannung aus. Zwischen der gemessenen Stromstärke und der ausgegebenen Signalspannung besteht ein linearer Zusammenhang. Auch wenn kein Strom fließt geben die Sensoren eine Spannung aus. Diese ausgegebene Spannung heißt Offset-Spannung. Im MP muss diese Offset-Spannung explizit eingegeben werden, da sonst die Messungen nur im kalibrierten Punkt korrekt sind. Die Offset-Spannung ist für beide Akkus in den Parameterlisten unter *BATT_AMP_OFFSET* und *BATT2_AMP_OFFSET* einzustellen. Die Offset-Spannung muss iterativ bestimmt werden. Als erster Richtwert kann die im Datenblatt angegebene, unter Laborbedingungen gemessene Offset-Spannung (10% von Vcc) verwendet werden. Als Iterationspunkte dienen Volllast, Teillast und die Startkonfiguration mit ausgeschalteten Motoren. Aus den Messpunkten ist die Steigung der Geraden und deren y-Achsenabschnitt zu ermitteln. Der y-Achsenabschnitt ist die Offset-Spannung.

Falls sich der berechnete Wert nicht dem gemessenen Wert anpasst können falsche Sensor-Einstellungen die Ursache sein. Die Kalibrierung ist für Strom und Spannung gleich (Abbildung 28).

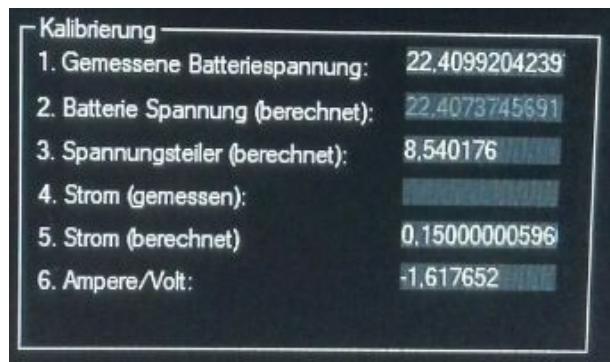


Abbildung 28: Kalibrierungsanzeige

3.7.2 Fahrwerk

Um das Fahrwerk ein- und ausfahren zu können muss das Servo-Kabel des Fahrwerks an einen PWM-Ausgang angeschlossen sein. Für das Fahrwerk können die PWM-Ausgänge *AUX 1* bis *AUX 4* benutzt werden. Außerdem müssen die Servos des Fahrwerks mit Akkusspannung versorgt sein. Die Energieversorgung der Stellmotoren des Fahrwerks werden nicht über die Servoschiene des Pixhawk 2.1 versorgt.

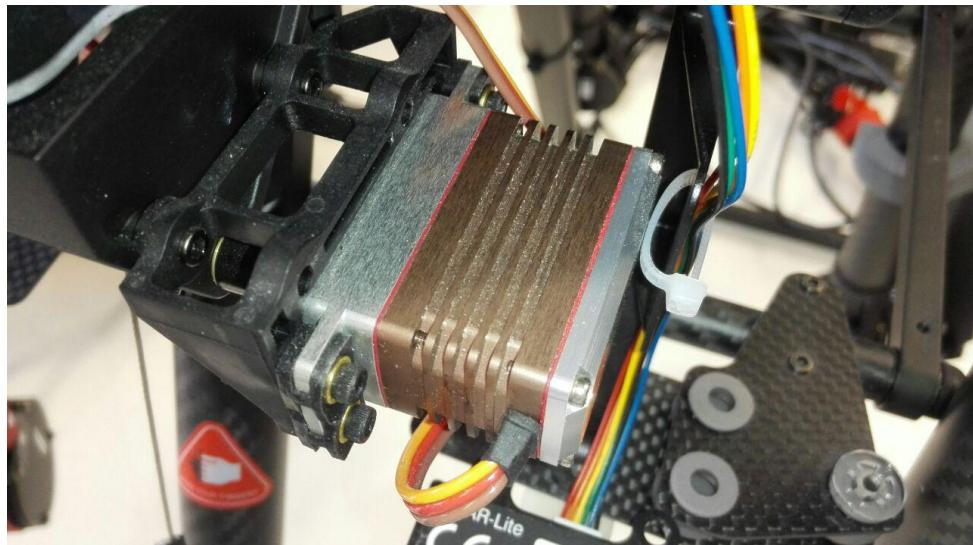


Abbildung 29: Servo des Fahrwerks

Im MP unter *CONFIG/TUNING* \Rightarrow *Full Parameter List/Full Parameter Tree* ist der Parameter *SERVO_n_FUNCTION* auf 29 zu setzen. Um das Fahrwerk mit dem RC-Transmitter ein- und ausfahren zu können, muss unter *Extended Tuning* einer von den Kanälen sieben oder acht auf „Landing Gear/Fahrwerk“ eingestellt sein. In diesem Fall ist Kanal 7 für das Fahrwerk reserviert (Abbildung 30).

Auf der Fernbedienung kann nun das Fahrwerk über den Schalter des Kanals sieben das

Fahrwerk ein- und ausgefahren werden. [6]

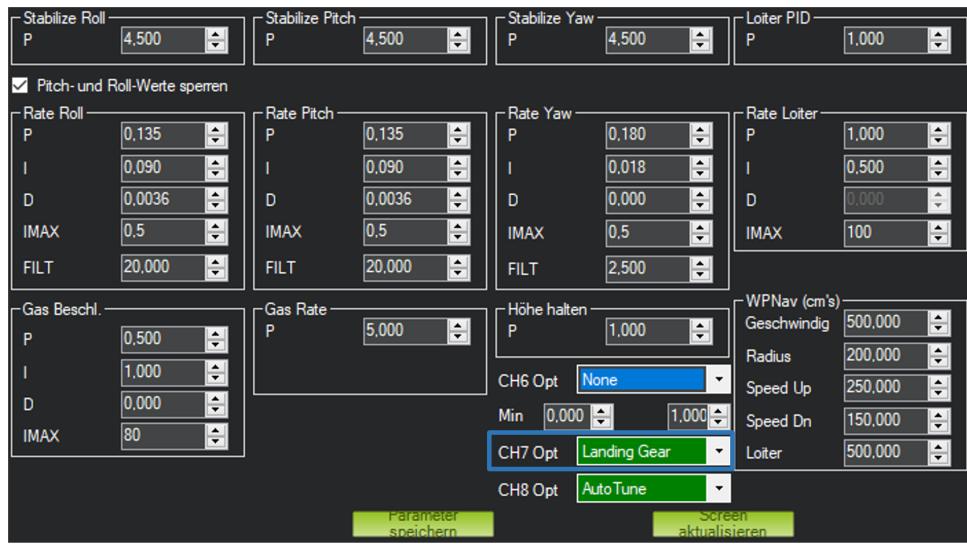


Abbildung 30: Kanaleinstellung 7: Landing Gear

3.7.3 Abstandsmessgerät

An dem Testfluggerät ist ein LIDAR–Lite V3 Entfernungsmessgerät angebracht. Der Entfernungssensor ist über I2C mit dem Pixhawk 2.1 verbunden. Es wurden jedoch noch weitere Entfernungsmessgeräte verwendet. Da die Einstellungen leicht für jeden Sensor spezifisch abweichen, werden alle separat betrachtet. Die Auswahl des Entfernungssensors erfolgt unter *Range Finder*. Der exakte Sensor wird über ein Dropdown–Menü ausgewählt (Abbildung 31). Des Weiteren müssen standardmäßig einige Parameter angepasst werden. Für die einzelnen Sensoren ist zuerst die Kabelbelegung am Sensor und danach die Kabelbelegung für den I2C–Bus angegeben. Die Nummerierung der Kabelbelegungen bleibt, für jeden Sensor spezifisch, gleich.

- RNGFND_TYPE: Auswahl des Entfernungssensors
- RNGFND_MAX_CM: Maximal messbare Höhe[cm]
- RNGFND_MIN_CM: Minimal messbare Höhe[cm]
- RNGFND_GNDCLEAR: Messhöhe, die der Sensor bei Höhe[cm] Null anzeigt



Abbildung 31: Auswahl des Entfernungssensors

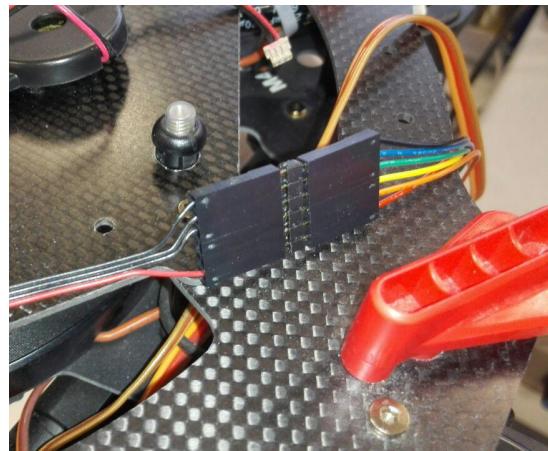


Abbildung 32: I2C–Kabelanschluss an LIDAR–Lite v3

LIDAR–Lite v2

- RNGFND_TYPE ⇒ 3 (LidarLiteV2–I2C)
- RNGFND_MAX_CM ⇒ 1500
- RNGFND_MIN_CM ⇒ 20
- RNGFND_GNDCLEAR ⇒ 34

Für die Kabelbelegung am Sensor siehe LIDAR–LITE v3. Jedoch sind die Signalkabel alle schwarz.

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	5 Vdc(+)	Power	Rot
4	SCL	I2C	Schwarz
5	SDA	I2C	Schwarz
6	Ground/Masse (GND)	GND	Schwarz

Tabelle 2: LIDAR–Lite v2 I2C–Kabelbelegung

Tabellenquelle: [8]

LIDAR–Lite v3



Abbildung 33: LIDAR–Lite v3

Die genauen Kabelanschlüsse an I2C–Bus ist in Abbildung 32 zu sehen.

Die folgenden Parameter wurden auf die entsprechenden Werte geändert:

- RNGFND_TYPE ⇒ 15 (LidarLiteV3–I2C)
- RNGFND_MAX_CM ⇒ 1500
- RNGFND_MIN_CM ⇒ 20
- RNGFND_GNDCLEAR ⇒ 34

Um den Sensor zu benutzen, muss der AP neu gestartet werden. Danach wird unter *sonarrange* die gemessene Entfernung ausgegeben. [8]

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	5 Vdc(+)	Power	Rot
2	internal pull-up	Power enable	Orange
3	TXD	Mode control	Gelb
4	SCL	I2C	Grün
5	SDA	I2C	Blau
6	GND	GND	Schwarz

Tabelle 3: LIDAR–Lite v3 Kabelbelegung

Tabellenquelle: [14]

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	5 Vdc(+)	Power	Rot
4	SCL	I2C	Grün
5	SDA	I2C	Blau
6	GND	GND	Schwarz

Tabelle 4: LIDAR–Lite v3 I2C–Kabelbelegung

Tabellenquelle: [8]

LightWare SF11/C

Zusätzlich zu den Standard Parametern müssen hier weitere Parameter geändert werden. Jedoch funktioniert dieser Entfernungssensor trotz der korrekten Einstellung nicht.

- RNGFND_TYPE ⇒ 7 (LightWareI2C)
- RNGFND_ADDR ⇒ 102 (I2C Adresse des LightWare im dezimalen Zahlensystem)
- RNGFND_SCALING ⇒ 1
- RNGFND_MAX_CM ⇒ 12000
- RNGFND_MIN_CM ⇒ 5
- RNGFND_GNDCLEAR ⇒ 34



Abbildung 34: LightWare SF11/C

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	SCL	I2C	Grün
2	SDA	I2C	Weiß
3	TXD	Serial	Gelb
4	RXD	Serial	Orange
5	Analog	0 – 2,56V	Blau
6	GND	GND	Schwarz
7	4,5 – 5,5V	Power	Rot

Tabelle 5: LightWare SF11/C Kabelbelegung

Tabellenquelle: [8]

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
7	4,5 – 5,5V	Power	Rot
1	SCL	I2C	Grün
2	SDA	I2C	Weiß
6	GND	GND	Schwarz

Tabelle 6: LightWare SF11/C I2C–Kabelbelegung

Tabellenquelle: [8]

3.7.4 Konfiguration der Motor–Betriebsbereiche

Da auch bei der Einstellung der Motor(en)–Betriebsbereiche die Motor(en) gestartet werden, ist auch in diesem Fall sicher zu stellen, dass niemand verletzt werden kann.

Das Testmenü ist in *Motor Test* zu finden. Die Konfiguration der Motoren ist notwendig, da jeder Motor, wenn man ihn startet eine sogenannte „Totzone“ besitzt. Das heißt, obwohl der Motor mit Strom und Spannung versorgt wird, fängt der Motor erst ab einer bestimmten Leistung zu rotieren an. Diese „Totzone“ ist bei Motoren des gleichen Herstellers ungefähr gleich groß.

Um die „Totzonen“ zu ermitteln wird zuerst eine Testdauer (*Dauer(s)*), optimal zwischen fünf und zehn Sekunden, festgelegt. Anschließend wird vorgegeben mit wie viel Prozent Gas (*Gas %*) der entsprechende Motor drehen soll (Abbildung 35). Dieser Wert muss solange variiert werden, bis der Wert gefunden ist ab dem der Motor zu rotieren beginnt. Da alle Motoren in ihren „Totzonen“ zueinander variieren, ist die „Gesamt–Totzone“, die des Antriebs mit der höchsten „Totzone“.

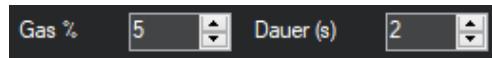


Abbildung 35: Einstellung der von Gas % und Dauer(s)

Das obige finale Ergebnis wird über den MP dem Pixhawk 2 in zwei Parametern übergeben. Zu dem finalen Ergebnis werden für den ersten Parameter *MOT_SPIN_ARM* zwei Prozent addiert und dem zweiten Parameter *MOT_SPIN_MIN* drei Prozent addiert. Die Prozentwerte sind in der Dezimalschreibweise einzugeben. (Parameter sind unter *CONFIG/TUNING* ⇒ *Full Parameter List/Full Parameter Tree*).

Neben der Variante, alle Antriebe einzeln auf Drehrichtung und „Totzone“ zu testen, besteht die Möglichkeit alle Motoren zu testen und zu stoppen. Als letzte Variante bietet sich an die Motoren in Sequenzen zu testen. Während dieser Tests bietet es sich an die Drehrichtungen der Motoren anhand des Rahmentyps aus Kapitel 3.4.1 zu überprüfen. [5]

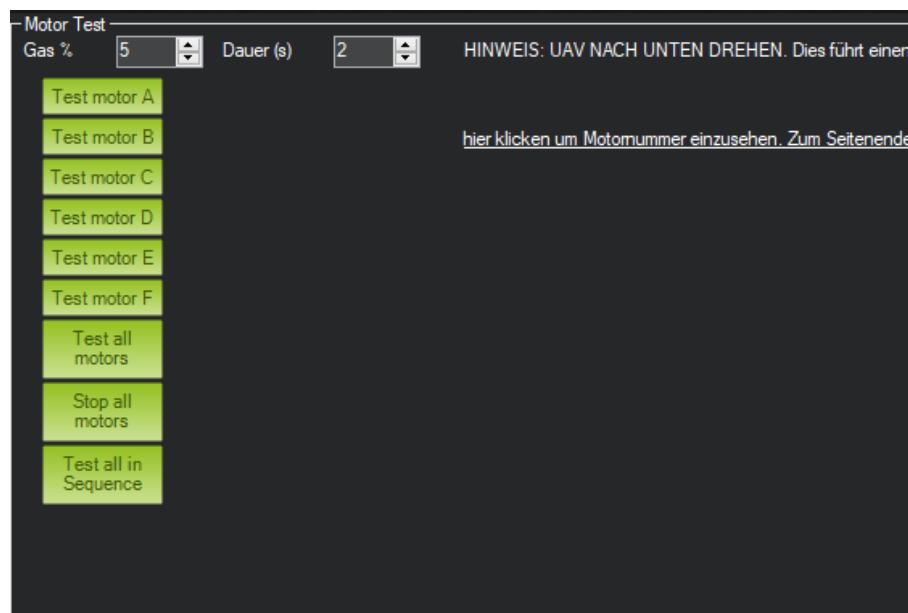


Abbildung 36: Testoptionen der Motoren

4 Entwicklung der Trägerplatine

Im normalen Einbau des Pixhawk 2.1 entsteht ein extremer Kabelsalat je mehr Sensoren verwendet und Steuerelemente benutzt werden. Daher ist die Zielsetzung dieser Arbeit, den Autopiloten sprich den Pixhawk 2.1 Cube auf einer externen Platine zu integrieren. Dies bringt entscheidende Vorteile um alle Anschlüsse bezüglich Ihrer Lage, unter Vorbeugung vor falschem Anstecken, durch konstruktives Design entsprechend zu positionieren. Die Energieversorgung kann individuell auf die zu verwendenden Akkus und der zugewiesenen Baugröße angepasst werden. Im Rahmen dieser Studienarbeit musste die Einbaurichtung des Akkus gedreht werden um diesen ohne großen Aufwand an die Platine anschließen zu können (Abbildung 37). Als Schnittstelle zu den Akkus wird das Steckersystem *Powerpole* verwendet.



Abbildung 37: Einbaurichtung der Akkus: gedreht (a) normal (b)

Im Entwicklungsprozess der Platine wurden im Verlauf dieser Abschlussarbeit zwei Revisionen erstellt. Im Folgenden werden die Änderungen und deren Gründe zwischen Revision 0 und 1 explizit erwähnt. Die Platine wurde mit Hilfe des Programms KiCad entworfen.

4.1 Energieversorgung der Trägerplatine

4.1.1 Prävention des Ladungsausgleichs

Parallel geschaltete Akkumulatoren beginnen schon bei kleinen Ladungsunterschieden Differenzen auszugleichen. Dieser Effekt ist jedoch unerwünscht, da der Ladungsausgleich unter nicht genau definierten Bedingungen stattfindet. Die einzelnen Zellen können dabei stark ungleichmäßig aufgeladen werden, außerdem können kurzzeitig sehr hohe Stromstärken auftreten. Diese und andere Effekte können die Lebensdauer stark verringern oder den Energiespeicher vollständig zerstören.

Um diese Prozesse zu unterbinden sind direkt nach den Akkus ideale Dioden eingebaut, diese verhindern die unkontrollierten Ladungsverschiebungen zurück in die Akkus. Bei 5A in Durchflussrichtung haben die idealen Dioden einen Widerstand von 6mOhm.

4.1.2 Strom- und Spannungsmonitoring

Während des Betriebs ist die Kontrolle der Akkuzustände essentiell. Die Software des Pixhawks lässt die Überwachung von zwei Akkus zu. Auf der Leiterplatte wurden deshalb zwei Akkuanschlüsse installiert, es wurden XT-60 Stecker verwendet.

In den Cube gehen vier Eingänge zur Strom- und Spannungsanzeige. Jeweils zwei Leitungen für einen Akku, für jeweils Strom und Spannung. Die maximale Eingangsspannung der Pins am Cube beträgt 3,3V. Um die maximale Eingangsspannung nicht zu überschreiten, wird von der Sensorleitung eine Z-Diode parallel auf Masse geschaltet. Diese macht ab 3,6 V auf. Die Schaltungen, der zu messenden Größen, für beide zu überwachenden Akkus sind analog zu einander.

Spannungsmessung

Das Monitoring der Spannung erfolgt, wie in Abbildung 38 zu sehen ist, über einen Spannungsteiler. Die Spannung wird auf ca. 3,3 V heruntergesetzt.

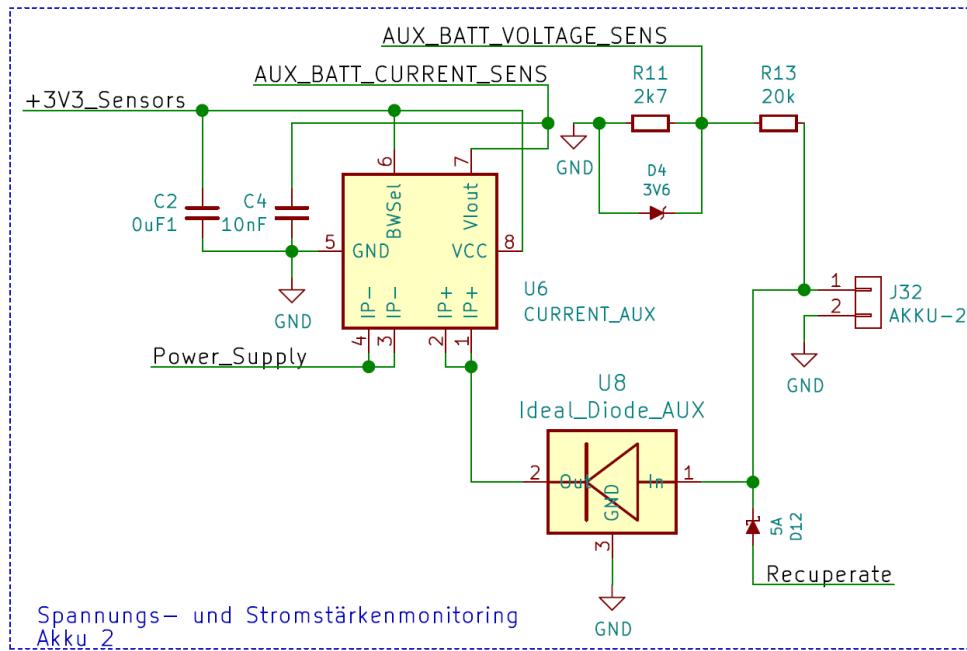


Abbildung 38: Spannungsmessung durch Spannungsteiler

Stromstärkenmessung

Für die Messung der Stromstärke wird ein Hall-Sensor in Reihe zwischen Akku und der Power-Supply Schiene geschaltet (Abbildung 39). Bei einer Überschreitung der maximal zulässigen Spannung schaltet die Z-Diode die Leitung auf GND. Um dabei einen zu hohen Stromfluss zu verhindern, ist ein hochohmiger Widerstand in die Messleitung vor der Z-Diode eingebaut, in diesem Fall 10k Ohm. Diese kompakte Schutzschaltung ist möglichst nah am Eingang des Cubes zu platzieren.

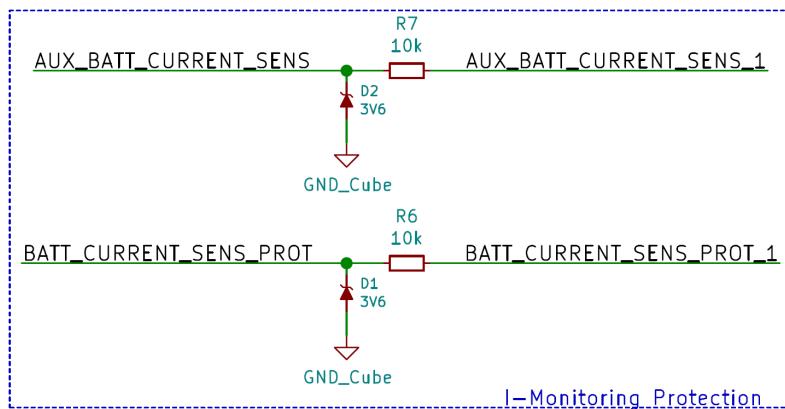


Abbildung 39: Stromstärkenmessung mit Hall-Sensor

4.1.3 Netzaufteilung

Über die Platine werden drei Gruppen von Verbrauchern versorgt. Die Verbraucher teilen sich in Motor(en)versorgung, Servos und Sensorik und auf den Cube auf. Die Motoren werden mit der Akkuspannung versorgt, wohingegen die Sensorik und der Cube mit 5V betrieben werden. Der Bereich der Antriebsversorgung mit den Verbrauchern ist im Vergleich zu den 5V Netzen weniger kompliziert. Deshalb wird speziell auf die Verbraucher der einzelnen 5V-Netze später nochmal gesondert eingegangen.

Motor-Power

Da für die Versorgung der Motoren die Akkuspannung verwendet wird, gestaltet sich dieser Teil im Schaltplan, wie in Abbildung 40 ersichtlich.

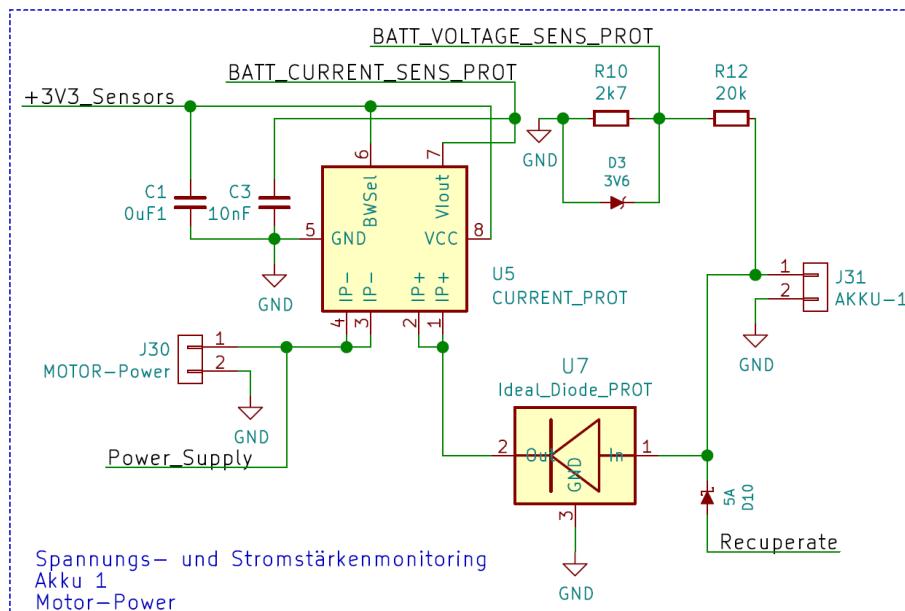


Abbildung 40: Schaltplan Motor-Power

Während des Fliegens treten erhöhte Leistungen auf. Auch der Großteil der zur Verfügung stehenden Energie läuft über diese Leitung. Um Verluste, im Besonderen in Form von Wärme zu vermeiden, ist die maximal realisierbare Leiterbahnbreite zu verwenden. Hierfür werden statt der klassischen Leitungen Flächenelemente verwendet. Außerdem sind die Leiterbahnen möglichst kurz und direkt zu verlegen (siehe Abbildung 41). Für den Stromfluss der GND Leitung sind Engstellen nicht zulässig, bei einem Wechsel der Kupferlagen sind mindestens 9 Stitching-Kabel zu verwenden. Im Layout haben die Leiterbahnen zum Motor-Power-Stecker höchste Priorität.

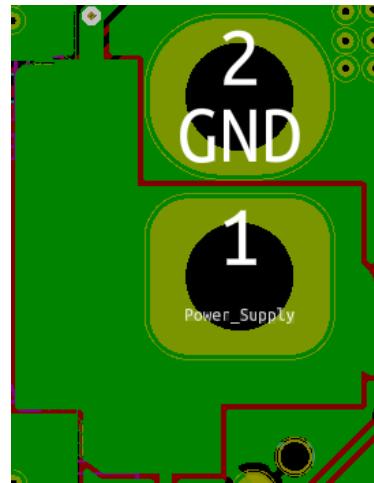


Abbildung 41: Flächige Leiterbahn zwischen Hallsensor (a) und Motor-Power (b)

5V - Netze

Um eine Netzspannung von 5V zu erhalten werden DC–DC Wandler verwendet. Je nach Fluggerät kann die maximale Akkuspannung variieren, deshalb sind in der Revision 1 neue DC–DC Wandler mit einer höheren Eingangsspannung von 30V statt 23V eingebaut. Dabei ist auf die maximal möglichen Leistungen der einzelnen Netze zu achten. In nachfolgender Tabelle 7 sind die Anforderungen der einzelnen Netze aufgelistet.

phys. Größe	Sensors	Servo	Cube
Spannung [V]	5	5	5
Stromstärke [A]	1,5	5	1,5

Tabelle 7: 5V–Netz Daten

Die Spannungswandler haben eine begrenzte Ausgangsleistung. Um die Wandler vor Überlastung bzw. vor dem Durchbrennen zu schützen, sind vor und hinter den DC–DC Wandlern thermische Sicherungen eingebaut. Diese Sicherungen haben die Eigenschaft nachdem sie, auf Grund von überhöhten Strömen, ausgelöst worden sind, sich nach dem Abkühlen zurückzusetzen. Dieser Effekt ist sehr nützlich da es eine einfache Möglichkeit ist wichtige Bauteile vor Schaden zu bewahren, gleichzeitig müssen die Sicherungen nicht nach jedem Auslösen ausgetauscht werden. Die Sicherungen wurden so gewählt um Akkus zwischen 12V und 26V anschließen zu können.

Zur optischen Funktionskontrolle ist je Netz eine Kontroll–LED eingebaut (Abbildung 42). Da wie oben erwähnt die Versorgungsleitungen unterbrochen werden können, sind LEDs in der zweiten Revision vor, anstatt hinter, die Unterbrechungsstellen gesetzt.

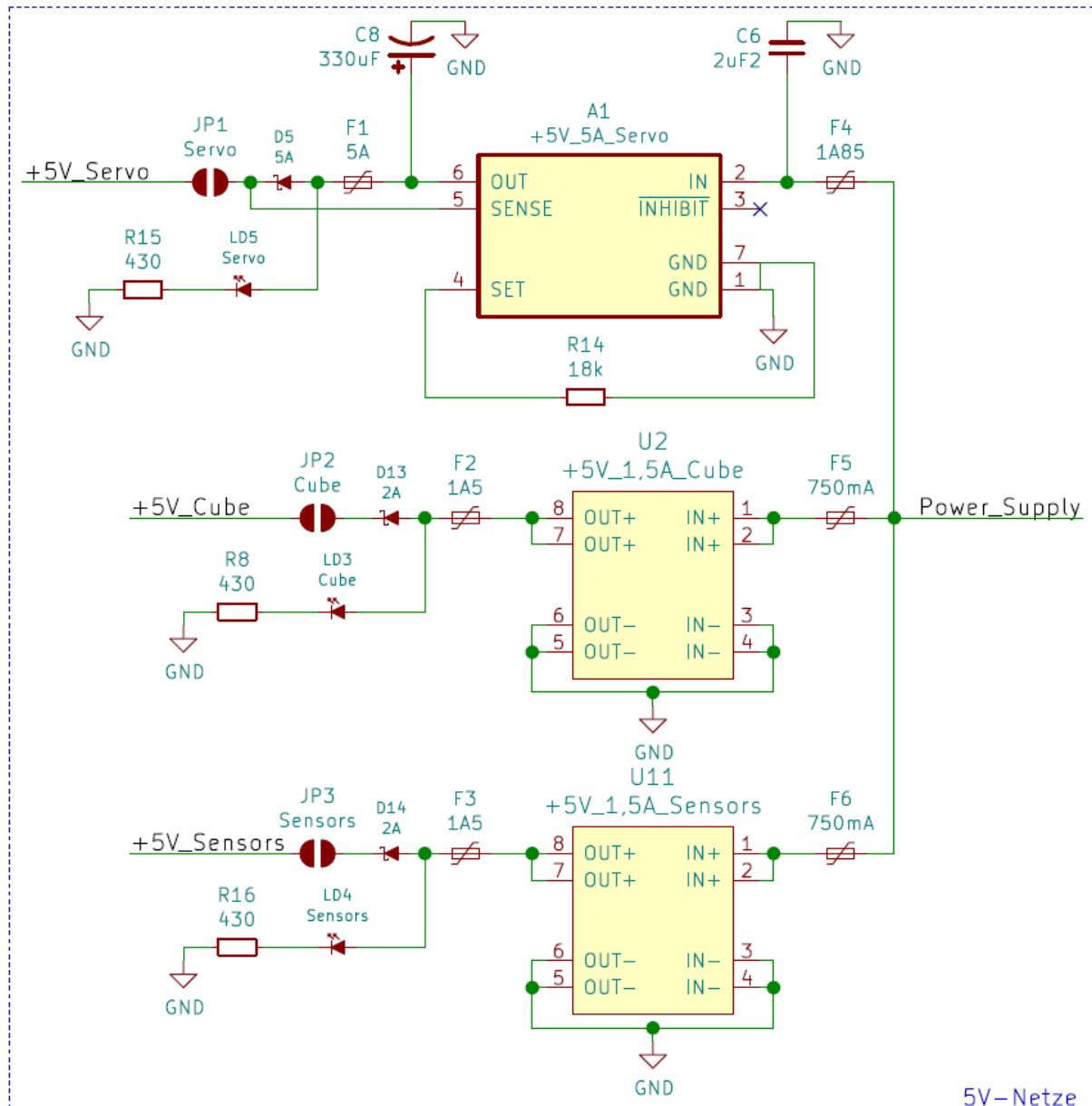


Abbildung 42: Netze mit 5V Versorgungsspannung – DC–DC Wandler (a); Rückflusssicherungen (b); Lötbrücken (c); Kontroll–LEDs (d); Sicherungen (e)

Revisionsupdate

In der ersten Revision sind keine Rückflusssicherungen enthalten. Während der Tests hat sich gezeigt, dass ohne Rückflusssicherungen die DC–DC Wandler in entgegengesetzter Richtung arbeiten. Diese Wandler sind primär nicht dafür ausgelegt Spannungen nach oben zu transformieren. Eine Reduzierung der Lebensdauer kann die Folge daraus sein. Aufgrund dieser Tatsachen sind in der zweiten Revision Rückflusssicherungen in Form von Schottky Dioden eingebaut.

Um einzelne Netze separat betreiben zu können, besteht seit der zweiten Revision die

Möglichkeit die Netze über eine Lötbrücke abzuschalten. Die Platinentests haben die Notwendigkeit dazu ergeben.

3,3V - Versorgung

Manche Bauteile der Platine wie z.B. die Hall-Sensoren, benötigen statt der normalen 5V eine Spannung von 3,3V. Diese Spannung wird über einen Linearregler erzeugt, wie unter Abbildung43. Als Eingangsspannung werden die 5V der Cube–Versorgung verwendet. Der lineare Spannungsregler gibt eine konstante 3,3V Spannung aus.

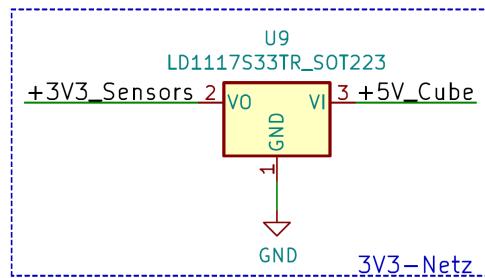


Abbildung 43: Linearer Spannungsregler zur 3,3V Erzeugung

4.1.4 Energieversorgung zum Datentransfer per Micro–USB

Zum Aufspielen der Firmware muss der AP mit dem Computer verbunden sein. Dafür wird der Micro–USB Anschluss am Cube verwendet. Jedoch verwendet der Cube den Strom des Micro–USB nicht sofort intern, sondern übergibt den Strom an die Trägerplatine. Wie im Unterkapitel 4.1.3 erklärt ist, erfolgt die Versorgung mit Energie nur über die vorgesehenen Pins. Daher verfügt die Trägerplatine über eine spezielle Schaltung zur Spannungsriorisierung um zwischen der Versorgung mittels Akkus und der Versorgung per Micro–USB auszuwählen.

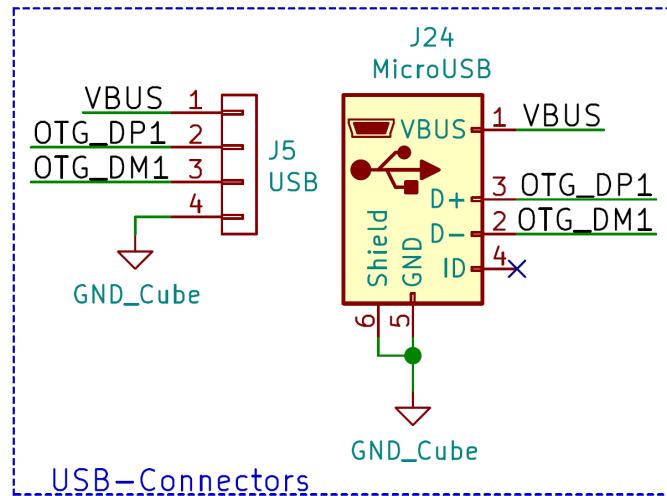


Abbildung 44: Micro-USB und USB Schaltplan

Der Aufbau der Priorisierungsschaltung erfolgte anhand der Schaltplänen des Arduino (TM) UNO [9]. In Abbildung 45 ist die Schaltung zur Spannungspriorisierung dargestellt. Das Herzstück bilden ein Operationsverstärker (OpAmp) und ein p-Kanal Feldeffekttransistor (Mosfet). Hierbei fungiert der Mosfet als Schalter der in die Leitung der Micro-USB Versorgung vom Cube kommend eingebaut ist. Der OpAmp addiert den positiven Eingang 1 mit dem negativen Eingang 3. Bei anliegender Akkuspannung (Eingang 1 ca. 3,3V) heben sich die beiden Spannungen gegenseitig auf. Wenn keine Spannung am Eingang 1 anliegt, würde der OpAmp -3,3V ausgeben. Jedoch ist die minimale Spannung auf 0V begrenzt. Solange der OpAmp dem Mosfet eine „Null“ gibt, bleibt dieser geöffnet. Ab dem Moment an dem ein ausreichend geladener Akku angeschlossen wird, gibt der OpAmp dem Mosfet eine Spannung aus. Die VBUS-Versorgung wird daraufhin durch den Mosfet unterbrochen. So ist sichergestellt, dass entweder die Akku-Spannung oder die des Micro-USB verwendet wird. Auf der Trägerplatine befindet sich ein zusätzlicher Micro-USB Anschluss. Einen Rückfluss bei normalem Betrieb, in den Mosfet verhindern die Schottky-Dioden D6 und D7.

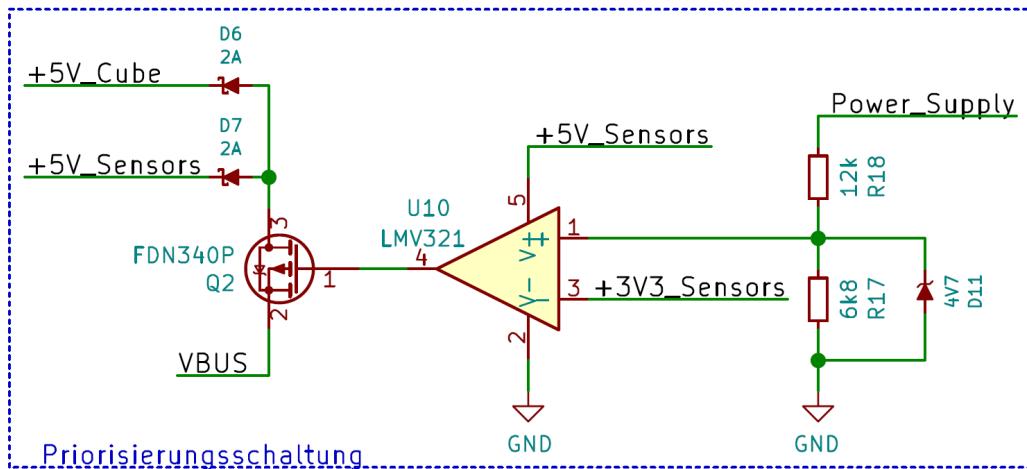


Abbildung 45: Priorisierungsschaltung der Stromversorgungen

Revisionsupdate

Diese Schaltung wurde erst in der Revision 01 hinzugefügt. Die Energieversorgung war in der ersten Revision nicht per Micro-USB möglich.

4.1.5 Rekuperation

Rekuperation ist besonders erforderlich, sobald der Cube und die Trägerplatine in Flugzeugen Anwendung finden. Während des Fluges kann der Effekt des *Windmillings* auftreten. Dies ist der Fall, wenn keine Motorleistung benötigt wird und der Fahrtwind den Propeller wie ein Windrad antreibt. Der Motor fungiert nun als Generator und baut Spannung auf. Wenn diese Spannung vom System nicht verarbeitet werden kann, können essentielle Bauteile durch die überhöhte Spannung zerstört werden. Dies kann den Verlust des Fluggeräts zur Folge haben.

Durch Rekuperation kann diese rückgewonnene Energie dem System zugeführt werden. Da die Rekuperationszeit im niedrigen Sekundenbereich liegt, besteht keine Gefahr der Beschädigungen die unter 4.1.1 erläutert wurden.

Die Rekuperation erfolgt mit Hilfe eines Ladereglers (U3) und eines Super-Kondensators (C10) mit hoher Kapazität. Der Super-Kondensator fängt kurze hohe Spannungsspitzen ab. Der Kondensator ist liegend an der Platinenunterseite mit Heißkleber befestigt. Ab einem Spannungsunterschied von 1,5V lädt der Laderegler die Akkus mit konstanten 5A auf. Einem Stromfluss in die falsche Richtung verhindern Schottky-Dioden. Die Rekuperationsschaltung wurde auf der Grundlage des Entwicklungsstandes der AUVSI-Drohne 2016 gebaut.

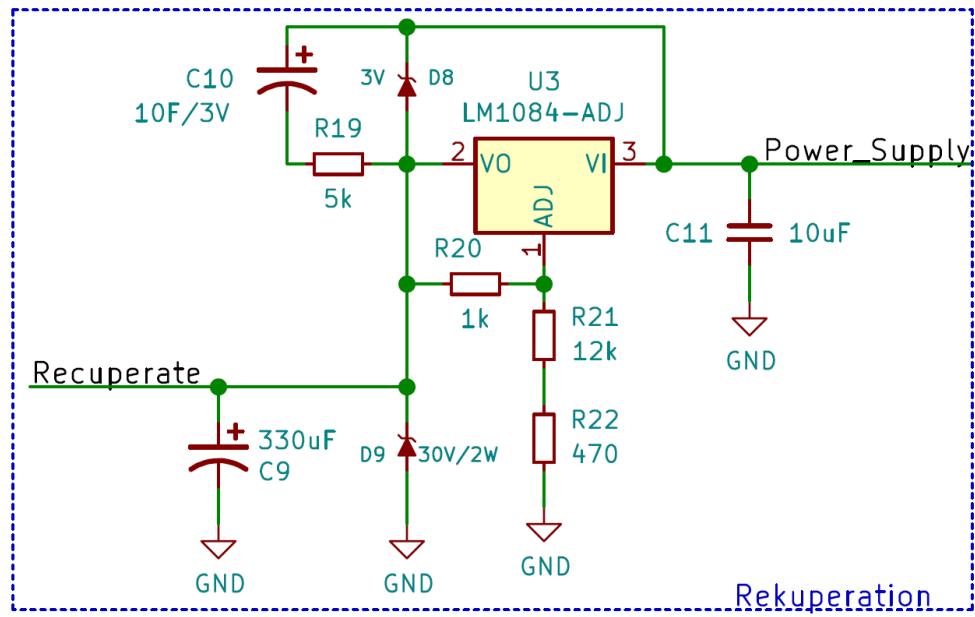


Abbildung 46: Rekuperationsschaltung – Laderegler U3; Kondensator C10

4.2 PSM des Carrier Boards

Auf dem CB des Cubes befindet sich zur Spannungsauswahl und – Priorisierung ein PSM. Das Modul kann zwischen drei Eingangsspannungen auswählen: Akku 1, Akku 2 und Micro-USB (VBUS). Auch die 3,3V Erzeugung erfolgt auf diesem Modul (Abbildung 47).

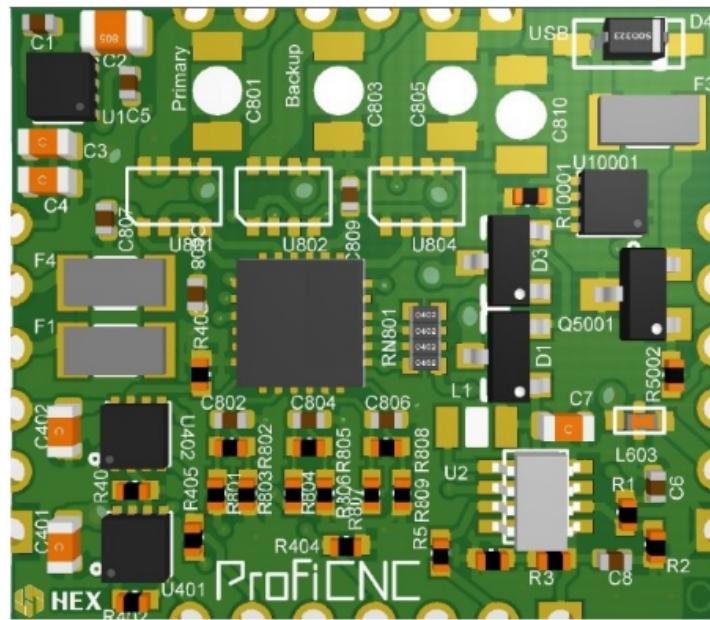


Abbildung 47: 3D-Modell der Power-Selection-Module Platine

Bildquelle: [19]

Auf der Platine des PSM befinden sich bestimmte Regler und Schutzmechanismen. Im Anschluss werden die einzelnen Bestandteile des Schaltplans erläutert. Die Anschlüsse der Platine des PSM sind in den Abbildungen markiert.

4.2.1 Priorisierender Leistungswegregler

Eine Auswahl von drei möglichen Energiequellen wird von einem priorisierenden Leistungsverwaltungssystem (LTC4417) geregelt. Über die negierten *VALID 1–3* Ausgänge werden Informationen ausgegeben, welche Energiequellen angeschlossen sind.

Weitere Informationen zu den Ausgängen werden weiter unten bei der genauen Beschreibung der Pins aufgeführt.

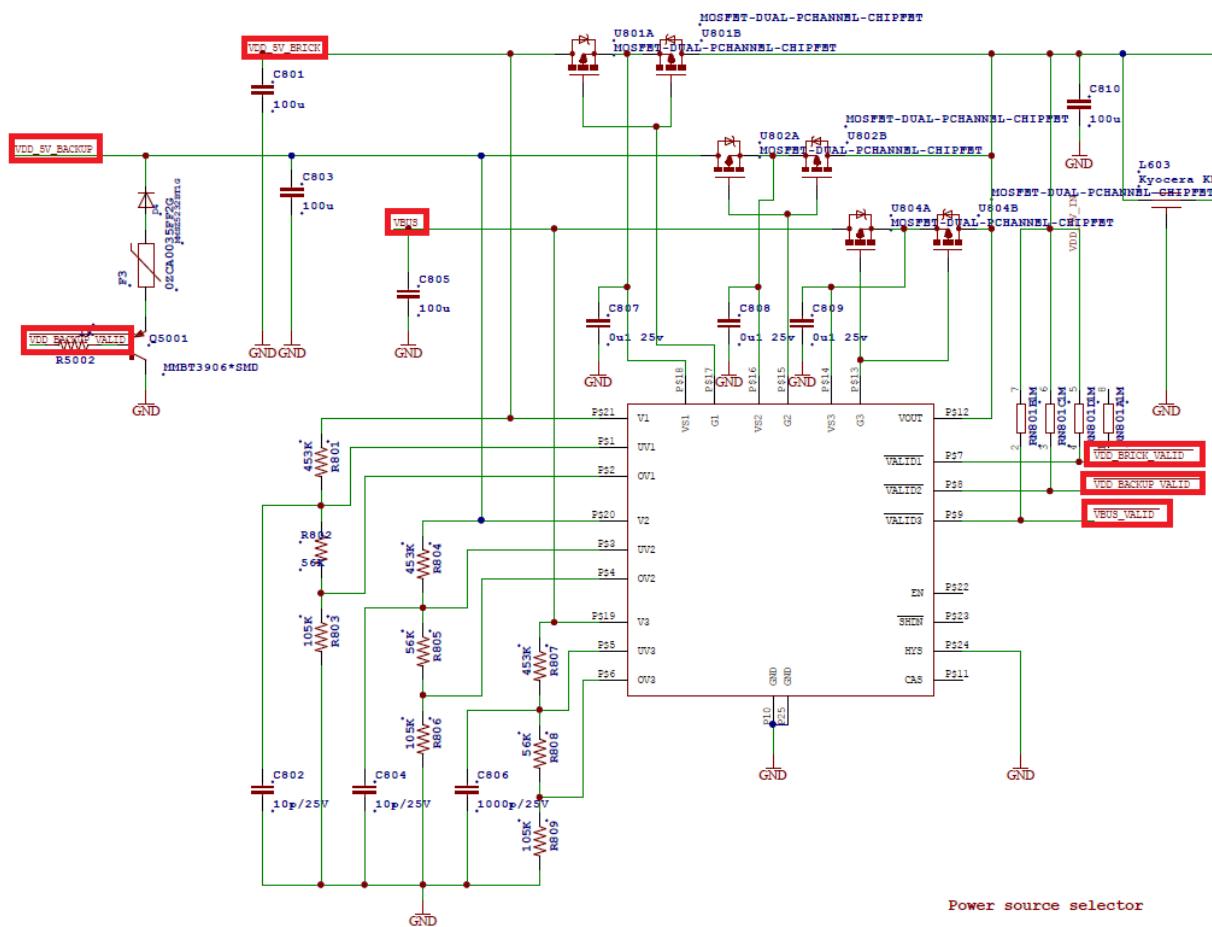


Abbildung 48: Priorisierungsschaltung der Energieversorgung

Bildquelle: [19]

4.2.2 Leistungsschutzschaltung

Die Peripheriegeräte und der Intel-Edison werden ohne spezielle Schaltung von den drei Energiequellen versorgt. Als Schutz vor zu hohen Spannungen, Stromstärken werden bei-

de Netze von separaten Schutz-ICs (BQ24315) überwacht. Diese sind in die Leitungen in Reihe eingebaut und fungieren als abschaltbare Sicherungen. Über die negierte VDD_5V_PERIPH_EN Signalleitung werden die ICs vom AP geschaltet.

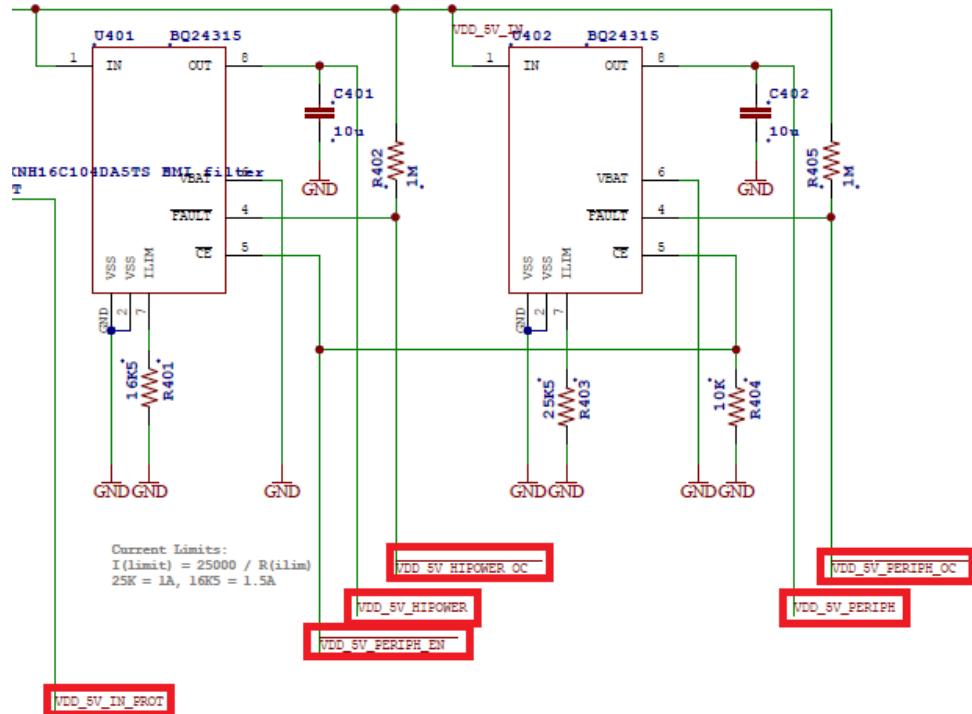


Abbildung 49: Protektions IC vor zu hohen Spannungen und Strömen

Bildquelle: [19]

4.2.3 3,3V Versorgung/ Strombegrenzung

Die 3,3V stellt ein MIC5332 zur Verfügung. Als Versorgungsspannung werden die 5V des priorisierenden Leistungswegreglers verwendet. Alternativ kann auch die externe 5V–Spannung der Servoschiene, mit einem zwischengeschalteten Strombegrenzer, verwendet werden.

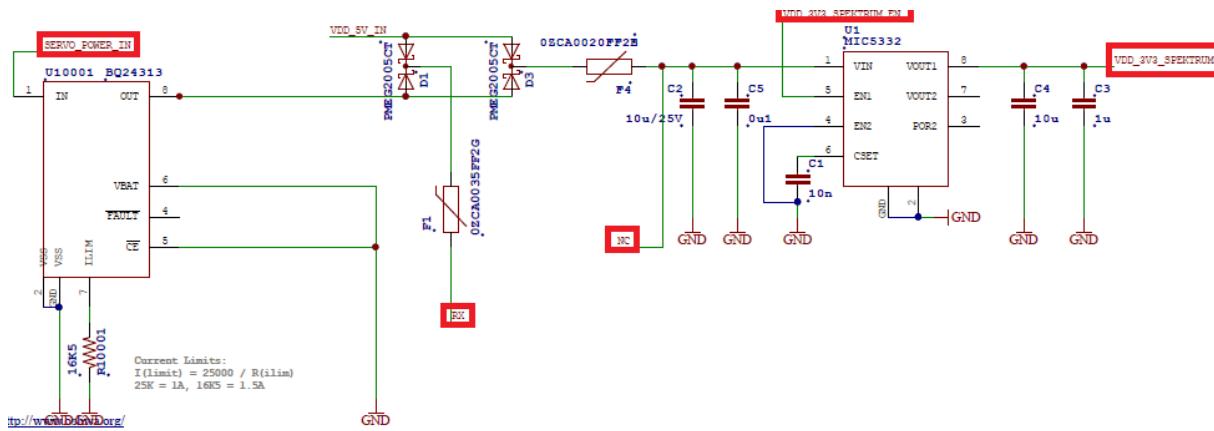


Abbildung 50: Strombegrenzung der Servoschiene/ 3,3V Versorgung

Bildquelle: [19]

4.2.4 Alarm-Signal Verstärker

Das Alarm-Signal (vom Cube kommend) wird von einem LT3469 mit einer Versorgungsspannung von 5V, verstärkt. Die Ausgangsspannung kann bis zu 33V betragen. Dies erhöht die Lautstärke des Piezo-Buzzer.

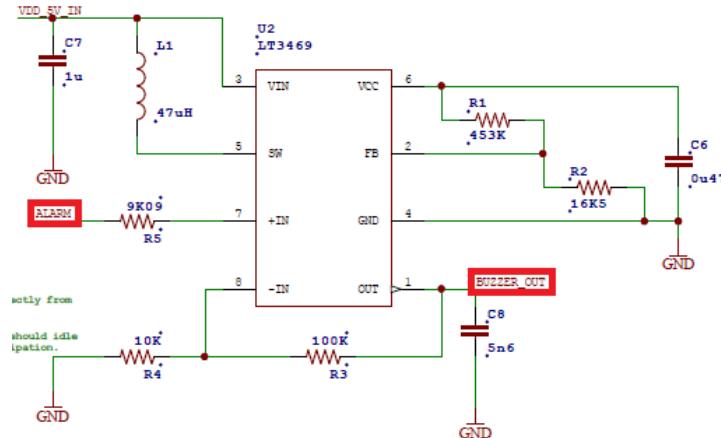


Abbildung 51: Verstärkung des Alarmsignals

Bildquelle: [19]

Im Nachfolgendem werden die einzelnen Anschlüsse an das PSM, im Uhrzeigersinn, aufgelistet. Die obere Seite des Moduls (POWER_IN) wird zuerst betrachtet, danach folgen FMU_Power, PINHD-1X7_2.00 und Power_out im Uhrzeigersinn.

4.2.5 Ein- und Ausgänge des PSMs

Die Angabe des Ein- bzw. Ausgangs erfolgt aus der Sicht des PSM.

POWER_IN

Das PSM kann nur 5V Spannung als Eingangsspannung verarbeiten. Die sechs Anschlüsse an der Oberseite ergeben sich aus drei möglichen Eingangsspannungen, mit jeweils zwei Anschlusspunkten. Die Auflistung erfolgt von links nach rechts.

- VDD_5V_Brick: Eingang der mit Power 1/Akku 1 verbunden ist
- VDD_5V_BACKUP: Eingang der mit Power 2/Akku 2 verbunden ist
- VBUS: Eingang der USB–Stromversorgung vom Pixhawk kommend (Pin: 29 Cube)

FMU_Power

Die Servo–Schiene zur ausreichenden Versorgung der Servos erfolgt nicht über den Pixhawk 2.1, sondern muss extern zur Verfügung gestellt werden. Die Auflistung erfolgt von oben nach unten.

- SERVO_POWER_IN: Eingang zur Nutzung der Servo–Versorgung, direkt mit der Servo–Schiene und zusätzlich mit Pin: 9 am Cube verbunden

Die drei anschließend aufgeführten negierten Ausgänge VBUS_VALID, VDD_BACKUP_VALID und VDD_BRICK_VALID sind Ausgänge des Reglers der Spannungspriorisierung. Bei anliegender Spannung an VDD_BRICK_VALID und/oder VDD_BACKUP_VALID wird der entsprechende Ausgang auf ungefähr 3,3V gesetzt. VBUS_VALID ist auf ca. 4,6V, wenn der Cube über Micro–USB versorgt ist, wird der Ausgang auf 0,0V gesetzt.

- *VBUS_VALID*: Ausgang zur Rückmeldung an den Cube ob diese Spannungsquelle vorhanden ist (Pin: 59 Cube)
- *VDD_BACKUP_VALID*: Ausgang zur Rückmeldung an den Cube ob diese Spannungsquelle vorhanden ist (Pin: 57 Cube)
- *VDD_BRICK_VALID*: Ausgang zur Rückmeldung an den Cube ob diese Spannungsquelle vorhanden ist (Pin: 55 Cube)
- VDD_5V_IN_PROT: Ausgang für die Energieversorgung des Cubes (Pin: 61 & 63)
- GND: Ausgang

PINHD-1X7_2.00

Die Auflistung erfolgt von links nach rechts.

- $VDD_5V_HIPOWER_OC$: Ausgang zum Monitoring der Energieversorgung des Intel–Edison Prozessors (Pin: 45 Cube)
- $VDD_5V_PERIPH_OC$: Ausgang zum Monitoring der Energieversorgung der Sensoren (Pin: 43 Cube)
- VDD_3V3_SPEKTRUM_EN: Wenn dieser Eingang vom Cube (Pin: 19) mit Spannung versorgt wird, gibt das PSM 3,3V für den Spektrum–Receiver aus
- $VDD_5V_PERIPH_EN$: Eingang zur Aktivierung der Peripherie–Versorgung (Pin: 27 Cube)
- VBUS: Eingang der VBUS–Leitung des Cubes (Pin: 29)
- ALARM: Eingang des Buzzer–Signals des Cubes (von Pin: 24)
- BUZZER–OUT: Ausgang des verstärkten Alarm–Signals vom AP

Power_out

Auflistung erfolgt von oben nach unten.

- VDD_3V3_SPEKTRUM: Ausgang für die 3,3V Versorgungsspannung
- NC: **kein** Anschluss
- RX: Ausgang und direkt mit Stromversorgung (+) von RC IN verbunden
- VDD_5V_PERIPH: Ausgang zur 5V Versorgung aller Sensoren
- VDD_HIPOWER: Ausgang zur Energieversorgung des Intel–Edison Prozessors
- GND: Ausgang

4.3 Sensorik

Über das Netz zur separaten elektrischen Versorgung der Sensorik (im Schaltplan +5V_Sensors) werden Telemetrie und das I2C–Bus System versorgt. Ziel der Einführung der separaten Sensorversorgung war die Vermeidung von Messfehler durch Spannungsschwankungen und Schaffung von Redundanz in der Energieversorgung. Spannungsschwankungen mit großem Stromverbrauch können beispielsweise von der Telemetrie ausgelöst werden, wenn größere Datenmengen geschickt werden.

4.3.1 I2C-Bus

Im I2C-Bus System erfolgt die Datenübertragung über die Leitungen *SDA* und *SCL*. Dieses Bus-System läuft auf der Grundlage der „Open-Drain-Technologie“, einzelne Teilnehmer, die an das System angeschlossen sind, ziehen die Datenleitungen gegen Null oder verhalten sich passiv [24]. Der Bus wird von den Terminierungswiderständen in Ruhe wieder auf „High“ gezogen. Dazu wird eine 3,3V Spannung verwendet. Auf der Trägerplatine sind Terminierungswiderstände von 2,2k Ohm verbaut (Abbildung 52).

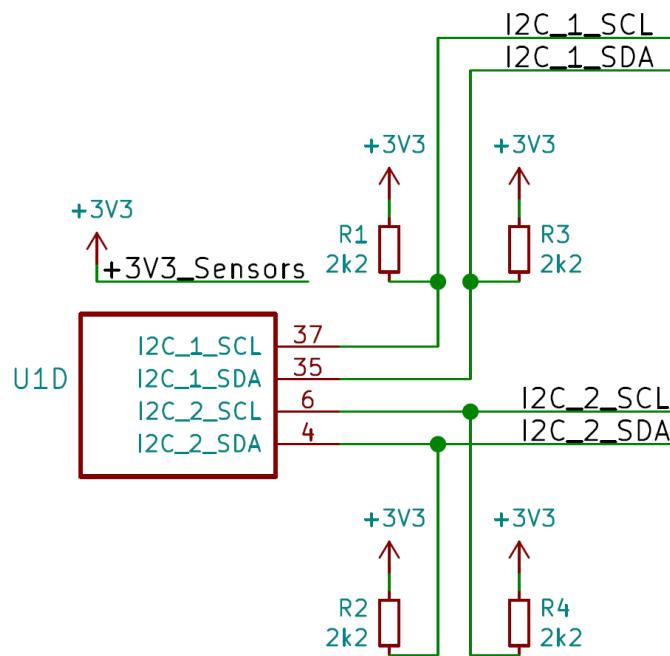


Abbildung 52: Terminierungswiderstände der I₂C-Busse, R1–4

4.3.2 Telemetrie

Die Telemetrie dient zur kabellosen Übermittlung aller relevanten Flugdaten des aktuellen Flugzustands. Es werden die selben Daten wie über das Micro-USB Kabel übertragen. Die Datenübertragung erfolgt jedoch langsamer. Zur Datenübermittlung sind zwei mit einander gebundene Telemetrie-Antennen erforderlich, eine am Fluggerät die andere ist an einem Computer angeschlossen.

Um Spannungsschwankungen des DC-DC Wandlers zu kompensieren ist ein 100uF Kondensator gegen GND direkt neben den Telemetrie-Anschlüssen auf der Platine eingebaut.

Hinweis: Steckerbelegung Pin 2 und 3, SERIAL_TX und SERIAL_RX ist unterschiedlich zur Steckerbelegung GPS!

RFD868+ Radio Modem

Im Rahmen der Studienarbeit erfolgte die Inbetriebnahme eines *RFD868+ Radio Modems*. Für die Inbetriebnahme ist die Pinbelegung am Telemetrie-Gerät entscheidend. Als Vorlage wurde das Datenblatt des *RFD900+ Radio Modem* verwendet [22]. Die Nummer hinter dem „RFD“ bezeichnet die Frequenz des Modems, die Hardware ist jedoch gleich. Deshalb kann für die Ermittlung der Pinbelegung das Datenblatt des RFD900+ Modems verwendet werden.

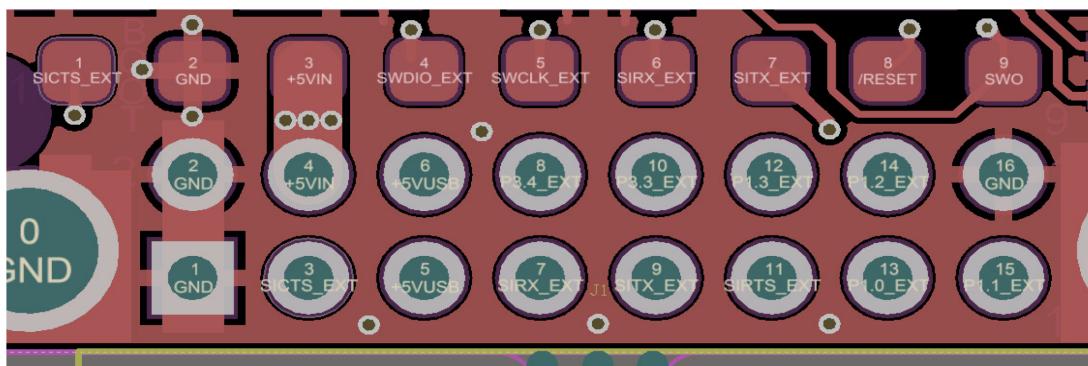


Abbildung 53: Pinbeschreibung des RFD900+ (RFD868+)

Bildquelle: [22]

Die Nummerierung der Pinausgänge wird aus Abbildung 53 übernommen. Die Pins 4 und 6 sind über eine Brücke „Jumper“ genannt verbunden. Die Anschlüsse sind Abbildung 54 und Tabelle 8 zu entnehmen.

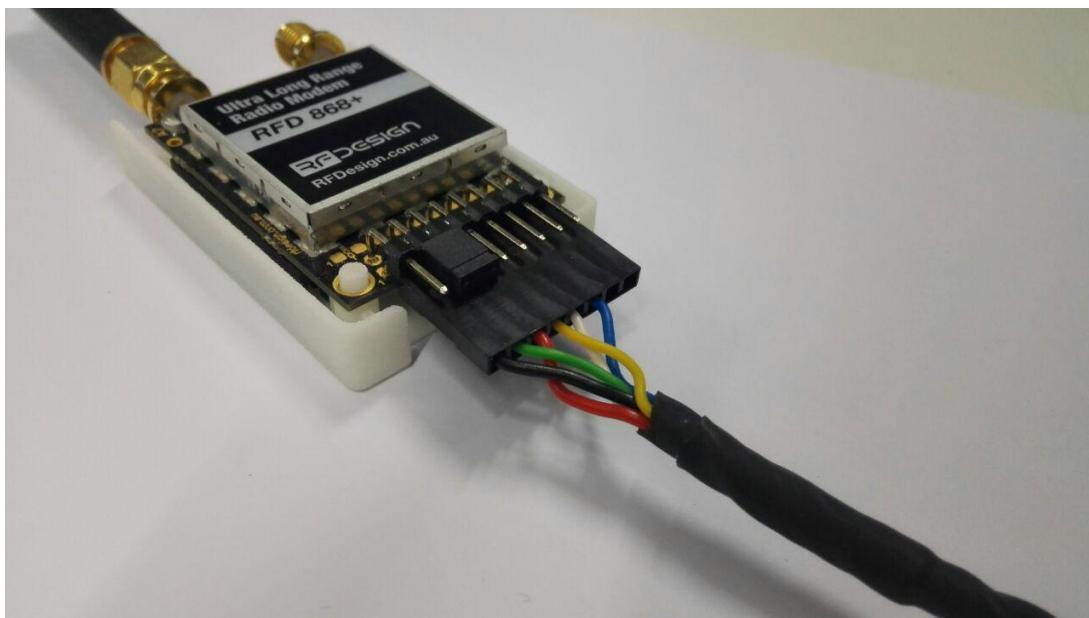


Abbildung 54: RFD868+ Kabelanschluss

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	GND	GND	Schwarz
2	-		-
3	SERIAL_CTS		Grün
4	-	Jumper auf Pin 6	-
5	VCC_5V	+5V-Versorgung	Rot
6	-	Jumper auf Pin 4	-
7	SERIAL_TX		Gelb
8	-		-
9	SERIAL_RX		Weiß
10	-		-
11	SERIAL_RTS		Blau
12	-		-
13	-		-
14	-		-
15	-		-
16	-		-

Tabelle 8: Pinbelegung des RFD868+

Tabellenquelle: [22]

4.4 Servo

In Modellflugzeugen sowie in Drohnen werden elektrische Stellmotoren zur Bewegung der Steuerflächen eingesetzt. Die Stellkraft ist abhängig von der zu bewegenden Steuerfläche und dem Luftwiderstand (abhängig von der Fluggeschwindigkeit). So können starke Kräfte für den Ruderausschlag erforderlich sein. Um die benötigten Momente aufzubringen zu können, müssen die Servos mit ausreichend Strom versorgt werden. Der DC-DC Wandler des Servo-Netz (im Schaltplan +5V_Servo) kann bis zu 6A ausgeben. Die Schaltung des Spannungsreglers wurde nach dem Handbuch [25] aufgebaut. Die Spannung wird über den Widerstand R14 von 18k Ohm im Schaltplan (siehe Abbildung 55) eingestellt. Über eine Kontrollleitung am Pin-Nummer 5 des Spannungsreglers, wird die Spannung konstant auf 5,3V geregelt.

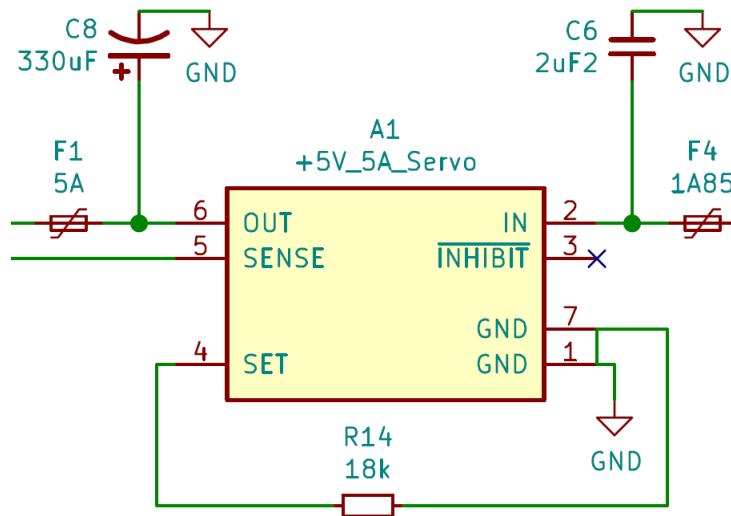


Abbildung 55: Schaltung des 5V, 6A DC-DC Wandlers der Servo-Schiene

4.5 Cube

An das elektrische Netz zur Versorgung des Cubes (im Schaltplan +5V_Cube) sind eine Reihe von Sensoren und anderen Elementen angeschlossen. Um speziell den Cube vor Spannungsschwankungen zu schützen ist auf der Platine in direkter Nähe zum AP ein 100uF Kondensator gegen GND integriert. Über die Pins 61 und 63 wird der Cube mit Energie versorgt. Der Cube kann als Ersatz von der Servo-Schiene über den Pin 9: VDD_SERVO_IN Spannung abgreifen. Zusätzlich zum Cube werden folgende Bauteile bedient: Analog-Eingang, Buzzer, CAN-Bus, GPS, RC IN, Safety-Switch, Spektrum, Boot-Error LED. Auf die einzelnen Komponenten des Netzes wird nun separat eingegangen. Die Beschreibung der genauen Pinbelegung der Stecker erfolgt unter Kapitel 5.3.

4.5.1 ADS-B

Das ADS-B ist ein Kollisionswarngerät. Es Empfängt die Signale größerer Fluggeräte. Um ein ADS-B Signal zu senden, ist ein Transmitter erforderlich. Dieser Sender ist für Modellfluggeräte und Drohnen bis jetzt zu groß und zu schwer. Zum Empfangen des ADS-B Signals ist ein *uAvionix Ping* Sensor erforderlich. Der Receiver des ADS-B Signals ist sehr kompakt. Der Anschluss erfolgt über einen beliebigen Serial-Eingang, ist jedoch auch über *UART* möglich. Die genaue Belegung des ADS-B Anschlusses ist nachfolgender Abbildung 56 und Tabelle 9 zu entnehmen.

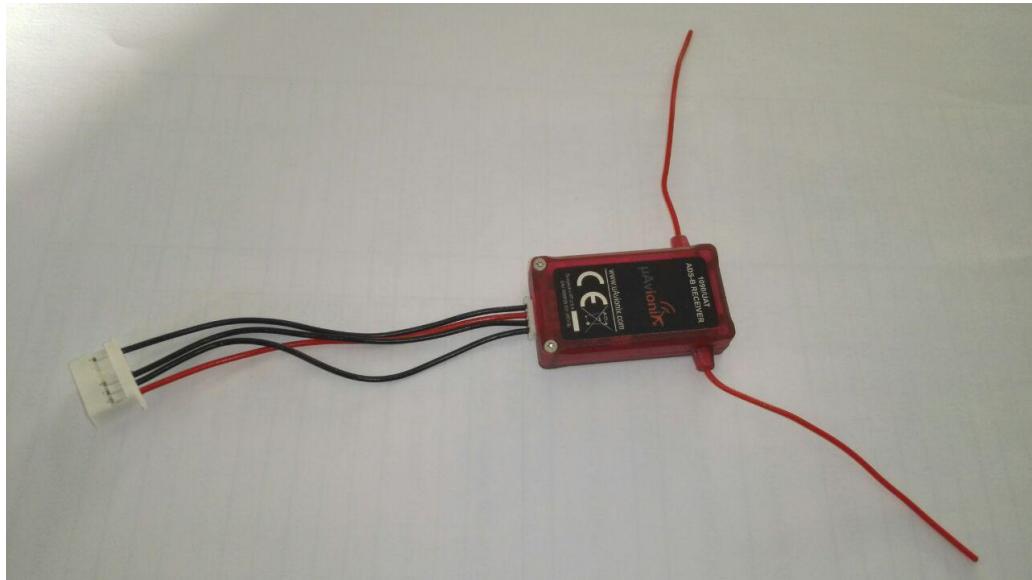


Abbildung 56: ADS-B Receivers

Pin #	Name	Beschreibung
1	GND	GND
2	VCC_5V	+5V-Versorgung
3	RX	SERIAL_RX
4	TX	SERIAL_TX

Tabelle 9: Anschlüsse am Gerät des ADS-B Receivers

Hinweis: Die Belegung der Serial-Anschlüsse TX, RX ist für GPS und Telemetrie auf dieser Platine verschieden. Das ADS-B Gerät muss an einen Telemetrie Ausgang angesteckt werden. Ansonsten sind die Pins im Stecker für RX und TX zu vertauschen.

Im MP muss der Parameter *ADSB_ENABLE* zur Aktivierung des ADS-B Systems auf 1 eingestellt werden. Je nachdem welcher Serial-Anschluss verwendet wird, müssen folgende

Parameter dafür geändert werden. In diesem Fall wird Serial-Anschluss 2 verwendet

- SERIAL2_PROTOCOL auf 1
- SERIAL2_BAUD auf 57

Für Multikopter ist es ab der *Firmware-Version Copter-3.4* möglich das „automatische Ausweichen von bemannten Luftfahrtgeräten“ zu aktivieren. Hierzu müssen folgende Parameter gesetzt werden.

- AVD_ENABLE: 1
- AVD_F_DIST_XY: Der horizontale Abstand ab dem ein *near miss* eingeleitet werden soll
- AVD_F_DIST_Z: Der vertikale Abstand über und unter dem Fluggerät ab dem ein *near miss* eingeleitet werden soll
- AVD_W_DIST_XY: *near miss*-Warnungen für den horizontalen Abstand werden an den Piloten weitergegeben
- AVD_W_DIST_Z: *near miss*-Warnungen für den vertikalen Abstand werden an den Piloten weitergegeben
- AVD_F_TIME: Wie viele Sekunden der Multikopter im Voraus ausweichen soll
- AVD_F_ACTION: Wie der Multikopter auf einen *near miss* reagiert
- AVD_F_RECVRY: Bestimmt wie sich das Fluggerät nach dem Ausweichmanöver verhält; 1 = vorherigen Flugmodus wiederherstellen

Damit der Cube die Einstellungen übernimmt, muss dieser neu gestartet werden. Die Ausweichfunktionen sind immer noch in der Erprobungsphase und sollten mit Vorsicht eingesetzt werden. Für Flugzeuge wurden andere Parameter für das Ausweichen von bemannten Luftfahrtgeräten benutzt. Die genaue Beschreibung dazu bzw. falls alternative Anschlüsse verwendet werden sollen sind unter [6] nachzulesen.

4.5.2 Buzzer

Mit einem Piezo-Summer/Buzzer kann der aktuelle Status des Pixhawks in Form von Tonsignalen wiedergegeben werden. Wie bereits erwähnt wird das Alarm-Signal des Cubes durch das PSM verstärkt um eine höhere Lautstärke zu erhalten. Die Trägerplatine beinhaltet keinen Verstärker zur Erhöhung der Lautstärke. Die Tonsignale des Pixhawks werden von einem kleinen leisen Buzzer, mit begrenzter Lautstärke wiedergegeben. Der leisere

Buzzer wurde gewählt da die normale Lautstärke des Cubes in der Testumgebung zu laut ist. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit einen externen lauteren Buzzer anzuschließen.

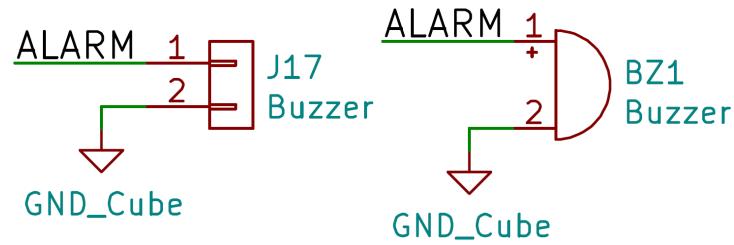


Abbildung 57: Anschlüsse der Buzzer

Revisionsupdate

In der ersten Revision wurde ein lautere und größerer Buzzer verwendet. Während des Testens hat sich eine geringere Lautstärke bis 65dB als vorteilhafter erwiesen, da die Tonsignale des Pixhawks mit lauten Buzzern sehr schrill sind. Durch eine detaillierte Vorgabe des Einbauraumes mussten die Platinenbauteile in der Größe reduziert werden.

4.5.3 FMU– und IO–Reset

Der Cube ist in zwei funktionale Blöcke, FMU und IO, unterteilt. Im FMU–Block werden alle Sensor Daten verarbeitet und die AUX–OUT Servo–Signale erzeugt. Der IO–Block hingegen regelt die RC-Befehle und erzeugt die MAIN–OUT Servo–Signale. Beide Blöcke kommunizieren miteinander. FMU und IO können unabhängig von einander resetet werden. Dies ist hilfreich wenn, neue Sensoren angeschlossen oder Software–Einstellungen verändert wurden und anschließend, ein Reboot erforderlich ist. Statt den AP vom Strom zu nehmen kann der FMU–Reset Schalter benutzt werden. Bei dem Betätigen des IO–Reset Buttons beginnt der IO–Block einen Reboot, kann diesen jedoch nicht beenden. Erst nach Betätigen des FMU–Reset Buttons ist der Cube wieder funktionsfähig.

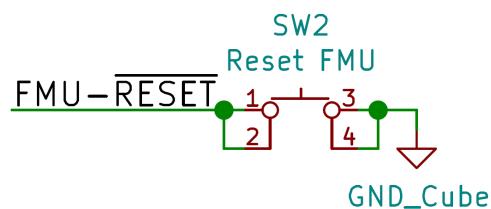


Abbildung 58: Schalter FMU–Reset

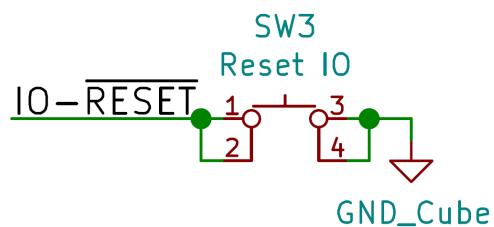


Abbildung 59: Schalter IO–Reset

4.5.4 GPS

Im GPS ist standardmäßig ein Magnetkompass integriert. Der Magnetkompass benötigt eine separate Signalleitung. In alten GPS–Geräten erfolgte dies über einen CAN–Bus. Bei neueren GPS–Geräten wird zur Datenübermittlung für den Magnetkompass der I2C–Bus verwendet. Die Art der Datenübermittlung des Magnetkompasses muss bei der Verwendung älterer GPS Module überprüft werden. Neben den normalen GPS–Geräten besteht die Möglichkeit ein GPS mit zusätzlichem integrierten Safety–Switch anzuschließen (Abbildung 60).



Abbildung 60: GPS Geräte mit Safety–Switch

Für den Multikopter wurden zwei GPS–Geräte desselben Typs in Betrieb genommen (Abbildung 61). Für den Anschluss an der Trägerplatine wurde die unten aufgeführte Steckerbelegung verwendet. Am GPS–Gerät sind die Kabel aufgelötet. Aus Tabelle 10 ist die Reihenfolge (von oben nach unten) der Signalleitung der GPS–Geräte zu entnehmen.

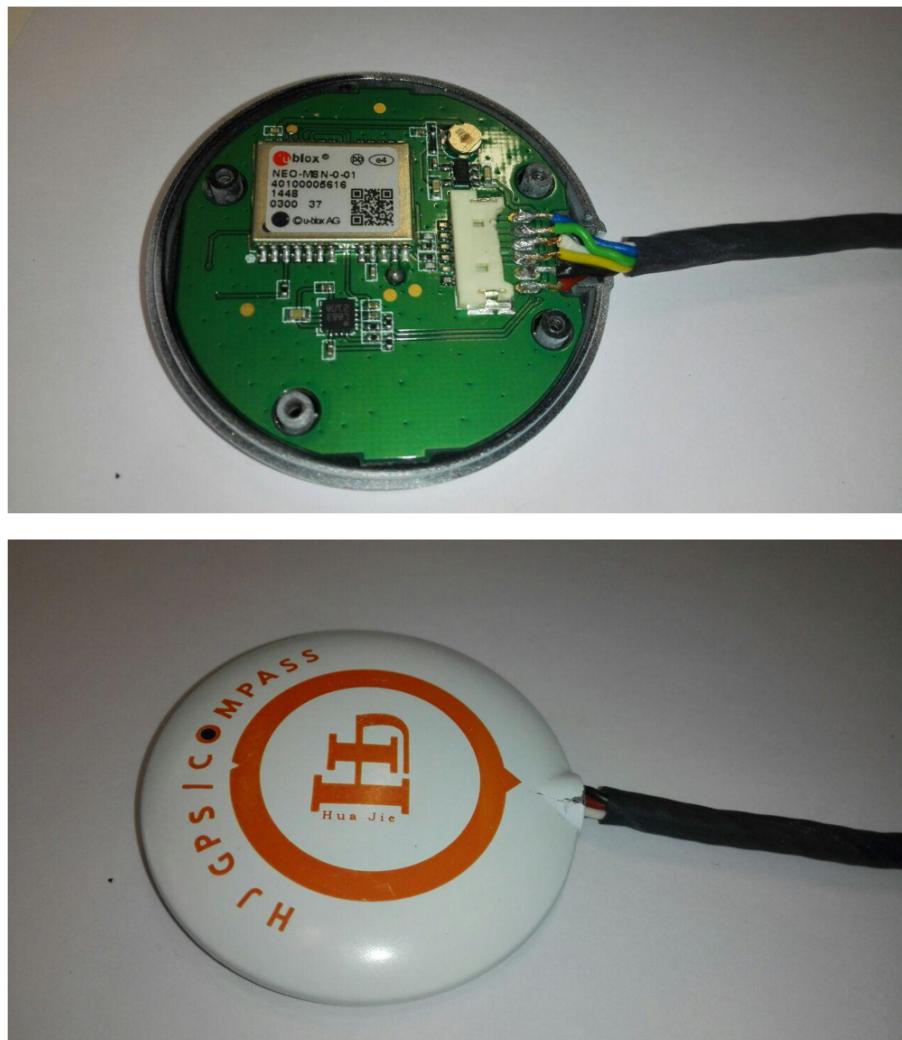


Abbildung 61: Platine (oben) und Gehäuse (unten) des GPS

Anschluss	Name	Beschreibung	Kabelfarbe
1	I2C_SDA		Blau
2	I2C_SCL		Grün
3	SERIAL_RX		Weiß
4	SERIAL_TX		Gelb
5	GND	GND	Schwarz
6	VCC_5V	+5V-Versorgung	Rot

Tabelle 10: Anschlüsse des GPS

Hinweis: Steckerbelegung an der Trägerplatine Pin 2 und 3, SERIAL_RX und SERIAL_TX ist unterschiedlich zur Steckerbelegung der Telemetrie!

4.5.5 Safety-Switch (Boot-Error LED)

Der Safety-Switch dient dazu das Fluggerät „scharf“ zuschalten bzw. den Safety-Arm zu aktivieren. In diesem Zustand können bestimmte Funktionen, wie zum Beispiel das Fahrwerk ein- und auszufahren, überprüft werden. Der Safety-Switch besteht aus einem Schalter und einer blinkenden LED. Nachfolgenden Abbildungen 62 und 63 sind die Anschlüsse für den Schalter und die LED zu entnehmen. Die Safety-Steckerbelegung ist unter Kapitel 5.3.1 aufgeführt.

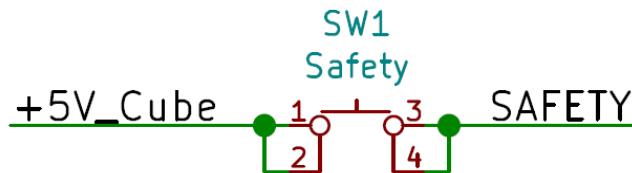


Abbildung 62: Schalter Safety-Switch

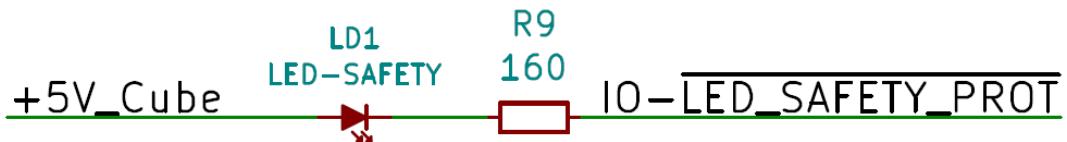


Abbildung 63: LED Safety-LED

Wie aus den Abbildungen hervor geht, handelt es sich bei den zum AP führenden Signalleitungen *SAFETY* und *IO-LED_SAFETY_PROT* um Eingänge in den Cube. Mit einem Schalter kann auf den *SAFETY*-Eingang eine Spannung angelegt werden. Um den Safety-Arm durchzuführen, muss der Schalter ungefähr zwei Sekunden gedrückt werden. Sobald der AP safety-gearmed ist, hört die Safety-LED auf zu blinken und leuchtet durchgehend. Das Blinken der Safety-LED wird erzeugt, in dem der Eingang *IO-LED_SAFETY_PROT* zwischen „high“ und „low“ wechselt.

Neben der Möglichkeit den AP über den auf der Trägerplatine integrierten Safety-Switch zu safety-armen, gibt es zwei weitere Alternativen. Es kann ein externen Safety-Switch an die Trägerplatine über den Safety-Anschluss angeschlossen werden. Bei dem zusätzlichen GPS-Anschluss werden auch die Pins des Safety-Switches herausgeführt. Bestimmte GPS-Geräte haben den Safety-Schalter und -LED mit integriert. Sobald zusätzlich ein externer Safety-Switch angeschlossen ist, leuchtet die auf der Trägerplatine integrierte Safety-LED schwächer. [13]

Analog zum Schaltplan der Safety-LED ist die Boot-Error LED angeschlossen. In Abbildung 64 ist der Anschluss an die Boot-Error LED abgebildet. Diese orange leuchtende

LED beginnt während des Reboots schnell zu blinken. [13]



Abbildung 64: LED Boot–Error–LED

Revisionsupdate

In der ersten Revision wurden die Signalleitungen *SAFETY*, *IO–LED–SAFETY–PROT* und *FMU–LED–AMBER* als Ausgänge des Cubes betrachtet. Die Steckerbelegung für den externen Anschluss hingegen ist [20] entnommen. Deshalb funktioniert der externe Anschluss in der ersten Revision. Die Funktion der Safety–LED war jedoch, wegen der Fehlschaltung auf der Platine, fehlerhaft.

4.5.6 Spektrum

Als *Spektrum* wird der RC–Receiver der Firma Spektrum bezeichnet. Für die Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1 sind Transmitter, Receiver der Firma „Spektrum“ verwendet worden. Die genaue Pinbelegung des Spektrum–Anschlusses ist weiter unten im Kapitel 5.3.1 aufgeführt. Nachfolgender Abbildung ist die Schaltung des Spektrum–Anschlusses zu entnehmen.

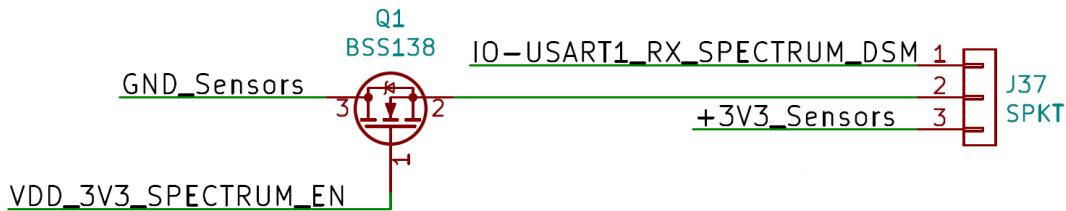


Abbildung 65: Spektrum – Schaltplan

Bildquelle: [16]

Das Bauteil *Q1* ist ein n-Kanal Mosfet. Im Normalzustand ist dieser zwischen Pin 2 und 3 nicht leitend. An der Signalleitung *VDD_3V3_SPECTRUM_EN* liegt im Normalfall eine 3,3V Spannung an. Sobald die Spannung unterbrochen wird öffnet der Mosfet die Verbindung zwischen Pin 2 und 3. Somit ist die Energieversorgung des Receivers unterbrochen. Die Unterbrechungen der 3,3V Spannung sind vom Cube gesteuert. Die Unterbrechungen finden lediglich kurzzeitig statt.

Als „Binden“ wird der Vorgang beschrieben, bei dem einem Transmitter ein Receiver zugewiesen wird. Die kurzzeitigen Unterbrechungen der Energieversorgung des Spektrum–

Empfängers leiten den Prozess des *Bindens* ein. Der Spektrum–Receiver kann über den MP neu gebunden werden (Abbildung 66). Die Funktion *Binden* ist unter *INITIAL SETUP, Basis Hardware, Kalibrierung RC–Steuerung* zu finden.



Abbildung 66: Spektrum Binden

Revisionsupdate

In der ersten Revision war die Pinbelegung des Spektrum–Anschlusses nicht richtig. In Folge einiger Test und Recherchen wurde die richtige Pinbelegung ermittelt.

5 Pinbelegung

5.1 Verwendete Pins

Pin #	Name	Dir	Description
2	!FMU-LED_AMBER	i	Boot error LED (drive only, use Fet to control led)
4	I2C_2_SDA	i/o	I2C data io
6	I2C_2_SCL	o	I2C clock
7	FMU-!RESET	i	reset pin for the FMU
9	VDD_SERVO_IN	i	power for last resort i/o failsafe
13	GND		System GND
15	GND		System GND
16	SERIAL_4_RX	i	Für GPS2
17	SAFETY	i	Safety button input
18	SERIAL_4_TX	o	Für GPS2
19	vdd_3V3_SPECTRUM_EN	o	enable for the spectrum voltage regulator
20	SERIAL_3_RX	i	Für GPS1
21	PREASSURE_SENS_IN	a i	Analogue port, for pressure sensor, or Laser range finder, or Sonar
22	SERIAL_3_TX	o	Für GPS1
23	AUX_BATT_VOLTAGE_SENS	a i	Voltage sense for Aux battery input / Power 2
24	ALARM	o	Buzzer PWM signal
25	AUX_BATT_CURRENT_SENS	a i	Current sense for Aux battery input / Power 2
28	!IO-LED_SAFETY_PROT	o	IO-LED_SAFETY pinned out for IRIS / SAFETY-LED
29	VBUS	i	vbus, voltage from USB plug
30	SERIAL2_RTS		Für Telemetrie 2
31	OTG_DP1	i/o	DATA P from USB
32	SERIAL2_CTS		Für Telemetrie 2
33	OTG_DMI	i/o	DATA M from USB
34	SERIAL2_RX	i	Für Telemetrie 2
35	I2C_1_SDA	i/o	I2C data i/o
36	SERIAL2_TX	o	Für Telemetrie 2
37	I2C_1_SCL	o	I2C clock
38	SERIAL1_RX	i	Für Telemetrie 1
39	CAN_L_2	i/o	Can bus Low signal driver on FMU
40	SERIAL1_TX	o	Für Telemetrie 1
41	CAN_H_2	i/o	Can bus High signal driver on FMU
42	SERIAL1_RTS		Für Telemetrie 1
43	!VDD_5V_PERIPH_OC	i	error state message from Periph power supply
44	SERIAL1_CTS		Für Telemetrie 1
45	!VDD_5V_HIPOWER_OC	i	error state message from High power Periph power supply
47	BATT_VOLTAGE_SENS_PROT	a i	Voltage sense from main battery / Power 1
48	IO-USART1_RX_SPECTRUM_DSM	o	signal from Spectrum receiver
49	BATT_CURRENT_SENS_PROT	a i	Current sense from main battery / Power 1

50	FMU-CH1-PROT	o	AUX OUT 1
52	FMU-CH2-PROT	o	AUX OUT 2
53	VDD_SERVO	i	VDD_Servo, for monitoring servo bus
54	FMU-CH3-PROT	o	AUX OUT 3
56	FMU-CH4-PROT	o	AUX OUT 4
58	FMU-CH5-PROT	o	AUX OUT 5
60	FMU-CH6-PROT	o	AUX OUT 6
61	VDD_5V_IN	i	main power into FMU from power selection
62	PPM-SBUS-PROT	i	RC IN
63	VDD_5V_IN	i	main power into FMU from power selection
66	IO-CH8-PROT	o	MAIN OUT 8
68	IO-CH7-PROT	o	MAIN OUT 7
70	IO-CH6-PROT	o	MAIN OUT 6
72	IO-CH5-PROT	o	MAIN OUT 5
74	IO-CH4-PROT	o	MAIN OUT 4
75	IO-!RESET	i	IO reset pin
76	IO-CH3-PROT	o	MAIN OUT 3
77	CAN_L_1	i/o	Canbus Low signal driver on FMU
78	IO-CH2-PROT	o	MAIN OUT 2
79	CAN_H_1	i/o	Canbus High signal driver on FMU
80	IO-CH1-PROT	o	MAIN OUT 1

Abbildung 67: Tabelle der verwendeten Pins

Bildquelle: [20]

Über die beiden Anschlüsse Pin 9 und 53 wird die Servo-Schiene auf Funktionalität kontrolliert bzw. als alternative Energiequelle verwendet. Die Pins VDD_SERVO_IN und VDD_SERVO in beide mit den +5V_Servo Netz verbunden.



Abbildung 68: Pin 9 und 53 mit +5V_Servo verbunden

5.2 Nicht benutzte Pins

Pin #	Name	Dir	Description
1	FMU-SWDIO	i/o	Single wire debug io / Für Entwicklung
3	FMU-SWCLK	o	single wire debug clock / Für Entwicklung
5	!EXTERN_CS	o	chip select for external SPI (NC, just for debugging)
8	CAN_L_3		Future compatibility
10	CAN_H_3		Future compatibility
11	EXTERN_DRDY	i	interrupt pin for external SPI (NC, just for debugging)
12	SERIAL_5_RX	i	Bei Bedarf verwenden/ CONs
14	SERIAL_5_TX	o	Bei Bedarf verwenden/ CONs
26	IO-VDD_3V3	i	IO chip power, pinned through for debug
27	!VDD_5V_PERIPH_EN	o	enable signal for Peripherals
46	IO-USART1_TX	o	
51	SPI_EXT_MOSI	o	External SPI, for debug only / Für Entwickler
55	!VDD_BRICK_VALID	i	main power valid signal
57	!VDD_BACKUP_VALID	i	backup power valid signal
59	!VBUS_VALID	i	USB bus valid signal
64	S.BUS_OUT	o	SBUSo
65	IO-VDD_5V5	o	power to RX
67	SPI_EXT_MISO	i	External SPI, for debug only / Für Entwickler
69	IO-SWDIO	i/o	IO single wire debug i/o / Für Entwickler
71	IO-SWCLK	o	IO single wire debug clock / Für Entwickler
73	SPI_EXT_SCK	o	External SPI, for debug only / Für Entwickler

Abbildung 69: Tabelle der nicht angeschlossenen Pins

Bildquelle: [20]

Es gibt verschiedene Ursachen warum diese Signalleitungen nicht benötigt werden. Die Gründe hierfür sind besonders relevant. Im Anschluss wird für jeden Ausgang erläutert warum dieser nicht benötigt wird.

Stecker wird auf der Trägerplatine nicht benutzt:

Im Kapitel 5.4 werden die auf der Trägerplatine nicht benötigten Stecker mit ihrer Pinbelegung detailliert aufgeführt. Hier werden nur die Anschlüsse an den Cube betrachtet.

- Pin#: 12; Name: SERIAL_5_RX; Beschreibung: CONs, kann für einen zusätzlichen Serial-Anschluss verwendet werden
- Pin#: 14; Name: SERIAL_5_TX; Beschreibung: CONs, kann für einen zusätzlichen Serial-Anschluss verwendet werden
- Pin#: 64; Name: S.BUS_OUT; Beschreibung: SBUSo Signalleitung

Nicht verwendete Pins auf dem CB

Einige der Pins werden auf dem CB von ProfiCNC [16] nicht verwendet. Die genaue Ursache für die Platzbelegung auf dem 80-Pin Anschluss ist unbekannt.

- Pin#: 8; Name: CAN_L_3; Beschreibung: CAN 3 Bus, Verwendung in der Zukunft
- Pin#: 10; Name: CAN_H_3; Beschreibung: CAN 3 Bus, Verwendung in der Zukunft
- Pin#: 26; Name: IO-VDD_3V3; Beschreibung: IO chip power, pinned through for debug
- Pin#: 65; Name: IO-VDD_5V5; Beschreibung: power to RX

Unter Kapitel 4.5.3 wurde die Verwendung der FMU- und IO-Reset Anschlüsse beschrieben. Diese Pins werden jedoch von ProfiCNC [16] ebenfalls nicht verwendet. Der Vollständigkeit halber werden diese Pins hier aufgeführt, da diese Anschlüsse auf der Trägerplatine verwendet werden.

- Pin#: 7; Name: FMU- \overline{RESET} ; Beschreibung: Resetet den FMU-Block
- Pin#: 75; Name: IO- \overline{RESET} ; Beschreibung: Resetet den IO-Block

Ausgänge des PSM

Das PSM ist wie bereits erwähnt auf dem CB hauptsächlich für die Spannungspriorisierung bzw. -erzeugung verantwortlich.

- Pin#: 27; Name: $\overline{VDD_5V_PERIPH_EN}$; Beschreibung: Aktiviert den Spannungsregler für Peripherie und HiPower
- Pin#: 55; Name: $\overline{VDD_BRICK_VALID}$; Beschreibung: Rückmeldung ob diese Spannungsquelle vorhanden ist
- Pin#: 57; Name: $\overline{VDD_BACKUP_VALID}$; Beschreibung: Rückmeldung ob diese Spannungsquelle vorhanden ist
- Pin#: 59; Name: $\overline{VBUS_VALID}$; Beschreibung: Rückmeldung ob diese Spannungsquelle vorhanden ist

Die Pins 55,57 und 59 haben eine maximale Spannung von ungefähr 3,3V bei positiver Rückmeldung. Es hat keinen negativen Einfluss auf die Funktionsweise des Cubes, wenn diese nicht angeschlossen sind.

Ausgänge für die Entwicklung

Für nur die Entwicklung, den Intel-Edison Prozessor und das Debugging wurden extra Pins vorgesehen. [16]

- Pin#: 1; Name: FMU-SWDIO; Beschreibung: single wire debug io
- Pin#: 3; Name: FMU-SWCLK; Beschreibung: single wire debug io
- Pin#: 5; Name: *EXTERN_CS*; Beschreibung: chip select for external SPI (NC, just for debugging)
- Pin#: 11; Name: EXTERN_DRY; Beschreibung: interrupt pin for external SPI (NC, just for debugging)
- Pin#: 46; Name: IO-USART1_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 51; Name: SPI_EXT_MOSI; Beschreibung: External SPI, for debug only
- Pin#: 67; Name: SPI_EXT_MISO; Beschreibung: external SPI, for debug only
- Pin#: 69; Name: IO_SWDIO; Beschreibung: IO single wire debug i/o
- Pin#: 71; Name: IO-SWCLK; Beschreibung: IO single wire debug clock
- Pin#: 73; Name: SPI_EXT_SCK; Beschreibung: External SPI, for debug only

Kupferpads auf dem CB

Auf der Rückseite des CBs sind freie Kupferflächen. Folgende Pins führen zu freien Kupferflächen auf dem CB. [16]

- Pin#: 5; Name: *EXTERN_CS*; Beschreibung: chip selct for external SPI (NC, just for debugging)
- Pin#: 11; Name: EXTERN_DRY; Beschreibung: interrupt pin for external SPI (NC, just for debugging)
- Pin#: 12; Name: SERIAL_5_RX; Beschreibung: -
- Pin#: 14; Name: SERIAL_5_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 16; Name: SERIAL_4_RX; Beschreibung: -
- Pin#: 18; Name: SERIAL_4_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 20; Name: SERIAL_3_RX; Beschreibung: -

- Pin#: 21; Name: PREASSURE_SENS_IN; Beschreibung: Analogue port, for pressure sensor, or Laser range finder, or Sonar
- Pin#: 22; Name: SERIAL_3_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 34; Name: SERIAL2_RX; Beschreibung: -
- Pin#: 36; Name: SERIAL2_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 38; Name: SERIAL1_RX; Beschreibung: -
- Pin#: 40; Name: SERIAL1_TX; Beschreibung: -
- Pin#: 51; Name: SPI_EXT_MOSI; Beschreibung: External SPI, for debug only
- Pin#: 67; Name: SPI_EXT_MISO; Beschreibung: external SPI, for debug only
- Pin#: 73; Name: SPI_EXT_SCK; Beschreibung: External SPI, for debug only

5.3 Steckerbelegung der Trägerplatine

Mit dem Pixhawk 2.1 wurde eine für manche Elemente eine neue Steckerbelegung eingeführt. Da die Anpassung an die neue Belegung unnötiger Mehraufwand bedeuten würde und die Funktion nicht beeinflusst wird, wird die alte Steckerbelegung beibehalten. Als Steckersystem wurde für die Trägerplatine das JST-ZH System gewählt. Dieses ist leicht an- und abzustecken, außerdem leicht zu krimpen. Abweichungen von dem gewählten System sind angegeben.

5.3.1 Stecker

Analog

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	PREASURE_SENS_IN		21
3	GND	GND	-

Tabelle 11: Analog – JST-ZH Steckersystem

Tabellenquelle: [7] [20]

Buzzer

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	ALARM	Signalleitung	24
2	GND	GND	-

Tabelle 12: Buzzer – JST-ZH Steckersystem

Tabellenquelle: [7] [20]

CAN-Bus

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	CAN_H_1		79
3	CAN_L_1		77
4	GND	GND	-

Tabelle 13: CAN 1

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	CAN_H_2		41
3	CAN_L_2		39
4	GND	GND	-

Tabelle 14: CAN 2

Tabellenquelle: [7] [20]

RC-Receiver

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Cube	37
3	PPM_SBUS_PROT		62

Tabelle 15: RC IN – normaler 3-Pin Servo-Anschluss

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	IO-USART1_RX_SPECTRUM_DSM	Versorgung - Servo	48
2	GND (VDD_3V3_SPECTRUM_EN)	Erklärung Spektrum	- (19)
3	VCC_3V3	Versorgung - 3V3	-

Tabelle 16: Spektrum – JST-ZH Steckersystem

Tabellenquelle: [16]

GPS

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	SERIAL3_RX		20
3	SERIAL3_TX		22
4	I2C_1_SCL		37
5	I2C_1_SDA		35
6	GND	GND	-

Tabelle 17: GPS 1

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	SERIAL4_RX		18
3	SERIAL4_TX		16
4	I2C_2_SCL		6
5	I2C_2_SDA		4
6	GND	GND	-

Tabelle 18: GPS 2

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	SERIAL3_RX		20
3	SERIAL3_TX		22
4	I2C_1_SCL		37
5	I2C_1_SDA		35
6	SAFETY	Schalter	17
7	IO- <i>LED_SAFETY_PROT</i>	LED	28
8	GND	GND	-

Tabelle 19: GPS 1 mit Safety-Switch (JST-GH Steckersystem)

Tabellenquelle: [7] [20]

I2C-Bus

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
2	I2C_1_SCL		37
3	I2C_1_SDA		35
4	GND	GND	-

Tabelle 20: I2C 1

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
2	I2C_2_SCL		6
3	I2C_2_SDA		4
4	GND	GND	-

Tabelle 21: I2C 2

Tabellenquelle: [7] [20]

Safety

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	IO-LED_SAFETY_PROT	LED	28
3	SAFETY	Schalter	17

Tabelle 22: Safety-Switch – JST-ZH Steckersystem

Tabellenquelle: [7] [20]

Telemetrie

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	SERIAL1_TX		40
3	SERIAL1_RX		38
4	SERIAL1_CTS		44
5	SERIAL1_RTS		42
6	GND	GND	-

Tabelle 23: Telemetrie 1

Tabellenquelle: [7] [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VCC_5V	Versorgung - Cube	-
2	SERIAL2_TX		36
3	SERIAL2_RX		34
4	SERIAL2_CTS		32
5	SERIAL2_RTS		30
6	GND	GND	-

Tabelle 24: Telemetrie 2

Tabellenquelle: [7] [20]

USB/Micro–USB

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VBUS		29
2	OTG_DP1		31
3	OTG_DM1		33
4	GND	GND	-

Tabelle 25: USB/Micro–USB

Tabellenquelle: [16]

5.3.2 Steuerflächen

Im Folgenden werden die Servo–Kanäle mit Verwendung im Hexakopter und Flugzeug aufgelistet.

Nr.	Kanal	Hexakopter	Flugzeug
1	MAIN OUT 1	Motor 1	Querruder-Rechts (Aileron-R)
2	MAIN OUT 2	Motor 2	Höhenruder (Elevator)
3	MAIN OUT 3	Motor 3	Gas/Schub (Throttle)
4	MAIN OUT 4	Motor 4	Seitenruder (Rudder)
5	MAIN OUT 5	Motor 5	Querruder-Links (Aileron-L)
6	MAIN OUT 6	Motor 6	Landeklappe-Rechts
7	MAIN OUT 7	-	Landeklappe-Links
8	AUX OUT 1-4	Fahrwerk (Landing Gear)	Fahrwerk (Landing Gear)

Tabelle 26: Übersicht der Kanalbelegung

Hexakopter

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH1-PROT		80
4	IO-CH2-PROT		78
5	IO-CH3-PROT		76
6	IO-CH4-PROT		74
7	IO-CH5-PROT		72
8	IO-CH6-PROT		70

Tabelle 27: Copter

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	FMU-CH1-PROT		50
4	GND	GND	-

Tabelle 28: Copter-Füße

Flugzeug

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH5-PROT		72
4	GND	GND	-
5	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
6	IO-CH7-PROT		68
7	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
8	I2C_2_SCL		6
9	I2C_2_SDA		4
10	GND	GND	-

Tabelle 29: Flügel – Links

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH1-PROT		80
4	GND	GND	-
5	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
6	IO-CH6-PROT		70
7	GND	GND	-

Tabelle 30: Flügel – Rechts

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH2-PROT		78
4	GND	GND	-
5	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
6	IO-CH4-PROT		74

Tabelle 31: Leitwerk

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH3-PROT		76

Tabelle 32: Motor

Nicht verwendete Signalleitungen

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VCC_5V	Versorgung - Servo	-
3	IO-CH8-PROT		66
4	FMU-CH2-PROT		52
5	FMU-CH3-PROT		54
6	FMU-CH4-PROT		56
7	FMU-CH5-PROT		58
8	FMU-CH6-PROT		60
1	GND	GND	-

Tabelle 33: Nicht benutzte Signalleitungen

5.4 Nicht benötigte Anschlüsse des Carrier Boards

Einige Anschlüsse, die auf dem CB vorhanden sind werden nicht auf der neuen Trägerplatine benötigt. Dafür gibt es zwei Gründe: Anschlüsse sind überflüssig und Anschlüsse werden nicht benötigt. Insgesamt werden vier Anschlüsse nicht mehr benötigt, darunter die Energieversorgungsanschlüsse des Cubes und zwei funktionelle Anschlüsse. Der Vollständigkeit halber werden die Pinbelegungen der Anschlüsse anschließend aufgeführt.

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VDD 5V Brick	Supply from Brick to AP	to PSM
2	VDD 5V Brick	Supply from Brick to AP	to PSM
3	BATT_VOLTAGE_SENS_PROT	Battery voltage connector	47
4	BATT_CURRENT_SENS_PROT	Battery current connector	49
5	GND	GND	-
6	GND	GND	-

Tabelle 34: Power 1

Tabellenquelle: [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VDD 5V Backup	Supply from Brick to AP	to PSM
2	VDD 5V Backup	Supply from Brick to AP	to PSM
3	AUX_BATT_VOLTAGE_SENS	Battery voltage connector	23
4	AUX_BATT_CURRENT_SENS	Battery current connector	25
5	GND	GND	-
6	GND	GND	-

Tabelle 35: Power 2

Tabellenquelle: [20]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	SERIAL_5_RX		12
3	SERIAL_5_TX		14

Tabelle 36: CONs

Tabellenquelle: [16]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	GND	GND	-
2	VDD_SERVO	Versorgung - Servo	-
3	S.BUS_OUT		64

Tabelle 37: SBUSo

Tabellenquelle: [16]

Pin #	Name	Beschreibung	Cube-Pin #
1	VBUS		29
2	OTG_DP1		31
3	OTG_DM1		33
4	GND	GND	-
5	Buzzer_Out	PSM-Signal	-
6	LED_AMBER	Boot / Error Led (FW updates)	2

Tabelle 38: USB

Tabellenquelle: [16] [20]

6 Platinenhalterung

Die Trägerplatine ist während des Fluges sicher befestigt und somit werden Vibratoren stark gedämpft und Verfälschungen des Lagewinkels vermieden. Um die Trägerplatine in den Multikopter zu integrieren wurde eine Kunststoffhalterung angefertigt. Die Trägerplatine wird mit M3-Schrauben darauf befestigt. Die Halterung wurde im Rapid Prototyping und Manufacturing Lab der Fakultät 03 gefertigt. Ein Klettverschlussystem an der Halterung hält die Platine in Position. Die Klettverschlüsse werden an der Unterseite der Befestigungslaschen aufgeklebt. In den Abbildungen 70 und 71 sind nur die relevanten Maße ohne Toleranzen angegeben.

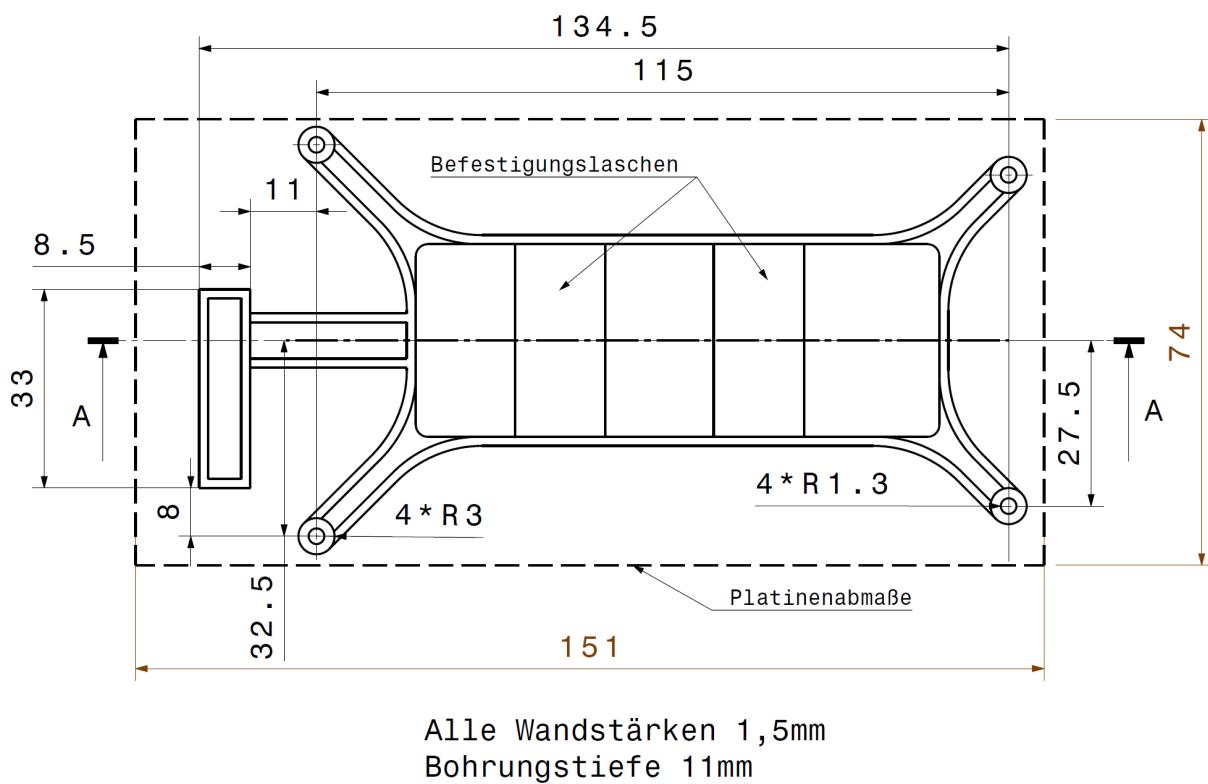


Abbildung 70: Platinenhalterung – Draufsicht

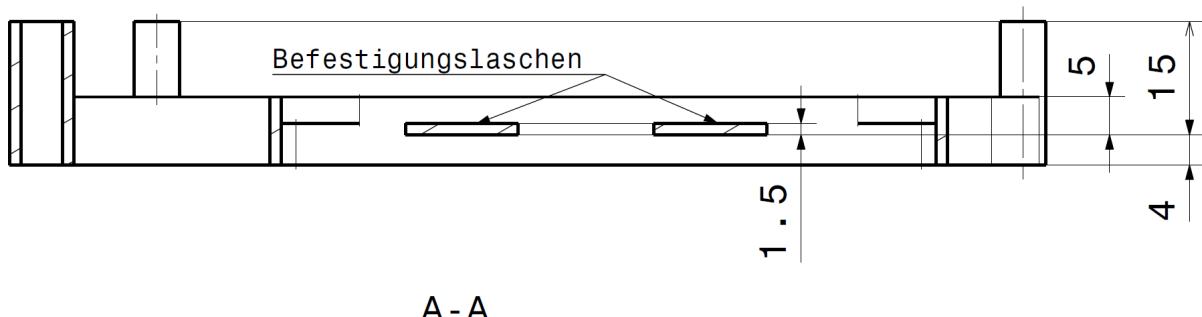


Abbildung 71: Platinenhalterung – Schnittansicht

Neben den Positionen der Bohrungen sind in Abbildung 70 die beiden Querstreben zur Befestigung der Klebestreifen des Klettverschlusses zu entnehmen. Die lösbare Klettbefestigung hat eine bestimmte Dicke und ist sehr flexibel. Für eine feste Auflage bzw. einen sicheren Stand umschließt die Halterung die Positionsbefestigung mit einem Abstand von 4mm (Abbildung 71). Alle Gewichtskräfte bzw. Kräfte, die bei der Montage wirken laufen so über die Halterung. Um unter der Trägerplatine elektronische Bauteile befestigen zu können, steht die Trägerplatine auf „Stelzen“ (Abbildung 71).

Revisionsupdate

Für die erste Revision wurde keine Halterung entworfen. Die Fokus der ersten Revision lag auf der Erprobung und der Fehlerfindung.

7 Ausblick: Zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten

Diese Trägerplatine ist das Ergebnis einer Abschlussarbeit. Die Entwicklung ist auf die grundlegenden Funktionen des autonomen Fliegens fokussiert. Daher sind nicht alle Möglichkeiten der anzuschließenden Sensorik und Software bedingten Verbesserungen von Flugeigenschaften ausgeschöpft. Mit der Zeit werden immer mehr Probleme in der Software behoben und bessere Sensoren können verwendet werden. Auch ist die Anwendung der Trägerplatine entscheidend. Je nach Fluggerät und Mission müssen bestimmte Veränderungen vorgenommen werden.

So könnte die Trägerplatten in zwei oder mehr Subplatten unterteilt werden. Dies hätte besondere Vorteile in Bezug auf Redundanz. Auch würde dies eine Vorstufe der Modulbauweise bedeuten. Bei Versagen von einzelnen Modulen können diese unabhängig von anderen Systemkomponenten einfach ausgetauscht werden. Die internen Sensoren des Cubes sind von den magnetischen Feldern größerer Ströme beeinflussbar. Die Energieversorgung und –aufteilung könnte in einer kleineren kompakten Bauform gefertigt, weit weg der Sensorik platziert werden. Lange Verbindungsleitungen zur Sensorik sind leichter für Störungen anfällig. Für die Konstruktion der Fluggeräte ist es schwieriger viel Platz für große steuerungstechnische Elemente zu reservieren. Mit einer kleineren modularen Bauweise sind verschiedenen Komponenten nachträglich leichter im Flügel oder Rumpf zu integrieren. Konstruktive Änderungen halten sich stark in Grenzen.

Auch der bereits erwähnte hochwertige Entfernungssensor LightWare SF11/C ist für zukünftige Anwendungen sehr attraktiv. Abstände können auch in großer Höhe noch sehr genau bestimmt werden. Dies ist bei windigen Tagen mit starken Auf- und Abwinden in schwierigem Gelände sehr hilfreich. Für eine universale Nutzung der Serial-Anschlüsse kann die Pinbelegung der RX- und TX-Signalleitung in allen Serialsteckern von GPS und Telemetrie gleich angeordnet werden. Durch den zusätzlichen Serial 5 Eingang ist ein weiterer Serial-Anschluss bei Bedarf möglich.

In der Rekuperation stellt die größte Herausforderung die konstruktive Unterbringung des super Kondensators dar. Im Moment ist der Kondensator in durchkontakteierten Bohrungen angelötet und per Heißkleber an der Platine befestigt. Dies ist für die Befestigung optimal, jedoch sind nicht viele Möglichkeiten zur Platzierung vorhanden. Sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite muss eine freie Fläche sein. Die jetzige Befestigung gestaltet sich deshalb als schwierig und ist stark anfällig für Vibrationen. Diese Vibrationen können zu Beschädigungen am Kondensator, infolge von Schweiern mit andern Verlötungen führen. Es wäre möglich den Kondensator auf Lötfächern zu befestigen. Mit einem gesinterten Gehäuse das sowohl der Befestigung als auch der Positionierung dient, wäre der Kondensator gegenüber der aktuellen Variante sehr gut gegen Vibrationen und deren Folgen geschützt. Das Gehäuse wird von unten an die Platine gesteckt. So besteht kein Kontakt zu anderen metallischen Oberflächen auf der Platine.

8 Zusammenfassung

Durch die Inbetriebnahme des Pixhawk 2.1 auf dem Hexakopter S900 konnte dessen wesentliche Funktionsweise verstanden werden. Anhand der einzelnen Bereiche, vom Auspacken des Pixhawks bis hin zur Installation von optionalen Sensorsystemen und anderer Hardware, entstand ein grobes Bild von der Bedienung des AP in Kombination mit dem MP. Dies zeigt die Komplexität der Bedienung und der noch vorhandenen möglichen erweiterten Einstellungen. Beginnend mit der Kalibrierung der standardmäßigen Sensoren bzw. der Anpassung der Software an das entsprechende Fluggerät über das Korrigieren der Flugeigenschaften unter Zuhilfenahme der gesammelten Erfahrungen während der ersten Flüge. Bis hin zur Montage bzw. Einstellung der einfacheren optionalen Hardware wie zum Beispiel des Höhensensors.

Die Entwicklung der Platine führte durch verschiedenste Themenbereiche. Ein Grundverständnis für Schaltpläne und der realistischen Verwendung von elektronischen Bauteilen, sind die Grundlage des Platinen-Designs. Weiterhin zeigte die Entwicklung der Trägerplatine ein grobes Vorgehen im Bereich der Planung und Entwurf einer Platine. Die richtige Energieversorgung macht einen wesentlichen Teil der Trägerplane aus. Verluste in Form von Wärme können die Flugzeit stark reduzieren. Um zu verhindern, dass Komponenten der Energieversorgung durch Überlast zerstört werden, wurde die Rekuperation als Schutzsystem eingebaut. Auch die Interaktion der Energieversorgung über Micro-USB und der Akkus bedarf erhöhter Aufmerksamkeit.

Die Niederspannungsversorgung des Cubes, der Sensorik und Servos erfolgt über drei verschiedene Netze. Dabei ist die ausreichende Stromversorgung der Servos wichtig. Bei vollem Betrieb können die Aktuatoren bis zu 5A benötigen. Bei der Sensorik ist besonders auf eine korrekte Pinbelegung sowie auf eine möglichst störungsfreie Umgebung bzw. Energieversorgung zu achten.

Die Dokumentation zeigt auf, welche Pins des Cubes verwendet bzw. nicht benutzt werden. Für die nicht verwendeten Anschlüsse ist eine detaillierte Beschreibung der Gründe aufgelistet. Auch die, speziell auf das Fluggerät angepasste, Kanalbelegung inklusive der Steckerbelegung ist essentiell.

Während des Flugbetriebs treten, je nach Wetterlage und zu fliegender Mission, mehr oder weniger Vibrationen auf. Eine Halterung dämpft die Schwingungen und fixiert die Platine. Jedoch ist die Entwicklung der Trägerplatine mit dieser Abschlussarbeit noch nicht zu Ende. Modernere Sensoren sowie die Schaffung von Redundanzsystem auf der Platine beispielsweise für die Energieversorgung, stellen mögliche Erweiterungen dar.

Danksagung

Diese Abschlussarbeit wurde an der Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik der Hochschule für angewandte Wissenschaften München geschrieben. An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Siebold für die Möglichkeit diese Bachelorarbeit zu schreiben, sehr bedanken.

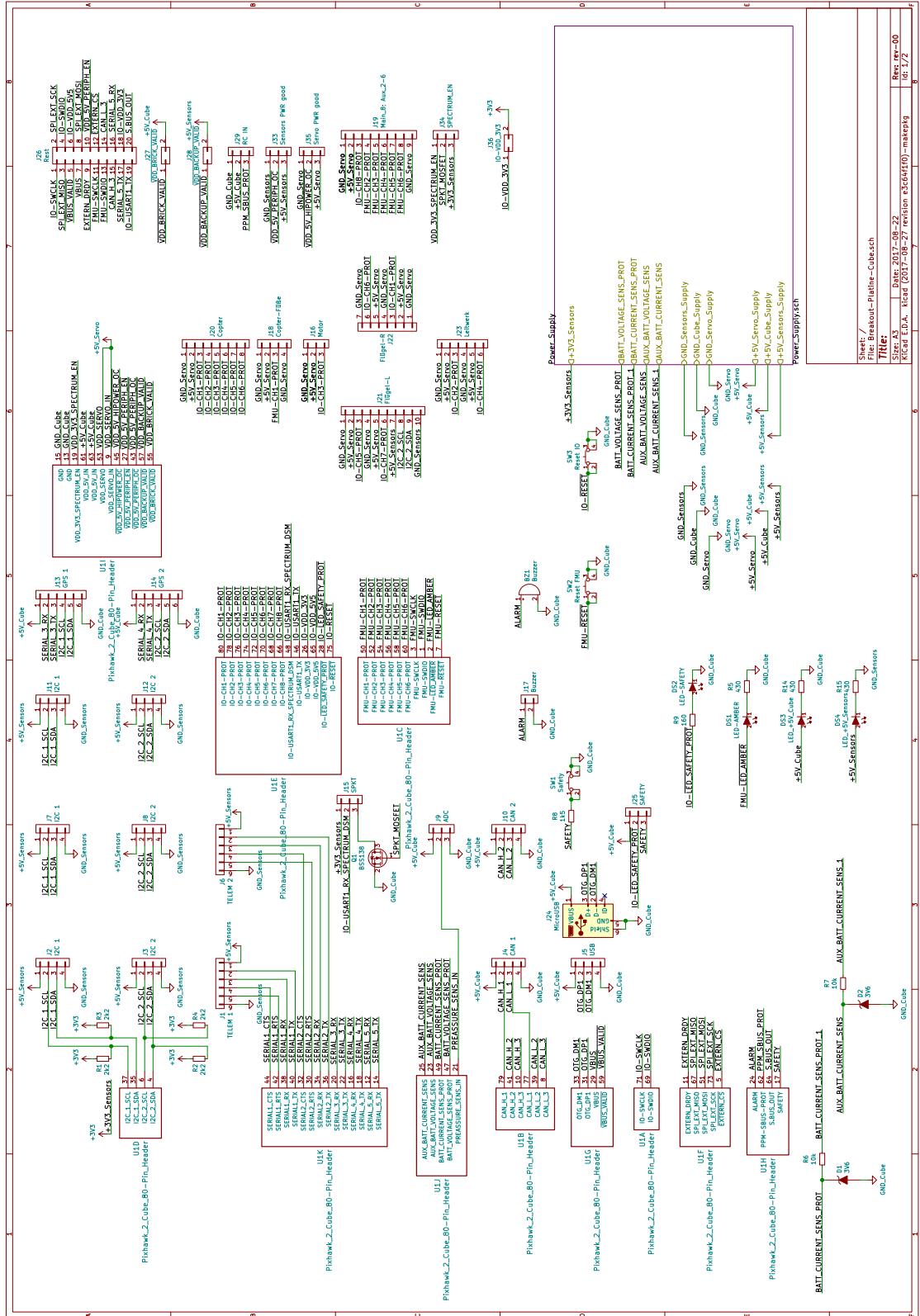
Die Arbeit an dieser Bachelorarbeit hat mich Vieles gelehrt, herausgefordert und mir sehr viel Freude bereitet. Es war mir ein großes Vergnügen mit den Personen des Labors für Systemtechnik zusammenzuarbeiten. Speziell möchte ich mich bei Folgenden Personen für Ihre Geduld, Unterstützung bei Fragen aller Art und Ermutigungen bedanken. Besonders bei Herrn Sebastian Donner für die Vergabe und Betreuung dieser interessanten Arbeit. Zu dem bei Herrn Herrn Jens Schmelkus für die Einweisung in das Programm KiCad. Bei Herrn Benjamin Bachmaier der mir bei Fragen bezüglich des Mission Planners helfend zur Seite stand. Bei jeglicher Art von Elektronik betreffenden Fragen unterstützte mich auch Herr Christian Leupolz.

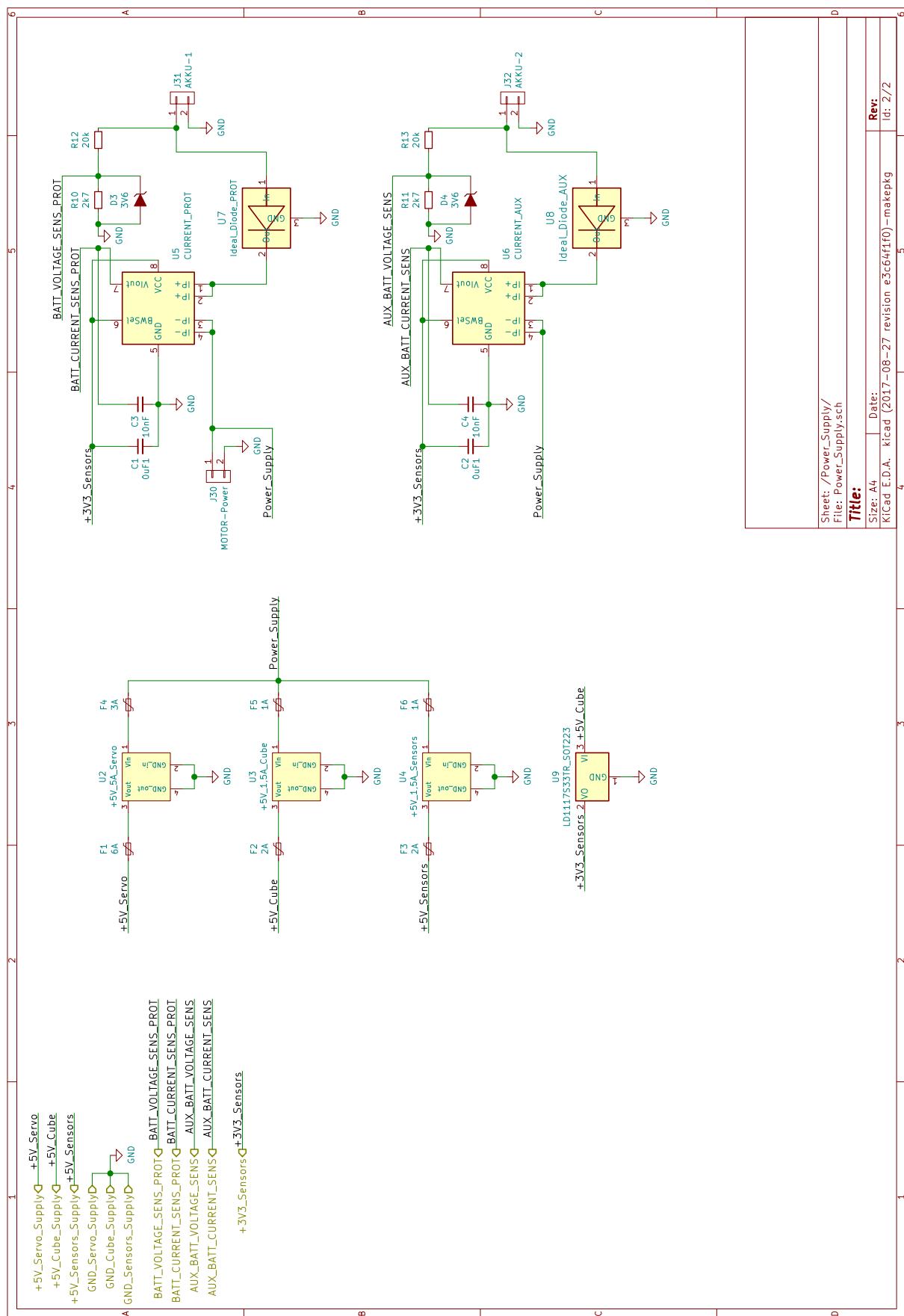
Ein besonderes herzliches Dankeschön geht an meine Eltern, Stephan und Martha Simbürger, die mir die ganze Zeit meiner Ausbildung mit unermesslicher Geduld und Unterstützung zur Seite standen.

Jedoch mein größter Dank und alle Ehre gehören YHWH dem Gott Abrahams, Isaaks und Israels (Jakobs), Jesus Christus (1.Joh.4,2-3).

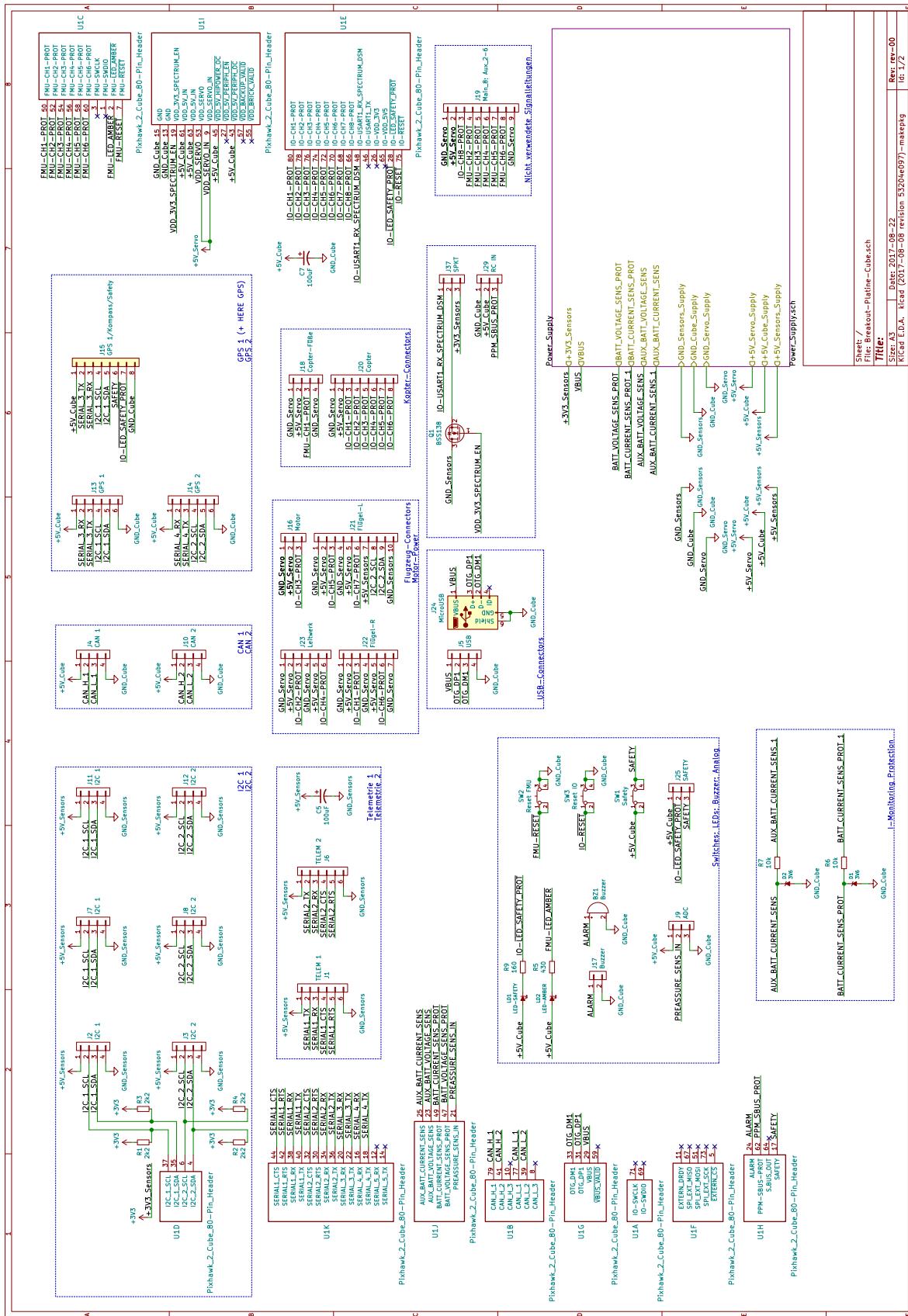
Anhang

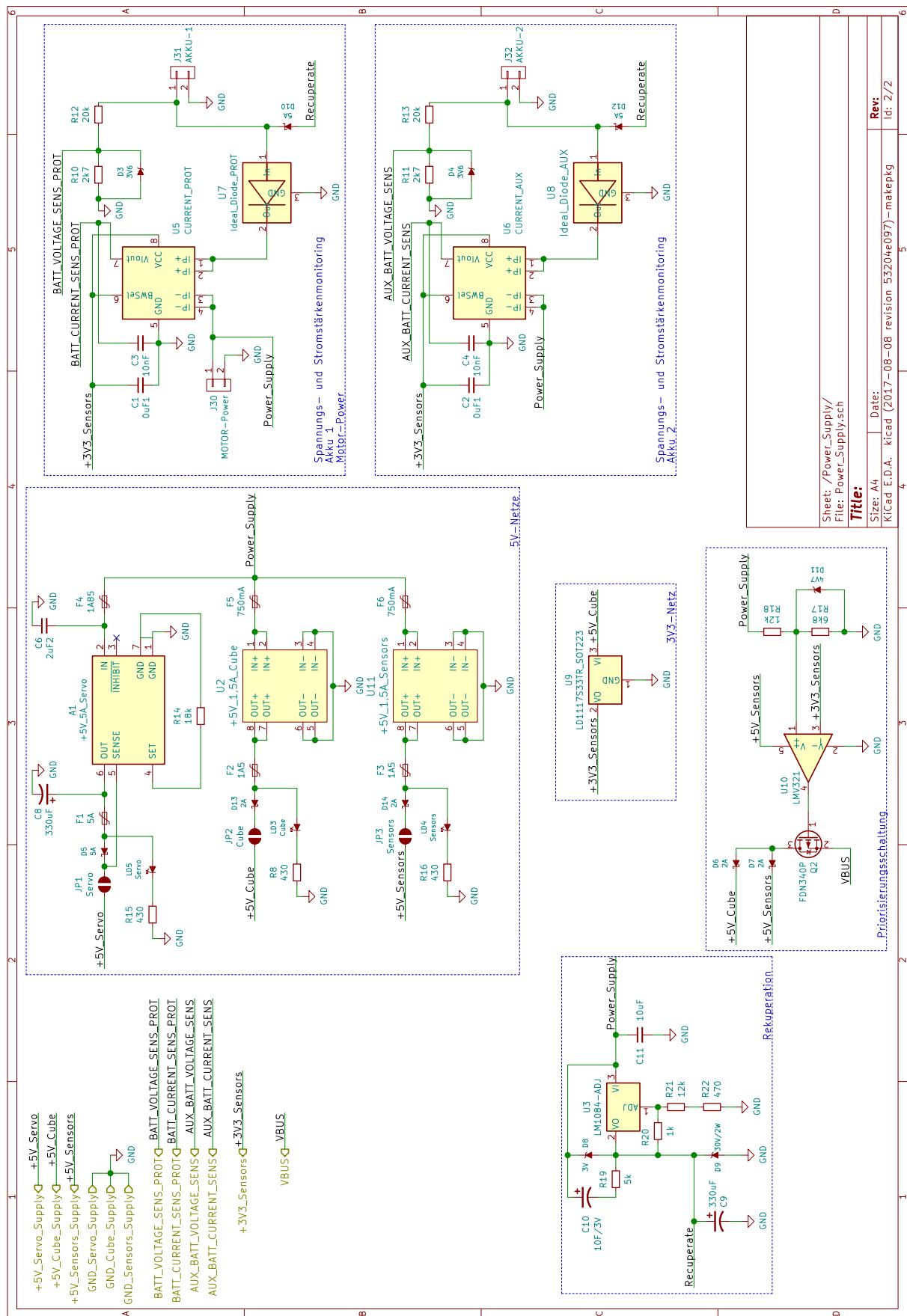
A. Revision 0: Schaltplan, Layout



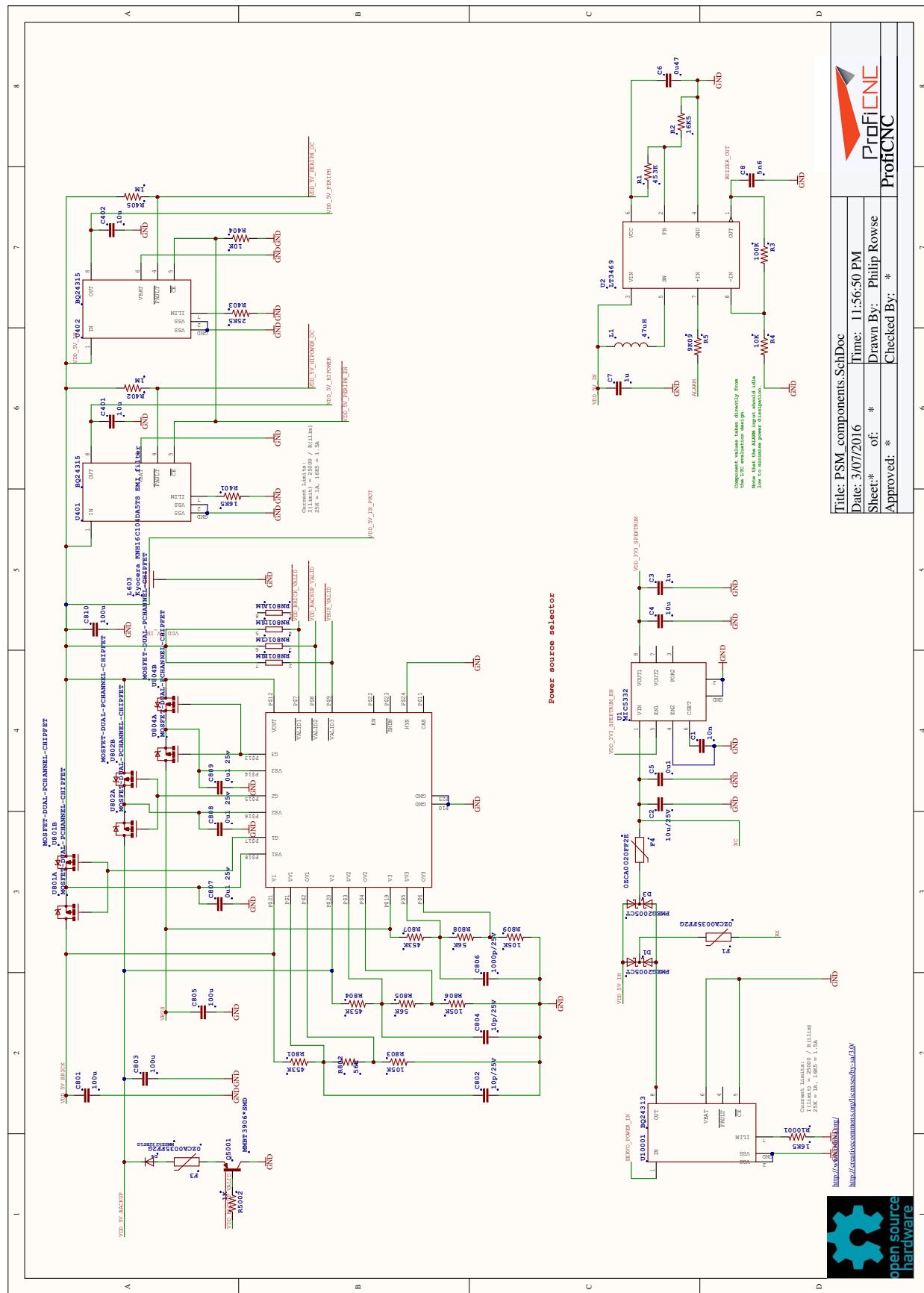


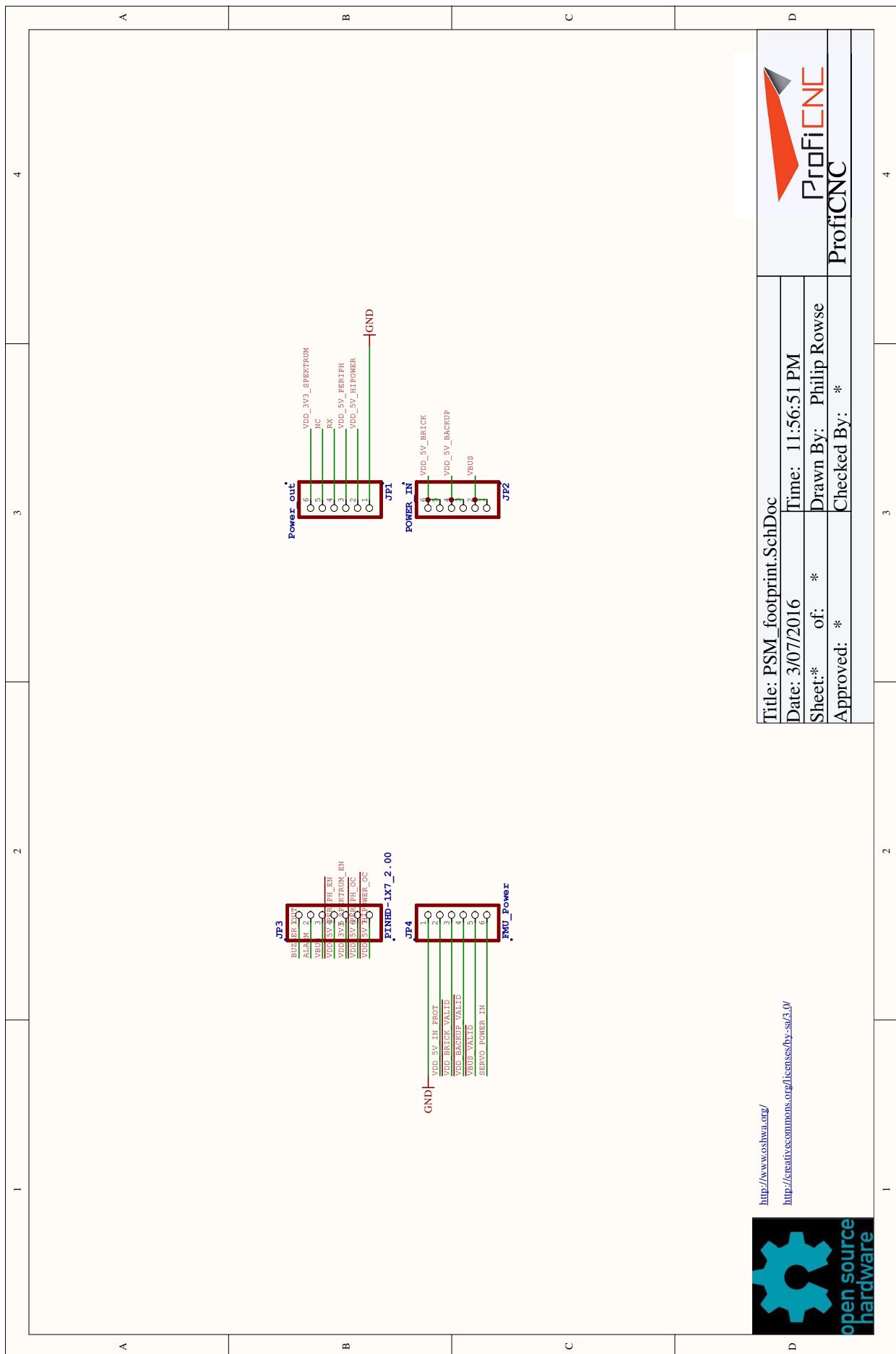
B. Revision 1: Schaltplan, Layout



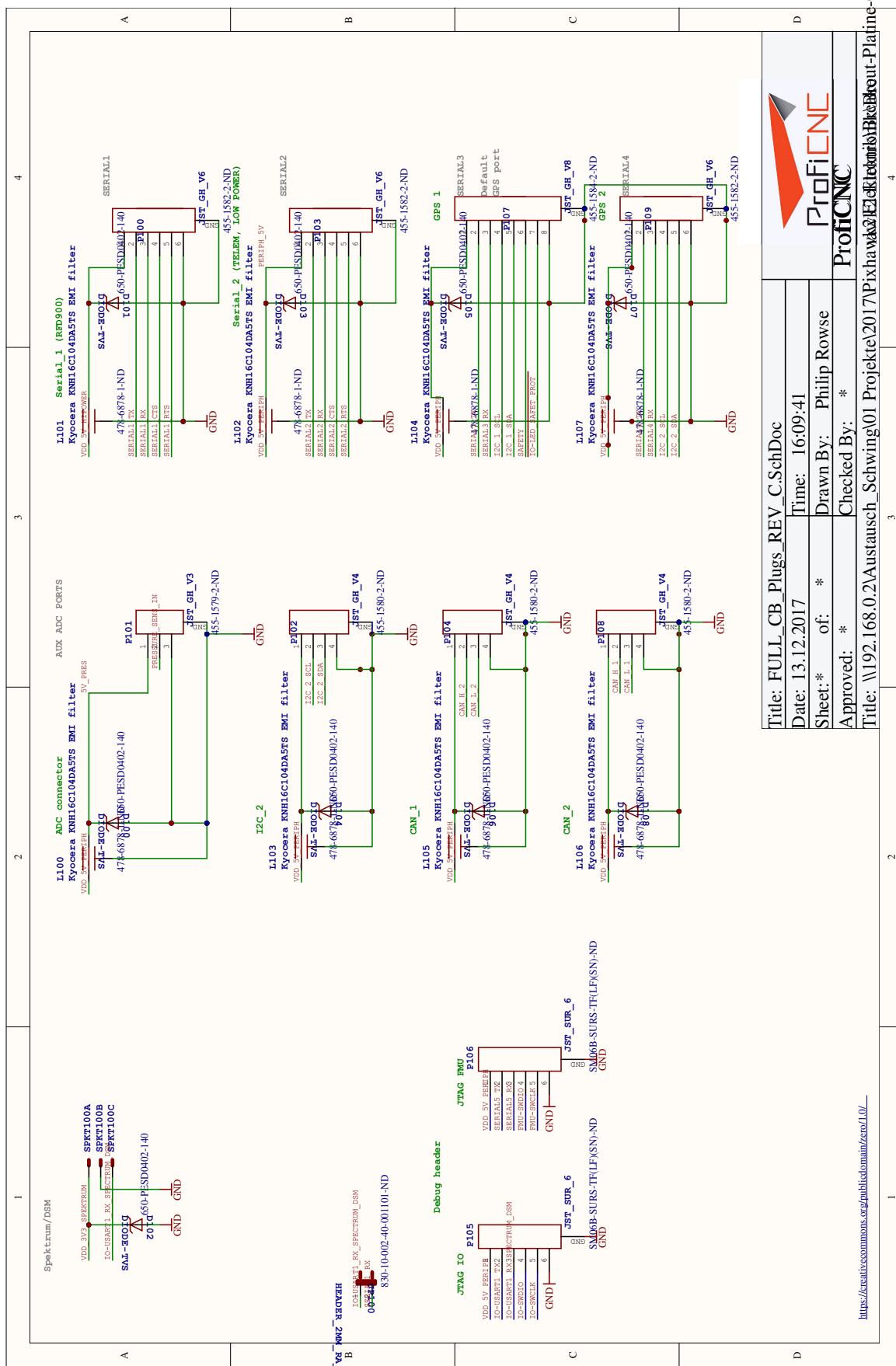


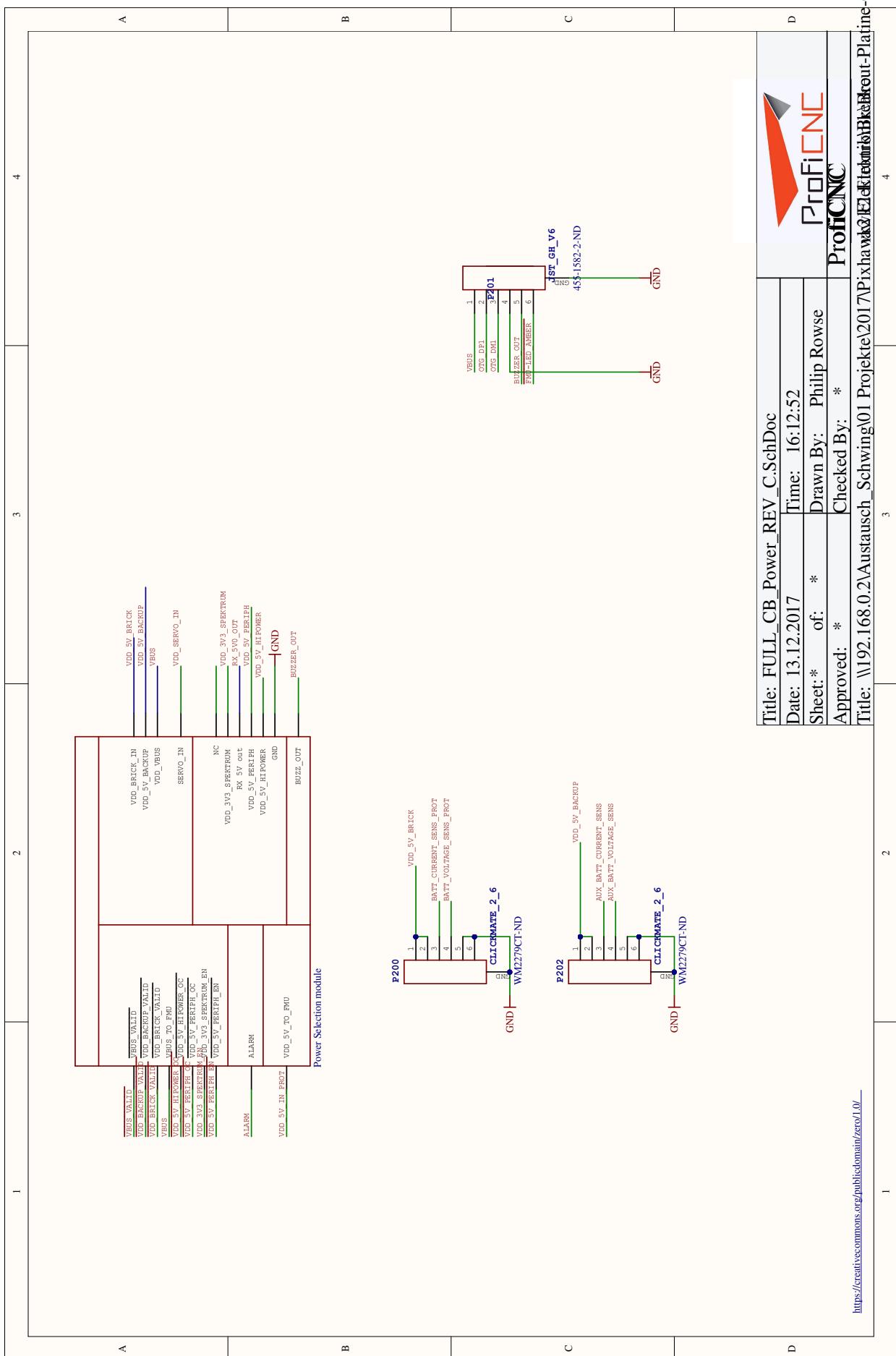
C. PSM Schaltplan

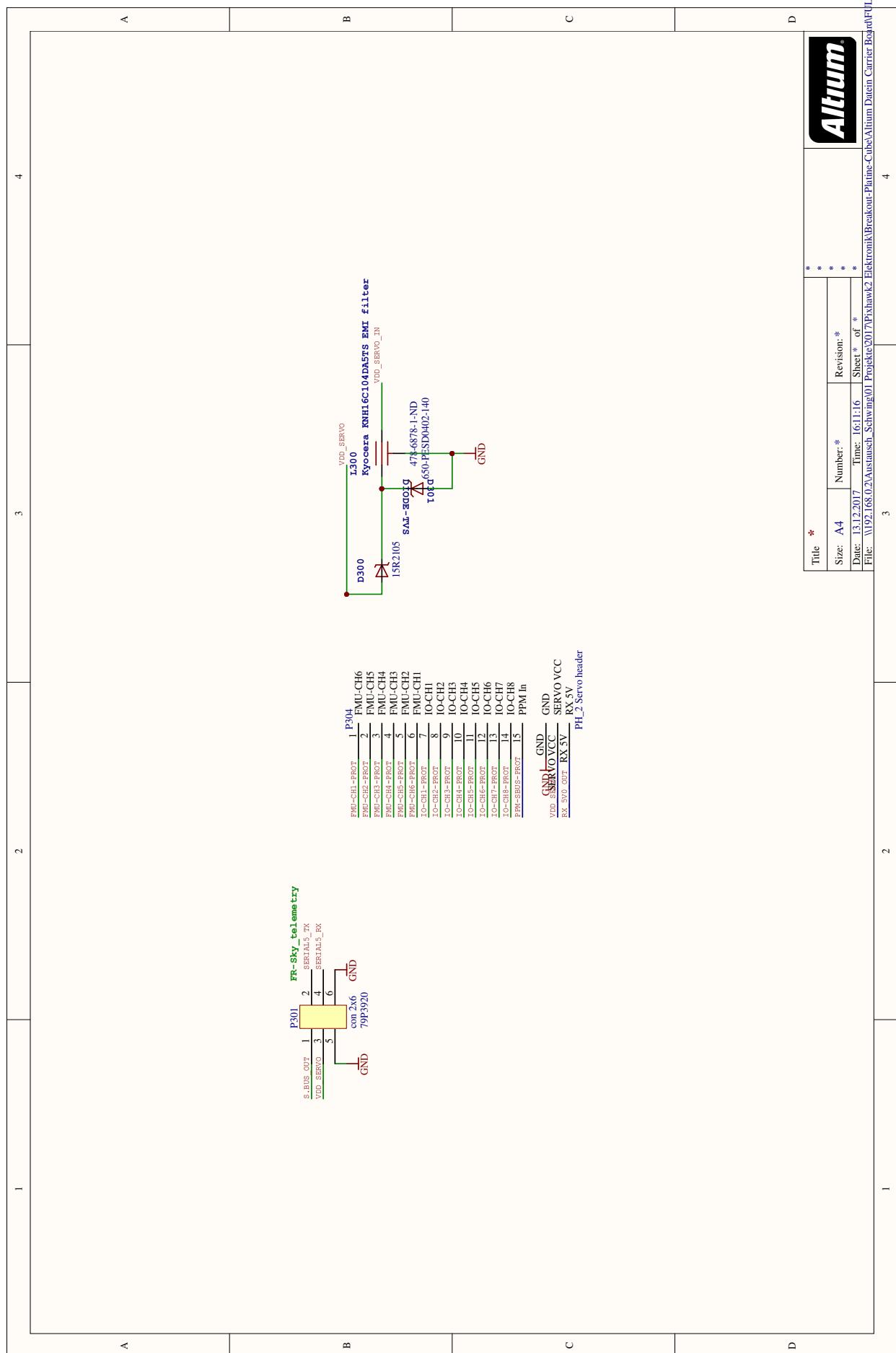


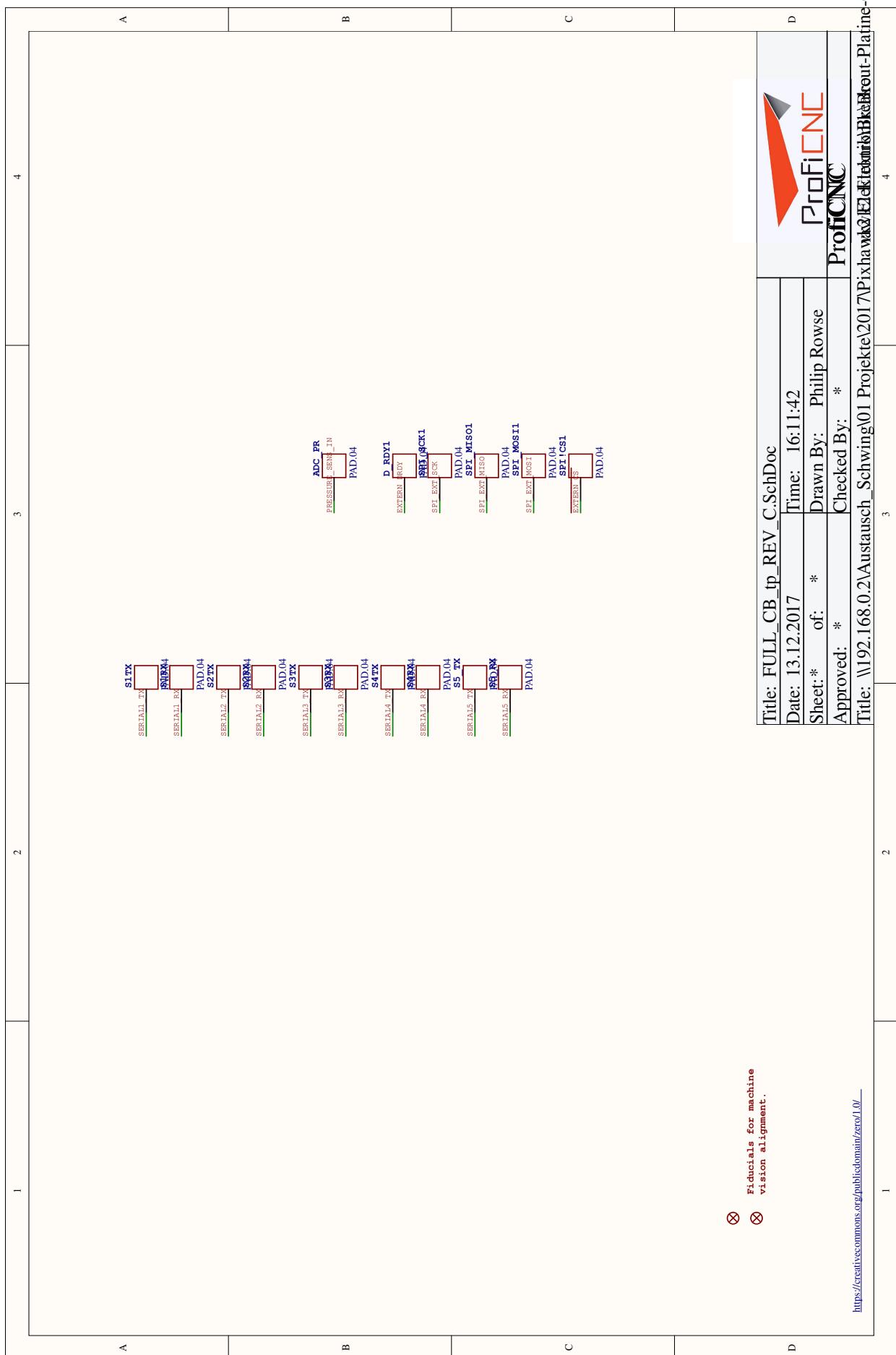


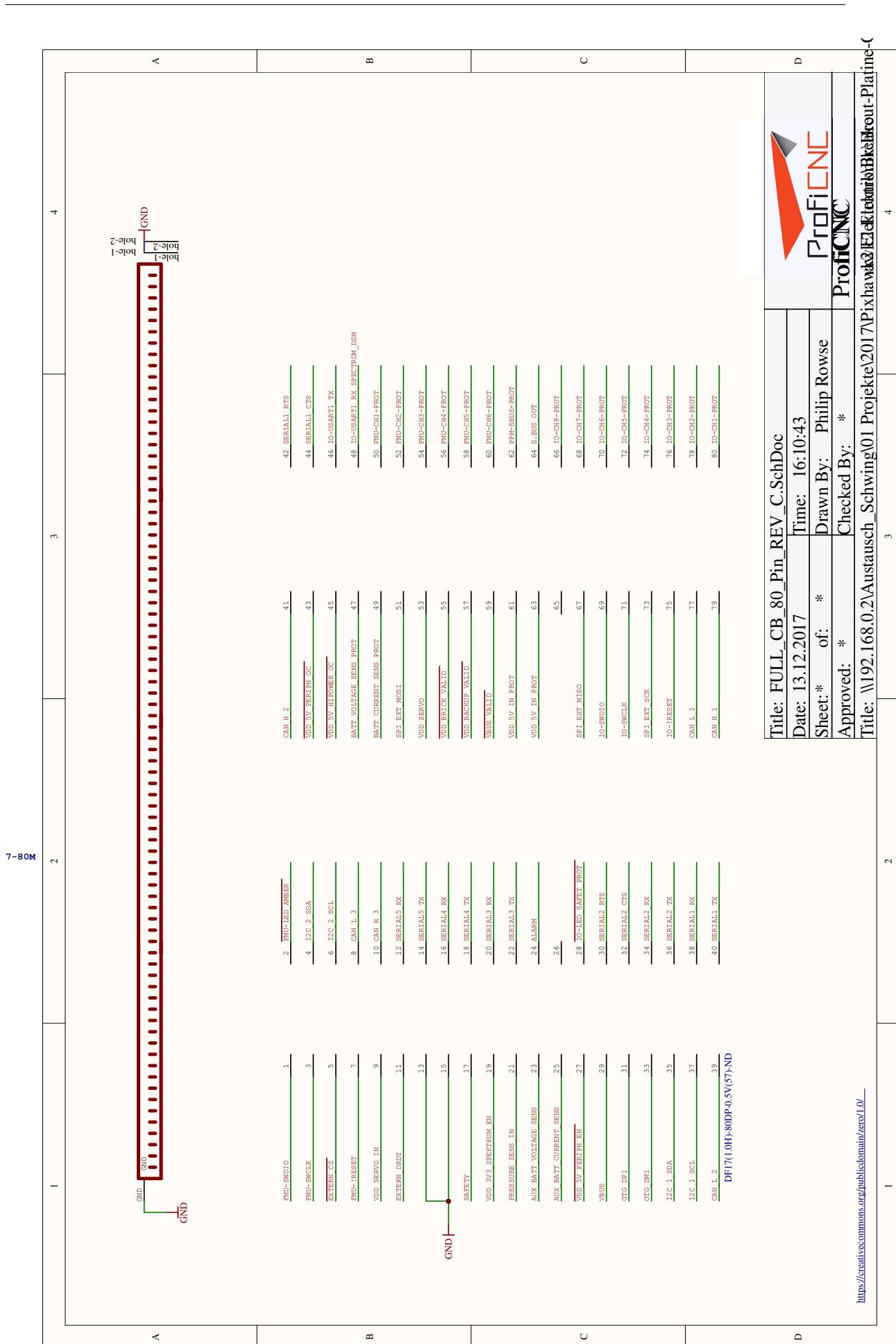
D. CB Schaltplan

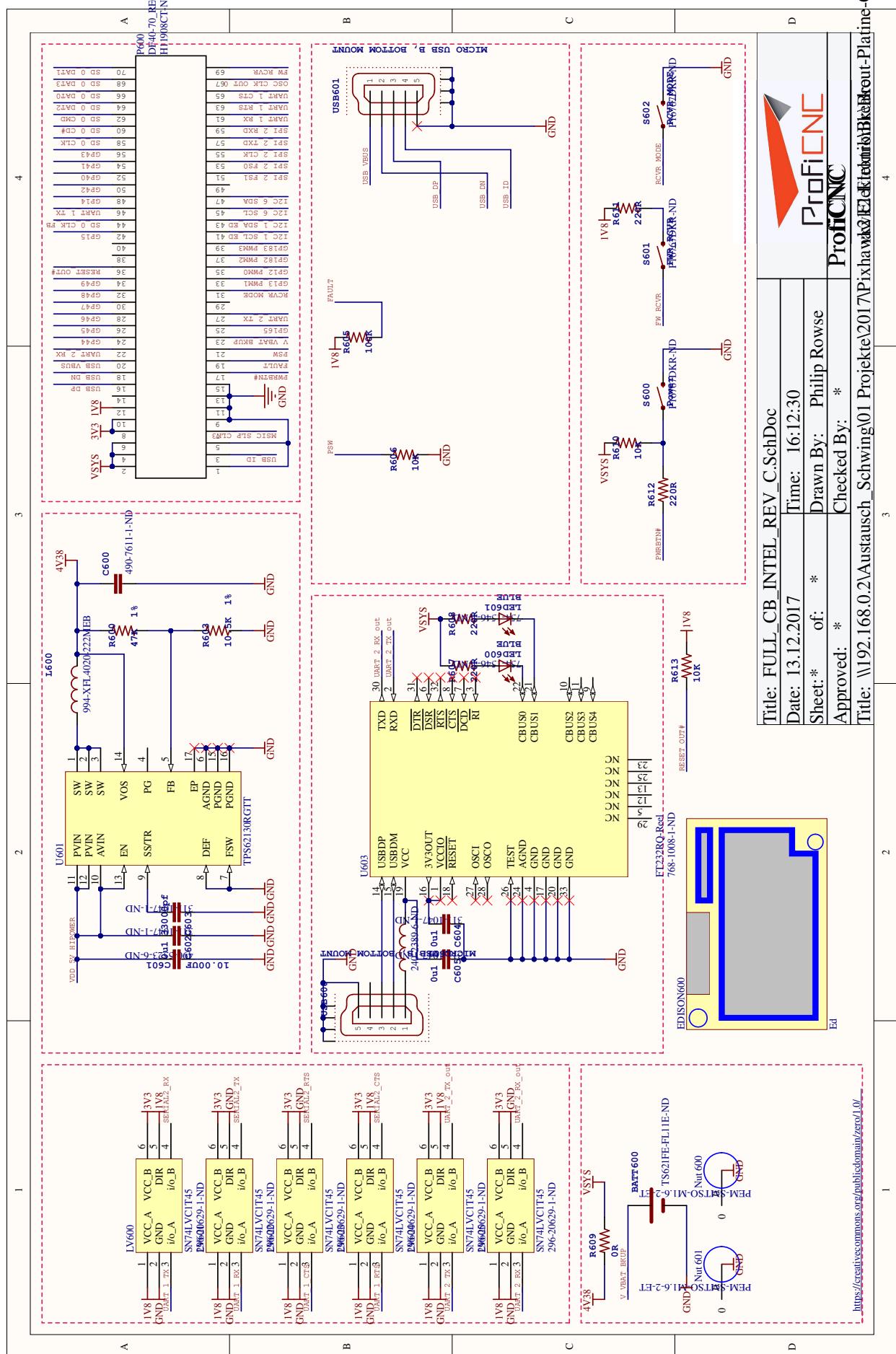












Literatur

- [1] ArduPilot Dev Team (2016), *Advanced Configuration*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-advanced-configuration.html>
- [2] ArduPilot Dev Team (2016), *Copter Home*, Abgerufen am 08 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/index.html>
- [3] ArduPilot Dev Team (2016), *Current Limiting and Voltage Scaling*, Abgerufen am 18 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/current-limiting-and-voltage-scaling.html#current-limiting-and-voltage-scaling>
- [4] ArduPilot Dev Team (2016), *First Flight with Copter*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/flying-arducopter.html>
- [5] ArduPilot Dev Team (2016), *First Time Setup*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/initial-setup.html>
- [6] ArduPilot Dev Team (2016), *Optional Hardware*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-optional-hardware.html>
- [7] ArduPilot Dev Team (2016), *Pixhawk Overview (Old)*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html>
- [8] ArduPilot Dev Team (2016), *Rangefinders (landing page)*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-rangefinder-landingpage.html>
- [9] Arduino (2017), *Arduino (TM) UNO Rev3*, Abgerufen am 27 November 2017, Verfügbar unter: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uino_Rev3-schematic.pdf
- [10] Drohnen - Infos, Vergleiche und Technik-Test von Drohnen und Robotern (2014), *DJI Spreading Wings S900: Ein Kopter wie aus dem Lehrbuch*, Abgerufen am 15 Dezember 2017, Verfügbar unter: <https://www.drohnen.de/2625/dji-spreading-wings-s900-ein-kopter-wie-aus-dem-lehrbuch/>
- [11] Duden (2017), *Begriffsdefinition des Wortes Autopilot*, Abgerufen am 06 Dezember 2017, Verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Autopilot>
- [12] Engmann, K. (2006). *Technologie des Flugzeugs* (3.Auflage). Würzburg: Vogel

- [13] E-Switch (2008), *LP1OA1AG*, Abgerufen am 06 Dezember 2017, Verfügbar unter: http://spec_sheets.e-switch.com/specs/B200202.pdf
- [14] GARMIN Ltd. (2016), *Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications*, Abgerufen am 18 Dezember 2017, Verfügbar unter: https://static.garmin.com/pumac/LIDAR_Lite_v3_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf
- [15] Github (2017), *Cube-Schaltplan FMU Rev. C*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <https://github.com/proficnc/pixhawk2.1>
- [16] Github (2017), *Schaltplan CB Rev. C*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: <https://github.com/proficnc/pixhawk2.1>
- [17] Github (2017), *Schaltplan PSM Rev. C*, Abgerufen am 04 Dezember 2017, Verfügbar unter: https://github.com/proficnc/pixhawk2.1/blob/master/PSM/PSM_REV_C.pdf
- [18] Karvinen, K., Karvinen, T., Valtokari, V. (2015). *Sensoren: Messen und experimentieren mit Arduino und Raspberry Pi* (1.Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag
- [19] ProfiCNC (2013), *Power-Selection-Module*, Abgerufen am 04 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://www.proficnc.com/en/system-kits/84-power-selection-module.html>
- [20] ProfiCNC (2016), *Pixhawk v2 Feature Overview*, Abgerufen am 07 Dezember 2017, Verfügbar unter: http://www.proficnc.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=5
- [21] ProfiCNC u.a. (2016), *PIXHAWK2.1 USER MANUAL*
- [22] RFDesign Pty Ltd (2017), *RFD 900+ Modem*, Abgerufen am 15 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://files.rfdesign.com.au/Files/documents/RFD900x%20DataSheet.pdf>
- [23] SYNO SYSTEMS UAV (2017), *Bild des Pixhawk 2.1 Modell*, Abgerufen am 08 Dezember 2017, Verfügbar unter: https://synosystems.de/874-thickbox_default/pixhawk21-suite-standard-aka-the-cube.jpg
- [24] Telos Systementwicklung GmbH (2017), *Die Funktionsweise der I2C Hardware*, Abgerufen am 06 Dezember 2017, Verfügbar unter: <http://de.i2c-bus.org/intro/die-funktionsweise-der-i2c-hardware/>

- [25] Texas Instruments (2017), *6-A, WIDE-INPUT ADJUSTABLE SWITCHING REGULATOR, Revision Aug. 2011*, Abgerufen am 06 Dezember 2017, Verfügbar unter:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ptn78020w.pdf>