



# ABSCHLUSSBERICHT

IKARUS CANSAT TEAM

HTL RENNWEG



## Inhaltsverzeichnis

Projektmotivation.....	5
Projektidee .....	5
Ziele .....	5
Primärziele.....	5
Sekundärziele .....	5
Nichtziele .....	6
Team und Aufgabenverteilung.....	6
Projektorganisation .....	6
Aufgabenverteilung.....	6
Projektmanagement.....	7
Umfeldanalyse.....	7
Risikoanalyse .....	8
Objektstrukturplan .....	9
Projektstrukturplan .....	10
Meilensteine.....	11
Technik .....	11
Bauteile CanSat.....	11
Kostenrechnung CanSat .....	12
Elektronik.....	13
Platine CanSat 1.....	13
Platine CanSat 2.....	13
Platine Bodenstation .....	13
Arbeits Schritte .....	14
Mechanik CanSat.....	16
Gehäuse.....	16
Fallschirm.....	19
Software .....	20
Firmware.....	20
IR-Kamera-Skript.....	20
Bodenstation .....	21
Öffentlichkeitsarbeit.....	22
Teamname.....	22
Logo und Corporate Identity .....	22
Social-Media-Accounts .....	22
Website.....	23



Zeitungsartikel ..... 23

Ergebnisse Finale ..... 24

Fehleranalyse..... 24

Messergebnisse ..... 25

    Temperaturverlauf ..... 25

    Druck und Höhenverlauf ..... 26

    Luftfeuchtigkeit ..... 27

    CO2 ..... 27

    Spannungsmessung..... 28

    Strommessung..... 29

    Bewegungsdaten ..... 29

    Positionsdaten ..... 30

    Temperatur Infrarotkamera ..... 31

    Bilder Kamera und Infrarotkamera ..... 31

Lessons Learned ..... 33

    Skills ..... 33

    Lessons ..... 33

Abschluss ..... 33

Quellen und externe Hilfe ..... 34

    Sponsoring..... 34



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektorganisation.....	6
Abbildung 2: Umfeldanalyse .....	7
Abbildung 3: Risikoanalyse Tabelle .....	9
Abbildung 4: Risikoanalyse Diagramm .....	9
Abbildung 5: Objektstrukturplan.....	9
Abbildung 6: Projektstrukturplan .....	10
Abbildung 7: Schaltpläne.....	14
Abbildung 8: Platinenlayouts.....	14
Abbildung 9: Platinen .....	15
Abbildung 10: Bestückte Platinen .....	15
Abbildung 11: Renderings CanSat .....	16
Abbildung 12: Spannungssimulation .....	17
Abbildung 13: Rendering Innenleben CanSat.....	17
Abbildung 14: Physischer CanSat .....	18
Abbildung 15: fallender CanSat mit Fallschirm .....	19
Abbildung 16: Bodenstation vorne und hinten .....	21
Abbildung 17: physische Bodenstation .....	21
Abbildung 18: Farbpalette.....	22
Abbildung 19: Social-Media-Accounts.....	22
Abbildung 20: Screenshot Website .....	23
Abbildung 21: Badener Zeitung.....	23
Abbildung 22: Temperaturverlauf .....	25
Abbildung 23: Druckverlauf.....	26
Abbildung 24: Höhenverlauf.....	26
Abbildung 25: Luftfeuchtigkeitsverlauf .....	27
Abbildung 26: CO2-Verlauf.....	27
Abbildung 27: Spannungsverlauf.....	28
Abbildung 28: Batteriespannung.....	28
Abbildung 29: Strommessung .....	29
Abbildung 30: Beschleunigungsverlauf .....	29
Abbildung 31: Gyroverlauf .....	30
Abbildung 32: dreidimensionaler Positionsverlauf in Google Earth .....	30
Abbildung 33: Sateliteninformationen u-center .....	31
Abbildung 34: Temperaturen Infrarotkamera.....	31
Abbildung 35: Bild 1 CanSat .....	32
Abbildung 36: Bild 2 CanSat .....	32
Abbildung 37: Bild 3 CanSat .....	32



## Projektmotivation

In diesem Jahr haben wir in unserer Fachvertiefung die Aufgabe bekommen ein technisches Projekt als Vorbereitung auf die Diplomarbeit im nächsten Jahr durchzuführen. Durch unsere Lehrer sind wir auf den CanSat-Wettbewerb gestoßen. Da wir ein Team aus sehr technik-, wissenschafts- und raumfahrtinteressierten Schülern sind, waren wir sofort begeistert an diesem Wettbewerb teilzunehmen.

## Projektidee

Bei der Ideenfindung für die Sekundärmission stellten wir uns die Frage welche Metriken für Wissenschaftler auf der Erde, aber auch im Weltall, etwa bei der Suche nach habitablen Planeten relevant sind. Wir kamen zu dem Schluss, dass es sich hierbei um Daten handeln soll, die Auswirkungen auf die Lebensbedingungen von Menschen haben. Hierbei entschieden wir uns für die Luftfeuchtigkeit, den CO<sub>2</sub>-Wert und die Bodentemperatur. Außerdem wollen wir zusätzlich zu den wissenschaftlich verwertbaren Daten den Missionsverlauf selbst bestmöglich dokumentieren und darauf achten einzelne Komponenten so auszulegen, dass diese möglichst redundant funktionieren, um einen Ausfall bestmöglich kompensieren zu können.

## Ziele

### Primärziele

Die Primärziele dienen der Erfüllung der vom Wettbewerb definierten Primärmission.

- Messung der Lufttemperatur während des gesamten Fluges
- Messung des Luftdrucks während des gesamten Fluges und Berechnung der Höhe zum Boden in Metern
- Übermitteln dieser Daten zu einer Bodenstation mindestens einmal pro Sekunde
- Unbeschädigtes Landen mittels eines Fallschirms. Dabei soll eine Sinkrate zwischen 8 und 11 m/s eingehalten werden und die Sinkflugdauer 120 Sekunden nicht überschreiten. Außerdem soll die Fallschirmaufhängung einer Kraft von mindestens 50N standhalten.
- Der gesamte CanSat soll einer Beschleunigung von 20g unbeschädigt standhalten.
- Das Gehäuse des CanSats soll zylinderförmig sein und eine Höhe von 115mm, sowie einen Durchmesser von 66mm nicht überschreiten.
- Der gesamte CanSat soll eine Masse von 300g bis 350g besitzen und die Summe der Bestandteile darf 500€ nicht überschreiten.

### Sekundärziele

Die Sekundärziele dienen der Erfüllung der selbstgewählten Sekundärmission.

- Messung der Luftfeuchtigkeit während des gesamten Fluges
- Messung des CO<sub>2</sub>-Wertes während des gesamten Fluges
- Messung der Bodentemperatur mittels einer Infrarot-Kamera
- Implementierung eines GNSS-Moduls zum Ermitteln der Koordinaten, Seehöhe und Uhrzeit
- Messung der Beschleunigung
- Messung der Lage des CanSats mittels Gyroskops und Kompass
- Dokumentation des Sinkfluges mittels einer Kamera
- Wandlung der Batteriespannung zu 5V und 3,3V auf der eigenen Platine
- Messung der Batteriespannung, der gewandelten Spannungen und des Stroms, sowie Umrechnung der Batteriespannung in den Ladestand
- Implementierung eines Displays in der Bodenstation, um wichtige Messdaten in Echtzeit anzeigen zu können



## Nichtziele

Um den Projektumfang abzustecken ist auch die Definition von Nichtzielen von großer Bedeutung.

- Übertragung von Fotos und Videos über Funk
- Messung der Lichtstärke
- Messung der Windstärke
- Zielgenaue Landung

## Team und Aufgabenverteilung

Bei der Zusammenstellung des Teams wurde darauf geachtet, je mindestens ein Teammitglied mit Stärken in einem der Teilbereiche der Mechatronik, also Mechanik, Elektronik und Informatik, aufzunehmen. Dies ermöglicht eine klare Auftrennung der Themenbereiche und ein möglichst effizientes Arbeiten.

Nichtsdestotrotz unterstützen sich alle Teammitglieder themenübergreifend bei auftretenden Fragen und Problemen.

### Projektorganisation

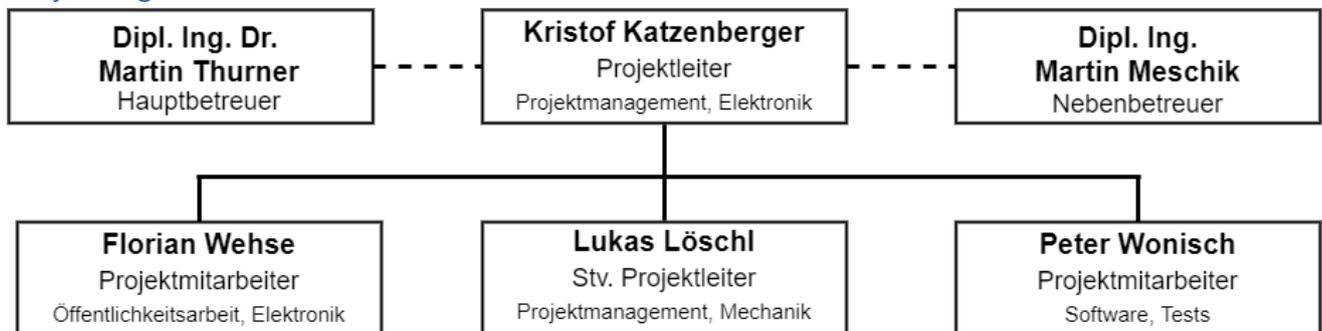


Abbildung 1: Projektorganisation

### Aufgabenverteilung

Mitarbeiter	Themengebiete	Hauptaufgaben
Kristof Katzenberger	Projektmanagement und Elektronik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung</li> <li>• Kostenrechnung</li> <li>• Bauteilbeschaffung</li> <li>• Erstellung der Schaltpläne</li> <li>• Designen des Platinenlayouts</li> </ul>
Lukas Löschl	Projektmanagement und Mechanik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designen der Gehäuse des CanSats und der Bodenstation</li> <li>• Berechnung und designen des Fallschirms</li> <li>• Fertigung von Gehäuse und Fallschirm</li> </ul>
Florian Wehse	Öffentlichkeitsarbeit und Elektronik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellen eines Logos und einer Corporate Identity</li> <li>• Erstellen und führen der Social Media-Accounts</li> <li>• Erstellen und führen der Website</li> </ul>
Peter Wonisch	Softwareentwicklung und Tests	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testen aller Komponenten</li> <li>• Programmieren der Firmware des CanSats</li> <li>• Programmieren der Firmware der Bodenstation</li> </ul>



Projektmanagement  
Umfeldanalyse

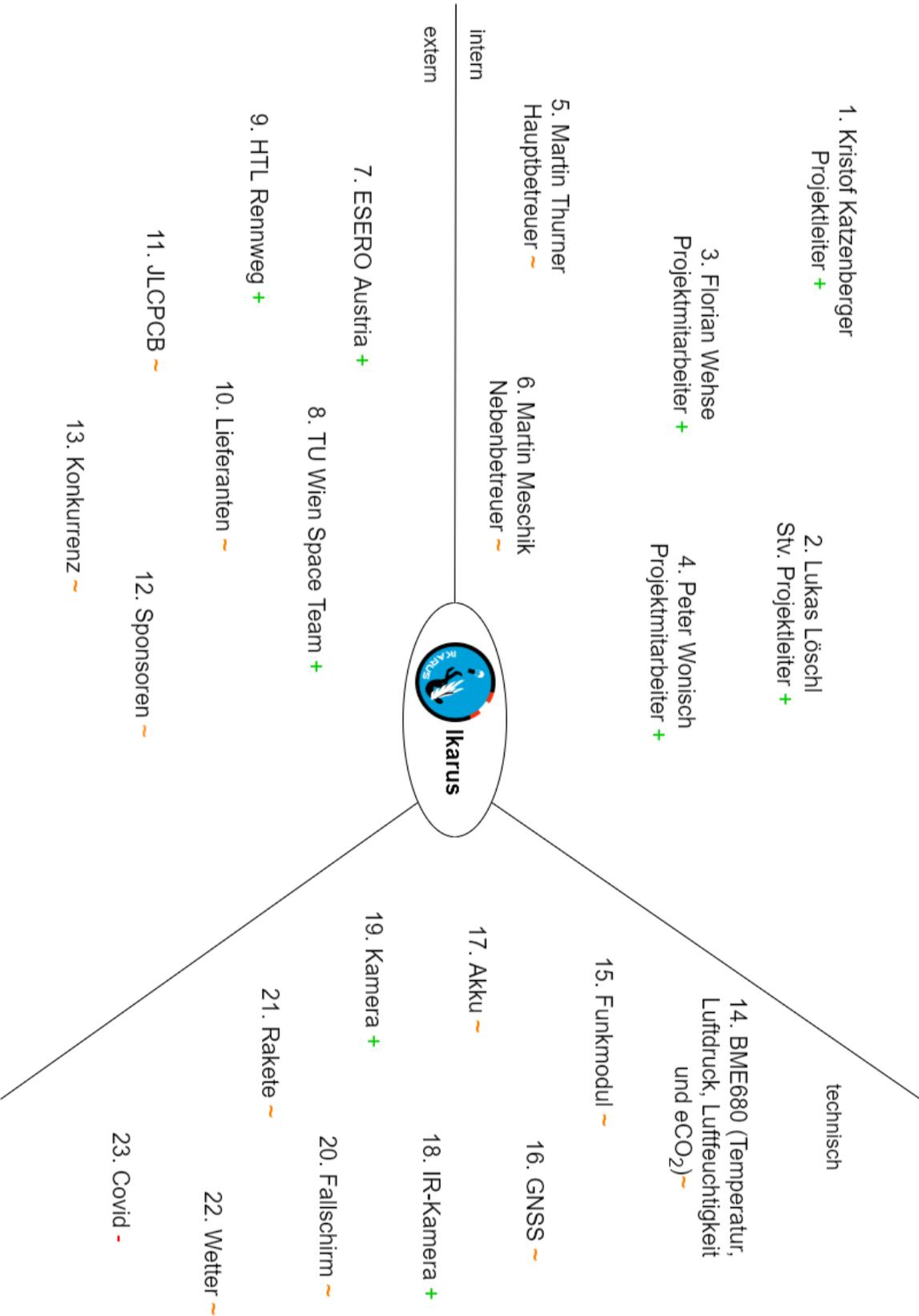


Abbildung 2: Umfeldanalyse



Risikoanalyse

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	EW in %	AW in %	Risikoerwartungswert	Gegenmaßnahmen
23	Covid	kann dafür sorgen, dass der Wettbewerb nur online stattfindet	50	100	5000	bei Tests im vorhinein Daten sammeln
22	Wetter	schlechtes Wetter kann einen Start verhindern	30	100	3000	bei Tests im vorhinein Daten sammeln
16	GNSS-Modul	kann kein Signal bekommen, was das wiederfinden erschwert	30	60	1800	Piezo-Buzzer einbauen um die Suche zu vereinfachen
15	Funkmodul	kann Ausfallen	20	70	1400	über zwei verschiedene Frequenzen senden (2,4GHz und 868MHz); Daten auch lokal im CanSat speichern
10	Lieferanten	können Liefererschwierigkeiten oder zu lange Lieferzeiten haben	30	40	1200	für die Bauteile mindestens zwei Bezugsquellen ermitteln
20	Fallschirm	kann beim Auswurf beschädigt oder abgetrennt werden	10	100	1000	bei Tests im vorhinein Daten sammeln
17	Akku	Connector könnte sich lösen	10	100	1000	zwei separate Akkuzellen parallel einbauen
21	Rakete	kann durch Vibrationen einzelne Komponenten beschädigen	10	90	900	bei Tests im vorhinein Daten sammeln
11	JLPCPB	kann Liefererschwierigkeiten oder zu lange Lieferzeiten haben	10	70	700	Platinen eventuell in der Schule selbst fertigen
14	BME680 (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und eCO2)	kann ausfallen und dadurch sowohl die Primärmission als auch Teile der Sekundärmission nicht erfüllen lassen	10	70	700	Sensor zweimal einbauen
6	Martin Meschik	kann Hilfe leisten, betreut aber auch andere Projekte und hat daher wenig Zeit	70	10	700	Hilfe frühzeitig anfragen
12	Sponsoren	könnten keinen Sponsor finden	30	20	600	anfallende Kosten gleichermaßen auf die vier Teammitglieder aufteilen
5	Martin Thurner	kann Hilfe leisten, betreut aber auch andere Projekte und hat daher wenig Zeit	50	10	500	Hilfe frühzeitig anfragen
13	Konkurrenz	können mit Ihren Funksendern unser Funksignal stören	10	30	300	Alle Daten auch lokal im CanSat speichern; bei Tests im vorhinein Daten sammeln



Abbildung 3: Risikoanalyse Tabelle

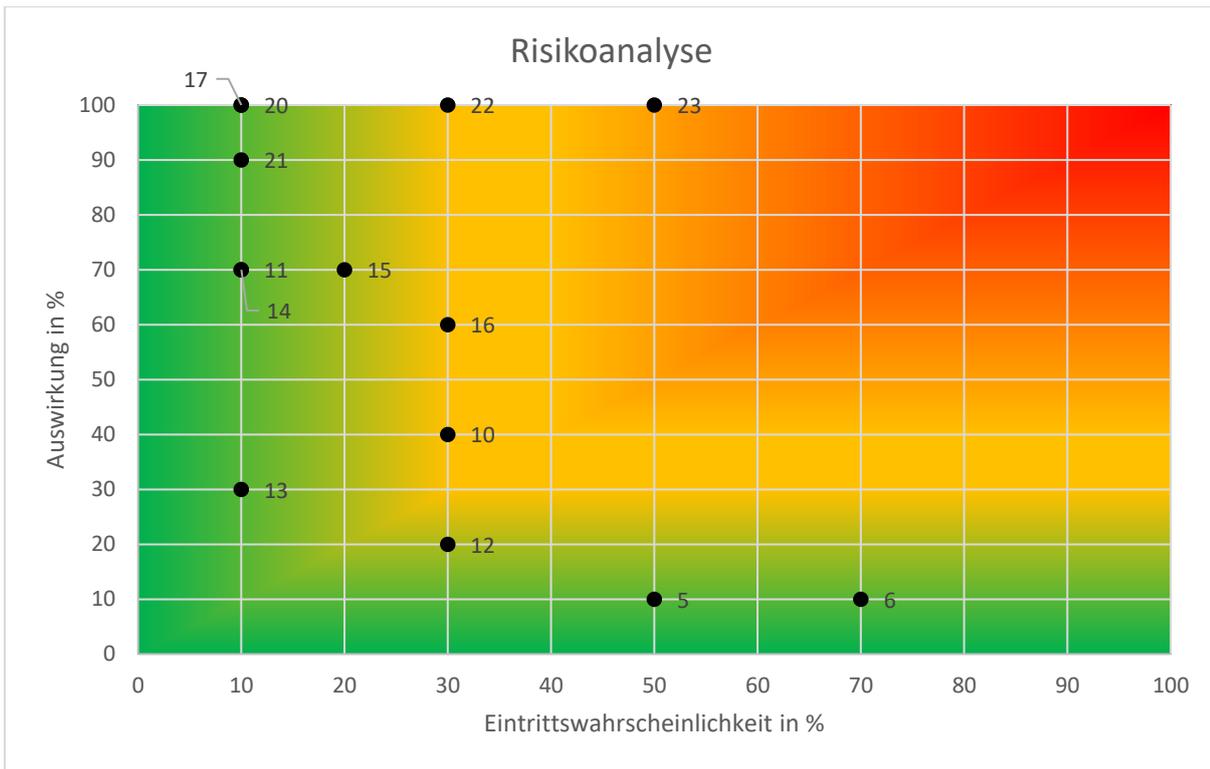


Abbildung 4: Risikoanalyse Diagramm

Objektstrukturplan

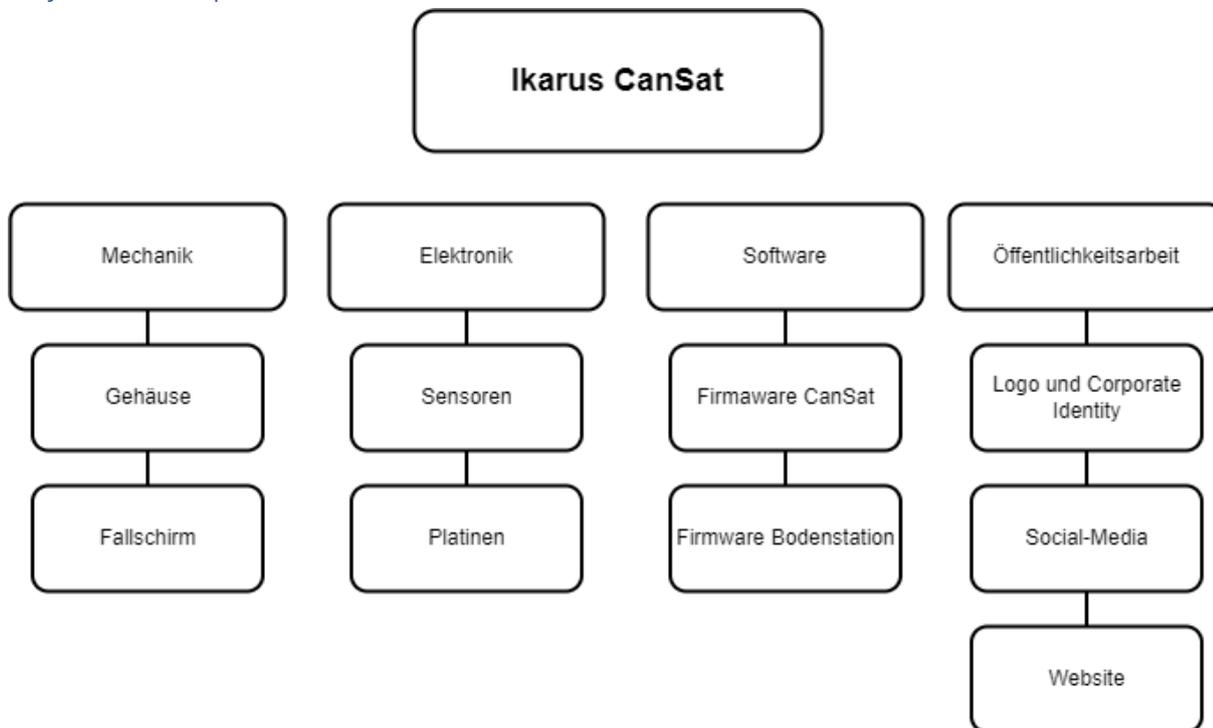


Abbildung 5: Objektstrukturplan



Projektstrukturplan

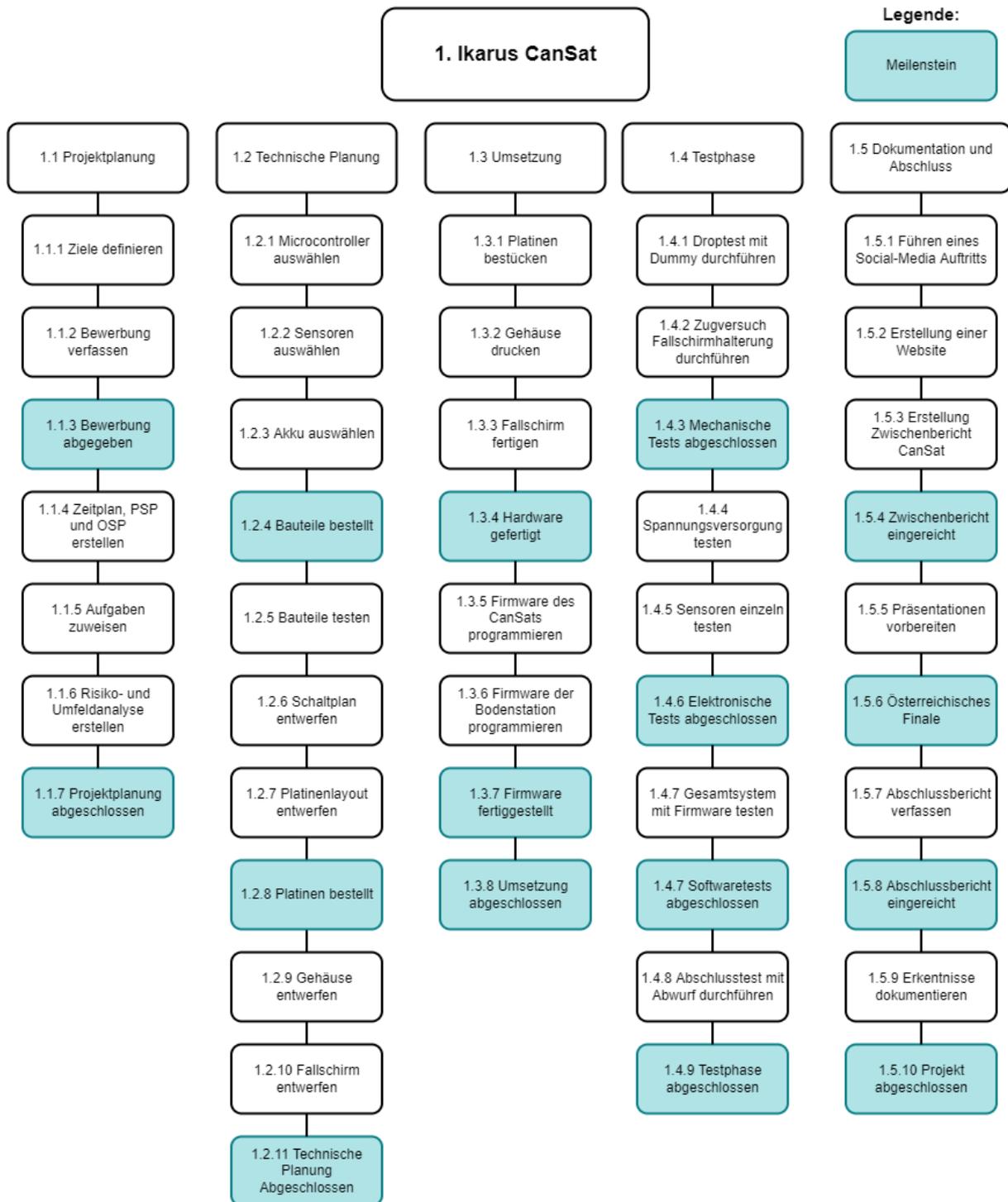


Abbildung 6: Projektstrukturplan



## Meilensteine

Meilenstein	Termin	Abgeschlossen
1.1.3 Bewerbung abgegeben	14.11.2021	Ja
1.1.7 Projektplanung abgeschlossen	12.12.2021	Ja
1.2.4 Bauteile bestellt	19.12.2021	Ja
1.2.8 Platinen bestellt	04.02.2022	Ja
1.2.11 Technische Planung abgeschlossen	11.02.2022	Ja
1.3.4 Hardware gefertigt	20.02.2022	Ja
1.3.7 Firmware fertiggestellt	20.02.2022	Ja
1.3.8 Umsetzung abgeschlossen	20.02.2022	Ja
1.4.3 Mechanische Tests abgeschlossen	06.03.2022	Ja
1.4.6 Elektronische Tests abgeschlossen	06.03.2022	Ja
1.4.7 Softwaretests abgeschlossen	20.03.2022	Ja
1.4.9 Testphase abgeschlossen	27.03.2022	Ja
1.5.4 Zwischenbericht eingereicht	16.01.2022	Ja
1.5.6 Österreichisches Finale	20.04.2022-22.04.2022	Ja
1.5.8 Abschlussbericht eingereicht	29.04.2022	Ja
1.5.10 Projekt abgeschlossen	31.04. oder 02.07.2022	Ja

## Technik

### Bauteile CanSat

- ESP-32-WROOM-32E (16MB) (Microcontroller):
  - Hier wird nicht auf ein Evaluation Board zurückgegriffen, sondern der Chip selbst wird auf eine der selbstentwickelten Platinen gelötet. Der ESP-32 verfügt über eine integrierte 2,4GHz Antenne, über die Daten zur Bodenstation gesendet werden.
- SX1276 (Funk-Sender):
  - Dieses LoRa-Modul sendet über 868MHz und ermöglicht omnidirektionale Kommunikation über weite Distanzen. Somit wird über zwei Frequenzen gleichzeitig gesendet, was für eine bessere Redundanz sorgt.
- BME680 (Temperatur-, Luftdruck-, Luftfeuchtigkeit- und VOC-Sensor):
  - Zur Erfüllung der Primärmission und Teile der Sekundärmission wird der 4-in-1 Kombisensor BME680 verwendet. Für erhöhte Redundanz soll er in zweifacher Ausführung auf zwei Breakout-Boards mit Stiftleisten auf eine der Platinen gelötet werden. VOC (Volatile organic compounds) können außerdem in eCO<sub>2</sub> (estimated CO<sub>2</sub>) umgewandelt werden.
- MH-Z19B (CO<sub>2</sub>-Sensor):
  - Mit diesem Sensor wird zusätzlich zum geschätzten CO<sub>2</sub>-Wert des BME680 auch der tatsächliche Wert gemessen.
- BN-880 (GNSS-Empfänger):
  - Dieses GNSS-Modul unterstützt GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, SBAS und natürlich auch das europäische Galileo. Zusätzlich hat das Modul einen integrierten Kompass.
- MLX90640 (IR-Kamera):
  - Diese Infrarot-Kamera hat eine Auflösung von 32x24 Pixel und hat ein FOV (Field Of View) von 55° x 35°. Der Messbereich liegt zwischen -40°C und 300°C und die Genauigkeit liegt bei +/- 2°C.
- Adafruit 3202 (Kameras):



- Diese Kameras sind in der Lage 1280x720 Pixel Bilder und 640x480 Pixel Videos aufzunehmen. Die Fotos und Videos werden auf eine direkt ins Modul eingeschobene microSD-Karte gespeichert. Sie werden über eine einzige Trigger-Leitung gesteuert und benötigen daher keine Rechenleistung vom ESP-32.
- GY-521 (Gyroskop und Beschleunigungssensor):
  - Dieses Multifunktions-Board beinhaltet sowohl ein Gyroskop als auch einen Beschleunigungssensor.
- microSD-Karten-Modul:
  - Das microSD-Karten-Modul ermöglicht die Kommunikation des ESP-32 mit der Micro-SD-Karte. Darauf sollen alle während des Fluges erhobenen Daten gespeichert werden.
- Batterien:
  - Es werden zwei LiPo-Akkus mit einer Nennspannung von 3,7V verwendet. Die tatsächliche Spannung fällt aber, wenn der Akku entladen wird, von 4,2V bis auf 3V. Die beiden Akkus werden parallel geschaltet. Damit ist auch die Eingangsspannung auf der Platine in diesem Spannungsbereich.
- Power-Management:
  - Auf der Platine sind ein Boost-Converter, der die Batteriespannung auf stabile 5V anhebt und ein Buck-Converter der die Spannung von 5V auf 3,3V senkt. Die 3,3V versorgen den ESP-32 und das 868MHz-Lora-Modul. Die 5V versorgen alle restlichen Sensoren. Die Spannung für die Sensoren kann vom Microcontroller ein- und ausgeschaltet werden. Außerdem können die einzelnen Spannungen und der Strom vom Microcontroller gemessen werden.
- Gehäuse
  - Das Gehäuse ist selbstentwickelt und 3D-gedruckt.
- Fallschirm
  - Der Fallschirm wird mit Kevlar-Schnüren an das Gehäuse befestigt.

### Kostenrechnung CanSat

Anzahl	Name	Kosten/Stück	Kosten
1	ESP-32	€5	€5
1	SX1276	€12	€12
2	BME680	€23	€47
1	MH-Z19B	€37	€37
1	BN-880Q	€25	€25
1	MLX90640	€67	€67
2	Adafruit 3202	€13	€27
1	GY-521	€2	€2
1	microSD-Karten-Modul	€1	€1
3	microSD Karten	€4	€12
2	Batterien	€26	€52
2	Platinen	€3	€6
1	Schrauben und Muttern	€10	€10
1	kleinere elektronische Bauteile	€30	€30
1	Gehäuse	€3	€3
1	Fallschirm	€15	€15
<b>Gesamt</b>			<b>€351</b>



## Elektronik

Die gesamte Elektronik des CanSats ist so ausgelegt, dass sie auf zwei Platinen passt, bzw. mit Kabeln auf diese zwei Platinen angeschlossen wird. Die beiden Platinen werden über Stiftleisten steckbar verbunden. Bei der Aufteilung der Sensoren auf die Platinen wurde darauf geachtet, dass alle Sensoren, die Elemente der Umgebungsluft messen, so platziert sind, dass sie einen Zugang zur Luft haben. Aufgrund des steckbaren Aufbaus, bei dem sich alle essenziellen Komponenten auf derselben Platine befinden, ist es auch leicht möglich den CanSat mit einer anderen Sensorplatine auszustatten und damit nach Anpassung der Firmware für eine andere Mission einzusetzen.

### Platine CanSat 1

Auf der ersten Platine des CanSats befinden sich die Anschlüsse für die Batterien, das gesamte Power-Management, der ESP-32, samt Programmieranschlüssen, das SX1276 LoRa Modul mit Antenne, das microSD-Karten-Modul, die Anschlüsse für die IR-Kamera und die Anschlüsse für beide Kameras. Diese Platine führt zu einer überaus großen Platz- sowie Gewichtsersparnis, da anstelle eigener zugekaufter Boards für Microcontroller, Funkmodul, Boost- und Buck Converter, Strom und Spannungsmessung all diese Komponenten inklusive diskreter Beschaltung mit SMD-Bauteilen aufgebaut sind.

### Platine CanSat 2

Auf der zweiten Platine des CanSats befinden sich beide BME680 Lufttemperatur-, Luftdruck-, Luftfeuchtigkeit- und VOC-Sensoren, der MH-Z19B CO<sub>2</sub>-Sensor, das Gyroskop- und Beschleunigungssensormodul GY-521, der Anschluss für den GNSS-Empfänger BN-880, der Anschluss für den Hauptschalter, der Anschluss für einen Buzzer und eine Status-LED samt Pegelwandler für die Datenleitung.

### Platine Bodenstation

Auf der Platine der Bodenstation befindet sich der Microcontroller inkl. Anschluss für die Richtfunkantenne, das gleiche Power-Management System wie im CanSat, das LoRa-Funkmodul, das microSD-Kartenmodul, sowie Anschlüsse für Batterien, Einschalter, Rotary-Encoder, Beleuchteter Bestätigungstaster und ePaper-Display.

### Arbeitsschritte

Die Entwicklung der Platinen lässt sich in mehrere Arbeitsschritte gliedern. Der erste Schritt besteht aus der Erstellung von Schaltplänen. Für die 2 Platinen des CanSats, sowie die Platine der Bodenstation wurden insgesamt fünf A4-Seiten an Schaltplänen erstellt.

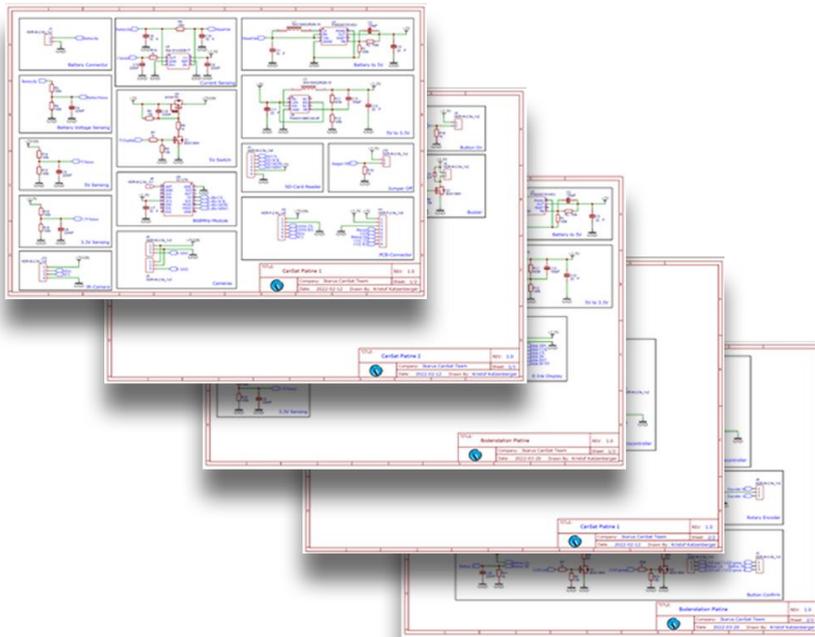


Abbildung 7: Schaltpläne

Der nächste Schritt stellt nach Überprüfung der Schaltpläne die Erstellung der Platinenlayouts dar.

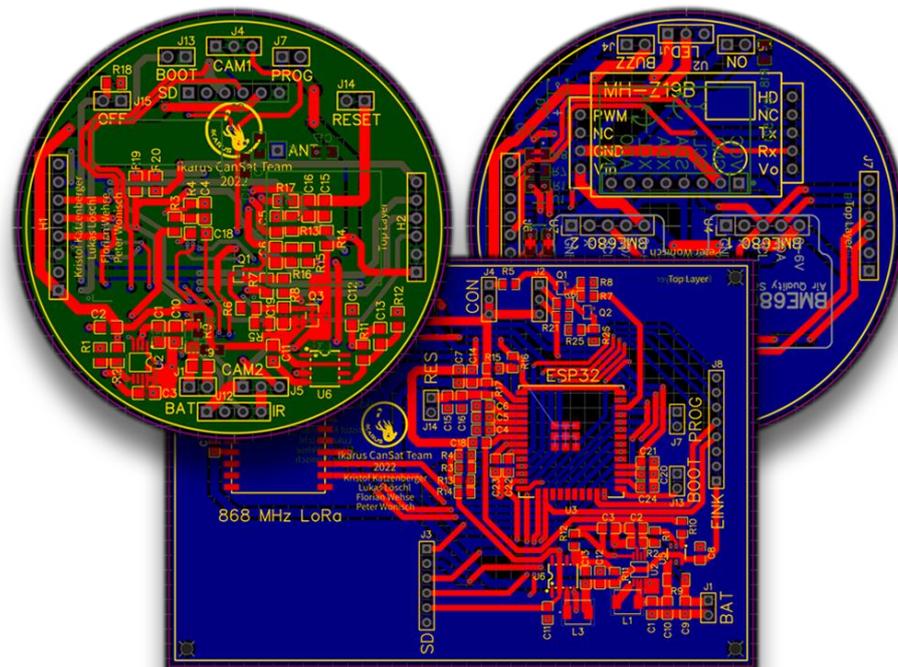


Abbildung 8: Platinenlayouts

Nach sorgfältiger Überprüfung der Layouts konnten als nächstes die Platinen bestellt werden.

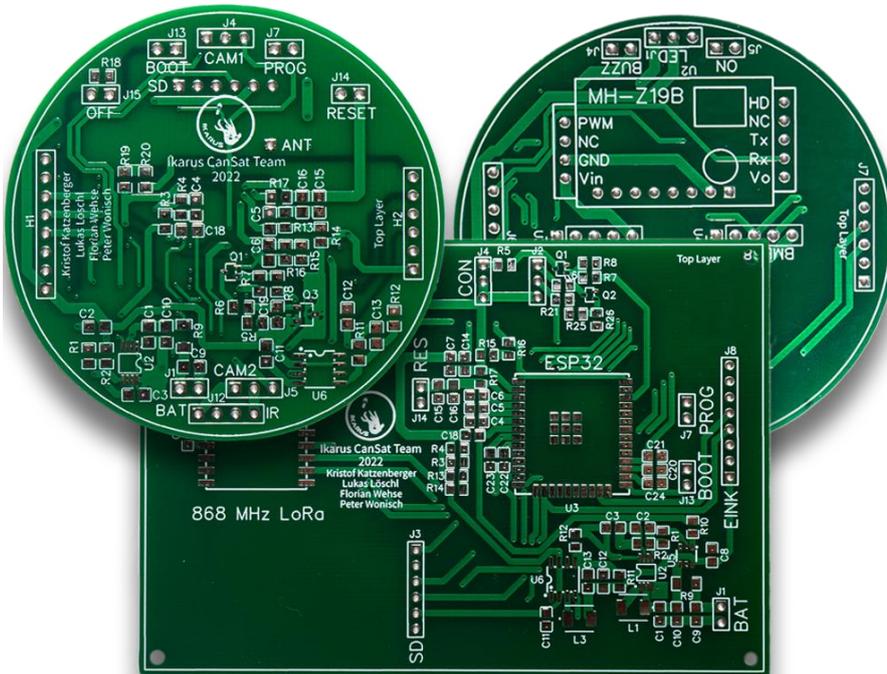


Abbildung 9: Platinen

Der letzte Arbeitsschritt auf den Weg zu den fertigen Platinen ist die Bestückung. Diese wurde händisch mit einem LötKolben durchgeführt.

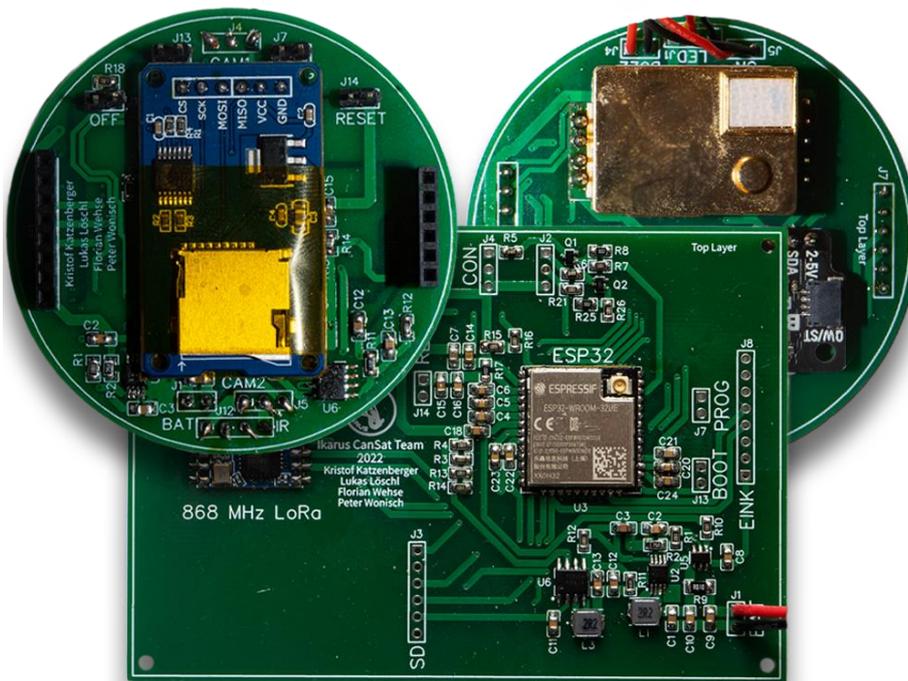


Abbildung 10: Bestückte Platinen

## Mechanik CanSat

Die Mechanik des CanSats beschreibt sämtliche Vorgänge die das Gehäuse, die Bodenstation und den Fallschirm mechanisch und physisch betreffen. Hierbei geht es explizit nur um die Auslegung der mechanischen Bauteile und nicht um die verbaute Elektronik und Software. In das Themengebiet der Mechanik fällt auch die physische Aufteilung der einzelnen Bauteile innerhalb des Gehäuses und der Bodenstation.

### Gehäuse

Das Gehäuse des CanSats ist der aufwendigste Teil der mechanischen Umsetzung, da hier alle Kernkomponenten der Elektronik zusammentreffen. In unserem Fall werden alle elektronischen Bauteile auf Leiterplatten gelötet oder über ein simples Steckprinzip verbaut, sodass der Ein-/Ausbau leicht bewerkstelligt werden kann. Das gesamte Gehäuse wird 3D-gedruckt und besteht aus dem Werkstoff PLA (Englisch: Polyacid; Deutsch Polymilchsäuren). Dieser Kunststoff wird aus Mais gewonnen und ist recycelbar. Aufgrund dessen ist unser CanSat nicht nur modular und austauschbar, sondern kann auch leicht recycelt werden.

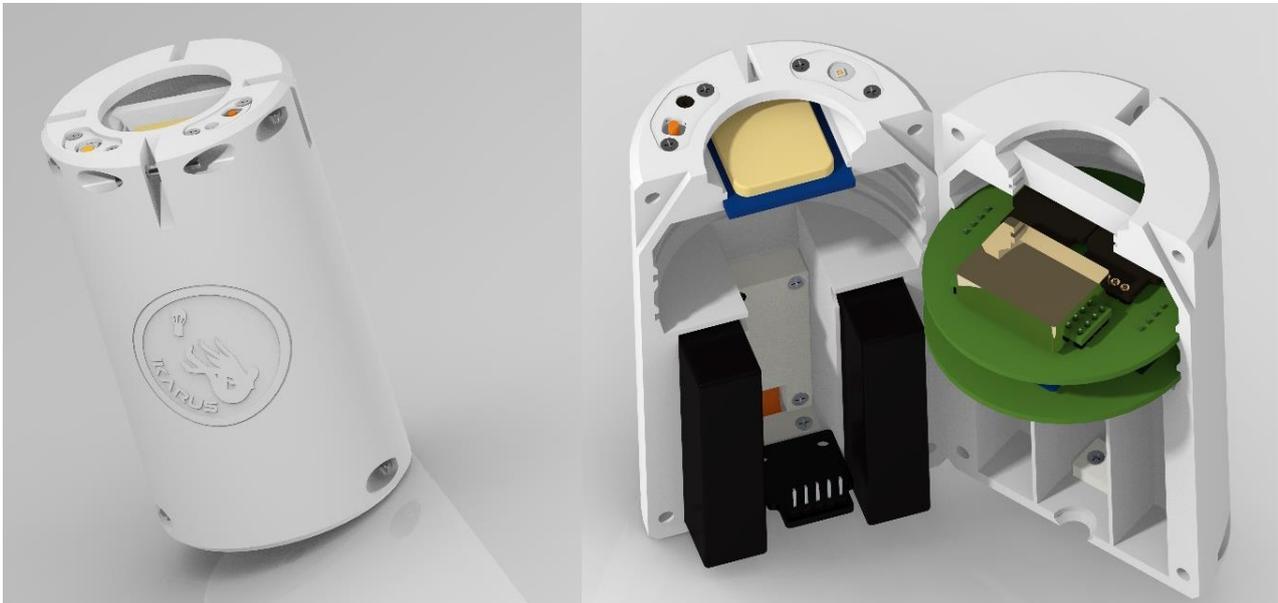


Abbildung 11: Renderings CanSat

Es wurde angestrebt, dass ein möglichst stabiles und gewichteffizientes CanSat-Gehäuse gebaut wird. Deshalb wurde 3D-Simulationssoftware benutzt, um die Belastungen simulieren zu können. Besonders wichtig war es hierbei die Akkus vor einer erhöhten Belastung zu schützen. Die geringe Belastung bei den Akkutaschen ist in der folgenden Abbildung, bei der eine von unten auf den CanSat wirkende Kraft simuliert wird, ersichtlich. (rot höher, blau niedriger)

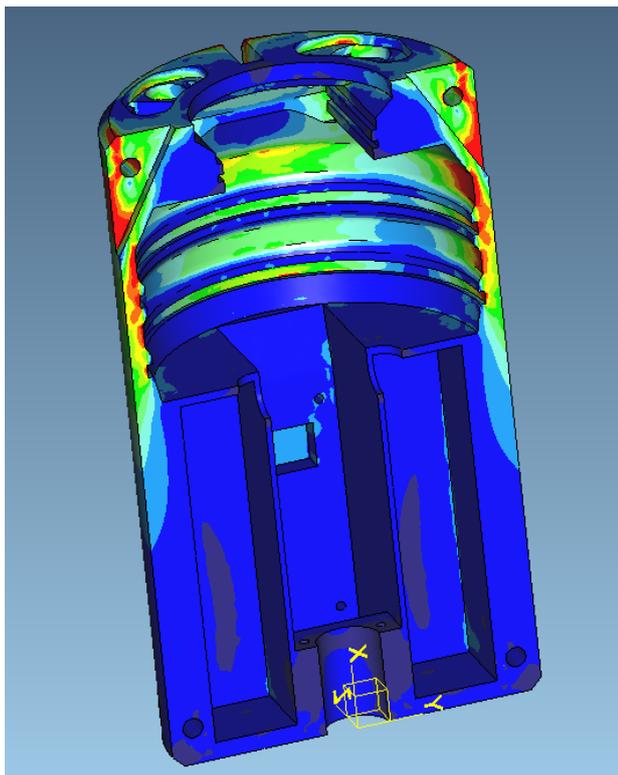


Abbildung 12: Spannungssimulation

Der zweiteilige Aufbau des Gehäuses sorgt für ein simples Design, bei dem dennoch alle Komponenten leicht zugänglich sind und der Belastung eines Aufpralls gut standgehalten werden kann. Zudem ist der Vorteil an einem zweiteiligen Gehäuse, dass Aufgrund der wenigen Schraubverbindungen das Gewicht minimiert wird, sodass die Wand des CanSats zusätzlich verstärkt werden kann.



Abbildung 13: Rendering Innenleben CanSat



Für das Messen der Lufttemperatur, des Luftdrucks, der Luftfeuchtigkeit und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Luft ist auf der oberen Seite des CanSats ein Loch, welches das Einströmen von Luft ermöglicht. Das Luftloch wurde möglichst groß modelliert, um einen guten Luftaustausch gewährleisten zu können.

Um dem CanSat optisch ansprechend zu gestalten, wurde dieser mit unserem Team-Logo versehen und in Rot-Weiß-Rot gefärbt. Hierbei wurde auf einen Modellbau-Airbrush zurückgegriffen, welcher bestens für Kunststoffe, unter anderem PLA geeignet ist.

Für den Einbau der Kameras und der Infrarot-Kamera werden M2 Schrauben benützt. Aufgrund der leicht zugänglichen Schraubverbindungen kann so das gesamte Innenleben des CanSats innerhalb von 10 Minuten zusammen und abgebaut werden. Für die Montage des Fallschirms und das Verbinden der beiden Gehäusehälften werden ca. 5 weitere Minuten benötigt.



Abbildung 14: Physischer CanSat



### Fallschirm

Der Fallschirm wurde für eine Fallgeschwindigkeit von 7 m/s ausgelegt und besteht aus Seide. Dieser wurde aus einem alten Stofffetzen recycelt und anschließend gefärbt. Um für einen stabilen und zugfesten Fallschirm sorgen zu können haben wir diesen mit Kevlarschnüren mit dem CanSat verbunden. Jede einzelne Schnur ist für ein Gesamtgewicht von bis zu 5 Kilogramm ausgelegt, welches die vorgegebene Zugfestigkeit überschreitet und somit für einen reißfesten Fallschirm sorgt.



Abbildung 15: fallender CanSat mit Fallschirm



## Software

Die Software, die im Laufe dieses Projekts erstellt wurde, umfasst die Firmware von CanSat und Bodenstation, sowie ein Programm zur Erstellung von Bildern mittels der Daten der Wärmebildkamera.

## Firmware

Aufgrund des Vorhandenseins einer so großen Vielfalt an Sensoren, war es nicht möglich schlicht ein Programm aus dem Internet zu übernehmen und etwas zu adaptieren. Daher war ein sehr großer Programmieraufwand nötig, der für CanSat und Bodenstation zusammen über 4000 Zeilen eigenen Code umfasst. Eine der größten Schwierigkeiten war es alle verschiedenen Sensoren innerhalb jeder Sekunde abzufragen, abzuspeichern, sowie über zwei Frequenzen an die Bodenstation zu übermitteln. Aufgrund aufwendiger Optimierungen konnte diese Rate sogar auf 2Hz gesteigert werden. Die Sensordaten werden in einer csv-Datei auf der microSD-Karte gespeichert, welche ein direktes Öffnen mittels eines Tabellenkalkulationsprogrammes wie Excel auf einem Computer ermöglicht und daher die Datenauswertung sehr vereinfacht. Zusätzlich zu Koordinaten, Seehöhe, Uhrzeit und Datum, die ebenfalls in der csv-Datei abgespeichert werden, werden die Rohdaten des GNSS-Moduls in einer eigenen Textdatei abgespeichert, was genauere Auswertung in u-center und Google Earth ermöglicht. Der CanSat ist außerdem so programmiert, dass dieser 6 verschiedene Betriebsmodi besitzt, die in beliebiger Reihenfolge von der Bodenstation angesteuert werden können. Falls das Signal allerdings ausfällt, begibt sich der CanSat in einen Automatikmodus, bei dem dennoch alle Daten aufgezeichnet werden. Sobald das Signal wiederhergestellt ist, kann sofort wieder die Kontrolle übernommen werden. Diese 6 Modi sind die folgenden:

- Sleep: CanSat „schläft“, es gibt keine Funkverbindung, die Sensoren werden nicht mit Strom versorgt, CanSat kann mit Taster auf der Oberseite „aufgeweckt“ und damit in den Idle-Zustand versetzt werden
- Idle: Funkverbindung wird aufgebaut, Sensoren werden nicht mit Strom versorgt, CanSat wird von nun an von der Bodenstation gesteuert, nach 30s ohne Signal wechselt CanSat selbstständig in den Sensor-Start-Modus
- Sensor-Start: Funkverbindung aufrecht, Sensoren werden mit Strom versorgt und Daten an Bodenstation übermittelt, nach 30s ohne Signal wechselt CanSat selbstständig in den Mission-Start-Modus
- Mission-Start: Alle Daten werden von nun an auf der microSD-Karte aufgezeichnet, nach 10min ohne Signal wird der Buzzer aktiviert, bei erneuter Verbindung wird dieser automatisch wieder deaktiviert
- Mission-Stop: Aufzeichnung der Daten beendet, Daten werden aber weiterhin ausgelesen und an Bodenstation übermittelt
- Locate: Buzzer wird aktiviert, keine Aufzeichnung der Daten, diese werden aber weiterhin ausgelesen und an die Bodenstation übermittelt

Der aktuell eingestellte Modus kann sowohl von der Bodenstation abgelesen werden, als auch über die Farbe der RGB-LED am CanSat selbst erkannt werden.

## IR-Kamera-Skript

Da die IR-Kamera nur für jeden Pixel einen Temperaturwert, aber keine Bilder ausgibt, wurde ein eigenes Python-Skript erstellt, um die, auf der microSD-Karte gespeicherten Textdatei mit den Temperaturwerten in farbcodierte Wärmebilder umzuwandeln.

## Bodenstation

Die Bodenstation ist die zentrale Einheit, mit welcher der CanSat über eine bidirektionale Funkverbindung gesteuert wird. Auch hier wurde diese gänzlich selbst entwickelt und nicht auf eine zugekaufte Fernbedienung gesetzt. Die Bodenstation ist wie der CanSat aus PLA 3d-gedruckt und ist ebenso mit Schraubverbindungen modular aufgebaut. Sämtliche Teile der Bodenstation sind im Falle eines Defekts austauschbar. Um die gemessenen Daten auch visualisieren zu können, werden die gesendeten Daten auf einem E-Paper-Display angezeigt. Damit die Modi des CanSats ausgewählt werden können, wurde ein Rotary-Encoder verbaut. Der ausgewählte Modus, kann mittels eines beleuchteten Bestätigungstasters bestätigt werden. Auf der Seite befinden sich das Fach für die Akkus, der Ausgang für die Richtfunkantenne und ein Zugang zur microSD-Karte. Außerdem wurden Befestigungen für einen Kameragurt, um die Bodenstation auch ohne Tisch komfortabel bedienen zu können, integriert.



Abbildung 16: Bodenstation vorne und hinten



Abbildung 17: physische Bodenstation



## Öffentlichkeitsarbeit

### Teamname

Am Beginn der Öffentlichkeitsarbeit steht der Auswahl eines geeigneten Teamnamens. Hierbei half der Blick auf Weltraummissionen verschiedener Raumfahrtbehörden. Hier wird sehr häufig auf die griechische und römische Mythologie zurückgegriffen. Beispiele sind die Apollo- und Artemis-Missionen oder die Ariane-Raketen. Die Wahl fiel auf Ikarus, da dieser wie auch der CanSat vom Himmel fällt. Unser Ziel ist es jedoch, dass anders als in der Mythologie, unser Ikarus den Fall überlebt. Wie bei Ariane, wo nicht die englische Schreibweise, sondern die französische verwendet wurde, entschieden wir uns auch die deutsche Schreibweise Ikarus zugunsten von Icarus zu verwenden.

### Logo und Corporate Identity

Der nächste Punkt ist das Erstellen eines Logos. Hier nahmen wir uns Mission Patches der ESA als Vorbild. Es fällt auf, dass sehr viele Patches rund sind und die Landesfarben des betreffenden Landes in den Rahmen integriert sind. Dies ist etwa bei Alpha, Principia und Futura der Fall. Diese Designmerkmale wurden in unser Logo integriert. Die Farbpalette des Logos, sowie die Schriftart bilden auch unsere Corporate Identity, die für ein einheitliches Design auf unserer Website und allen Social-Media-Accounts sorgt.



Abbildung 18: Farbpalette

### Social-Media-Accounts

Um Interessierte am laufenden halten zu können wurden zwei Social-Media-Accounts erstellt. Ein Instagram- und ein Twitter-Account. Beide sind unter @ikaruscansat zu finden.

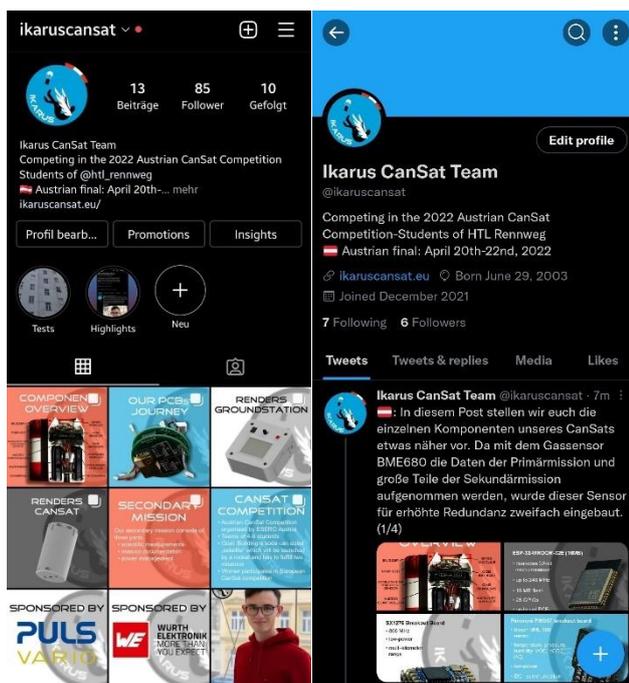
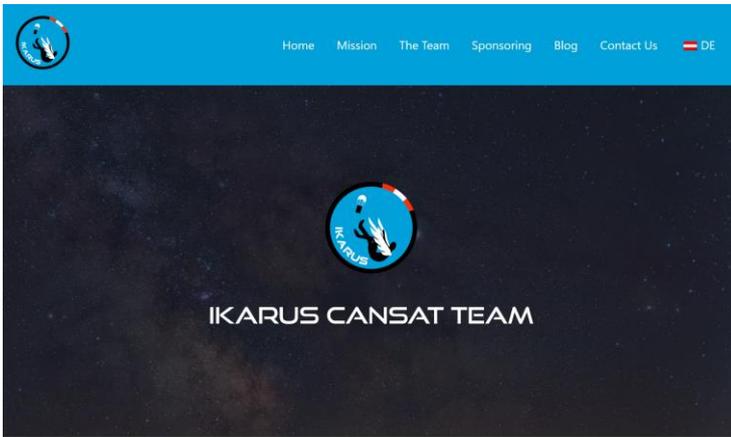


Abbildung 19: Social-Media-Accounts



Website

Für genauere Einblicke wurde eine Website erstellt. Diese ist zweisprachig, auf Deutsch und Englisch, unter [www.ikaruscanSAT.eu](http://www.ikaruscanSAT.eu) erreichbar.



FEATURES

Abbildung 20: Screenshot Website

Zeitungsartikel

Erschienen ist außerdem ein Artikel in der „Badener Zeitung“. Der Artikel wird auf der Titelseite angepriesen und ist bereits auf Seite 2 der Ausgabe vom 21. April 2022 zu finden.



Mini-Satellit ist startbereit  
Nicht viel größer als eine Getränkedose

Da soll noch einer behaupten, dass unsere Jugend nur Flausen im Kopf hat. Vier junge Leute haben binnen kurzer Zeit einen Satelliten konstruiert, der eine ganze Reihe von Messdaten zur Erde sendet, aber selbst auch Befehle empfangen kann. Federführend bei dem Projekt ist ein erst 18-jähriger Badener.

Millionen von Baben auf der ganzen Welt träumen irgendwann davon, als Astronauten ins Weltall zu fliegen. Einer von ihnen war der Badener Florian Wehse. Im Gegensatz zu den meisten anderen ist er aber drauf und dran, seinen Traum Wirklichkeit werden zu lassen. Gemeinsam mit drei Klassenkameraden der HTL Rennweg beteiligt er sich an einem Wettbewerb der ESA, der Europäischen Weltraumorganisation, die so auch Ausschau nach geeigneten Nachwuchs hält. Dabei geht es nicht um eine finanzielle Prämie, sondern ausschließlich um die Ehre und den Ehrgeiz. CANSAT (bezieht sich zusammen aus dem englischen Wort für Dose und Satellit) nennt sich das Projekt, bei dem die Teilnehmer „Satelliten“ mit der Größe und Form einer konventionellen Getränkedose bauen müssen. Das alleine genügt allerdings

Luftdruck oder Temperatur zur Erde senden, sondern umgekehrt auch Befehle von unten erhalten. „Das können die CanSats der anderen vermutlich nicht“, meint der 18-jährige Schüler, der betont, dass sein Satellit dafür konstruiert ist, festzustellen, ob Leben auf anderen Planeten möglich wäre. Dazu ist die „Dose“ selbstverständlich neben der Infrarotkamera auch noch mit zwei „normalen“ Kameras ausgestattet. Außerdem verfügt das Wunderding über GPS und entsprechende Backup-Systeme, falls einmal etwas nicht funktionieren sollte. Das halten Wehse und seine Mitspieler aber ohnehin für fast ausgeschlossen. Um seinem ambitionierten Ziel „Astronaut“ noch näher zu kommen, möchte der Badener im Anschluss an seine HTL-Mechatronik-Ausbildung Elektrotechnik studieren. Dann noch etwas Berufspraxis und schon steht der Bewerbung bei der ESA nichts mehr im Weg. Die Badener Zeitung wird jedenfalls in einigen Jahren sehr gerne vom ersten Flug ins Weltall berichten.



Ready to take off, sind die vier jungen Tüftler, allesamt Schüler der HTL-Rennweg. V.l.: Peter Wonisch, Kristof Katzenberger, Florian Wehse und Lukas Löschl. Foto: z. Vgl.

Abbildung 21: Badener Zeitung



## Ergebnisse Finale

Der Aufbau beim Finale hat schnell und problemlos funktioniert. Die Funkverbindung wurde hergestellt, die Sensoren eingeschaltet und die Daten in Echtzeit an die Bodenstation übertragen. Als der CanSat bereits in der Rakete eingebaut war, ist die Funkverbindung abgerissen und wurde nicht mehr hergestellt. Zuerst wurde angenommen, dass der CanSat sich nach Abriss der Funkverbindung in den Automatik-Modus begeben hat und alle Daten lokal auf dem CanSat abgespeichert wurden. Nach der Landung wurden der CanSat kontrolliert und festgestellt, dass sich dieser ausgeschaltet hatte und daher keine Daten vorhanden waren. Den Flug hat der CanSat ohne Beschädigungen überlebt, weswegen nach dem erneuten Einschalten nach der Bergung Daten vom Rückweg gesammelt werden konnten.

## Fehleranalyse

Noch am selben Tag wurde intensiv versucht das erlebte Verhalten reproduzieren zu können. Das Problem konnte gefunden und auch anschließend mehrere Lösungsansätze überlegt werden. Der Grund für das Ausschalten lag an der Art wie die Steuerung der Bedienmodi des CanSat eingestellt werden. Diese werden nämlich als „Modus-Byte“ über LoRa gesendet. Zum Zeitpunkt des Ausschaltens befand sich der CanSat im Sensor-Start-Modus, der als 2 definiert ist. Der Schlaf-Modus, bei dem alle Komponenten ausgeschaltet werden ist als 6 definiert. Binär betrachtet unterscheiden sich diese zwei Zahlen durch ein einzelnes Bit. (00000010=2 -> 00000110=6) Wenn nun also dieses eine Bit, und nur diese eine Bit aufgrund eines schlechten Signals und Interferenzen falsch empfangen wird, schaltet der CanSat ab. Dieses Verhalten ist in der gesamten Testphase kein einzelnes Mal aufgetreten, da nicht nur eine schlechte Funkverbindung erforderlich ist, sondern auch vom Zufall abhängig ist, welche Bits falsch empfangen werden. Um dieses Verhalten in Zukunft nahezu ausschließen zu können gibt es mehrere Ansätze. Die wohl einfachste und schnellste Lösung wäre, dass ein einmaliges Erhalten dieses Bytes nicht ausreicht, um auszuschalten, sondern dass dieses mehrfach hintereinander erhalten werden muss. Wenn dies damit kombiniert werden würde, dass zusätzlich der Taster am CanSat gedrückt werden müsste, könnte eine Falschinterpretation nahezu ausgeschlossen werden. Die elegantere Lösung wäre die Verwendung einer sogenannten Checksum. Dies ist ein mathematischer Wert, der mit jeder Datenübertragung mitübertragen wird. Mit deren Hilfe kann, je nach dem verwendeten System, ein Fehler entweder erkannt oder sogar erkannt und ausgebessert werden.



## Messergebnisse

Bei den Messergebnissen handelt es sich mit Ausnahme des Drucks und damit einhergehend des Höhenverlaufs um die ermittelten Daten vom Rückweg. Da bei den Höhendaten der zeitliche Verlauf weniger relevant ist, als die Höhenänderung wurde hier auf die Daten eines Testabwurfs von einer Ruine zurückgegriffen.

### Temperaturverlauf

Beim Temperaturverlauf können die 4 verbauten Temperaturen verglichen werden. Man sieht, dass sich die beiden genauen Temperatursensoren der beiden BME680 sehr ähnlich sind, der Temperatursensor des CO<sub>2</sub>-Moduls nur ganzzahlig arbeitet und sich durch das Aufheizen des Sensors ebenfalls miterwärmt. Außerdem sieht man, dass sich die Temperatur zwischen den beiden Platinen, die mit dem Sensor des GY-521-Moduls gemessen wird, da kein Luftaustausch stattfindet, leicht erhöht.

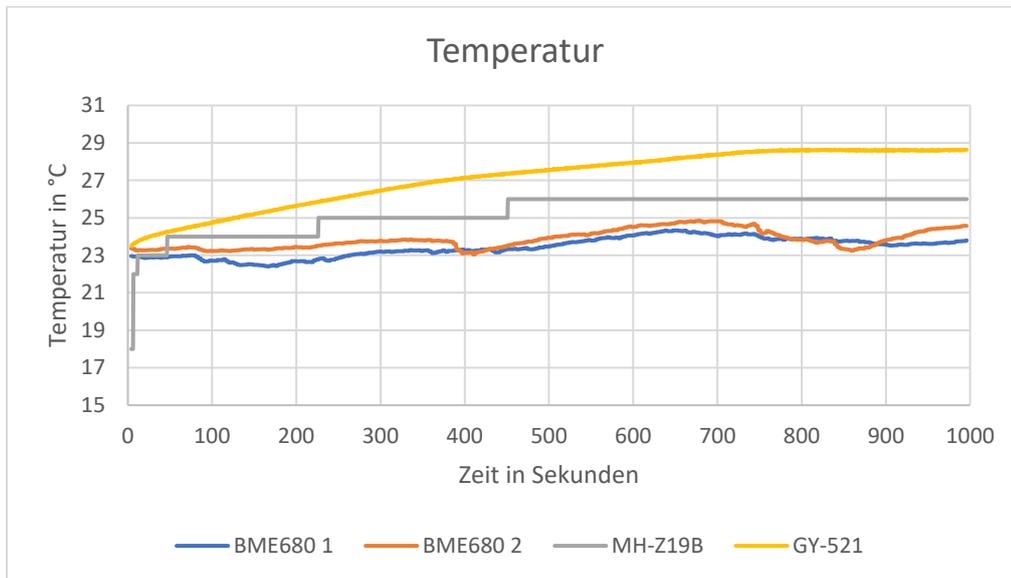


Abbildung 22: Temperaturverlauf



### Druck und Höhenverlauf

Seitdem diese Druckmessung durchgeführt wurde, auf dessen Basis sich die Höhe errechnet wurde die Abtastrate des Sensors erhöht und ermöglicht das von beiden BME680 gleichzeitig gemessen werden. Darum wäre bei einer erneuten Versuchsdurchführung genauere Daten und diese in zweifacher Ausführung vorhanden. Dennoch stimmt die ermittelte Höhe relativ genau mit den erwarteten 32m überein, die die Ruine von der der CanSat abgeworfen wurde, hoch ist.

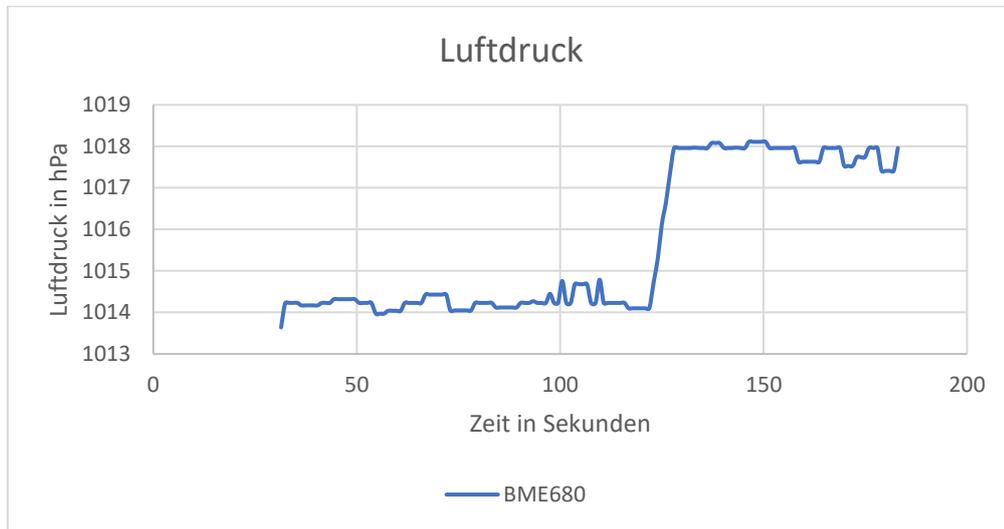


Abbildung 23: Druckverlauf

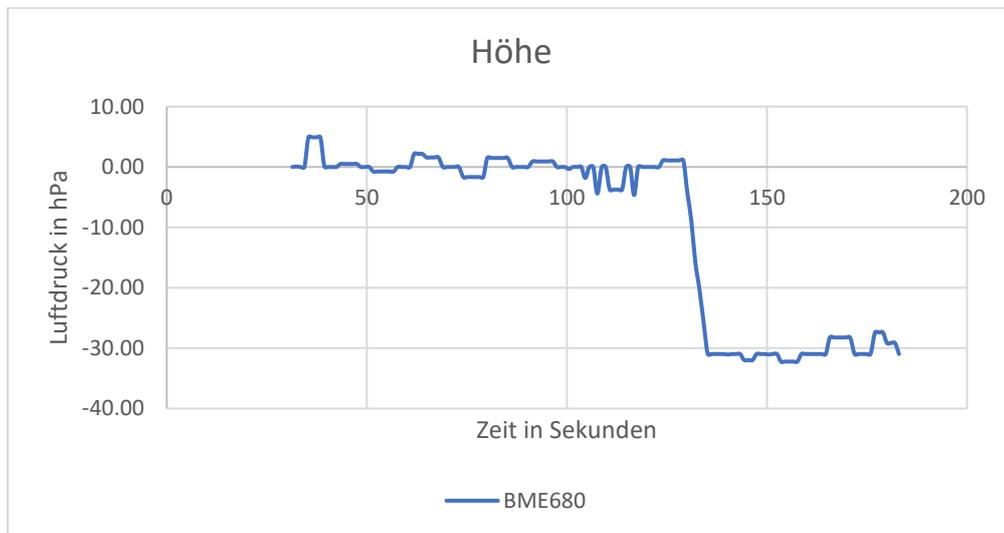


Abbildung 24: Höhenverlauf



### Luftfeuchtigkeit

Bei der Luftfeuchtigkeit sieht man, dass die beiden BME680 einen fast identen Verlauf liefern. Darum ist auszugehen, dass wenn der Offset kalibriert wird, sehr genaue Messwerte mit diesem Sensor erfassbar sind.

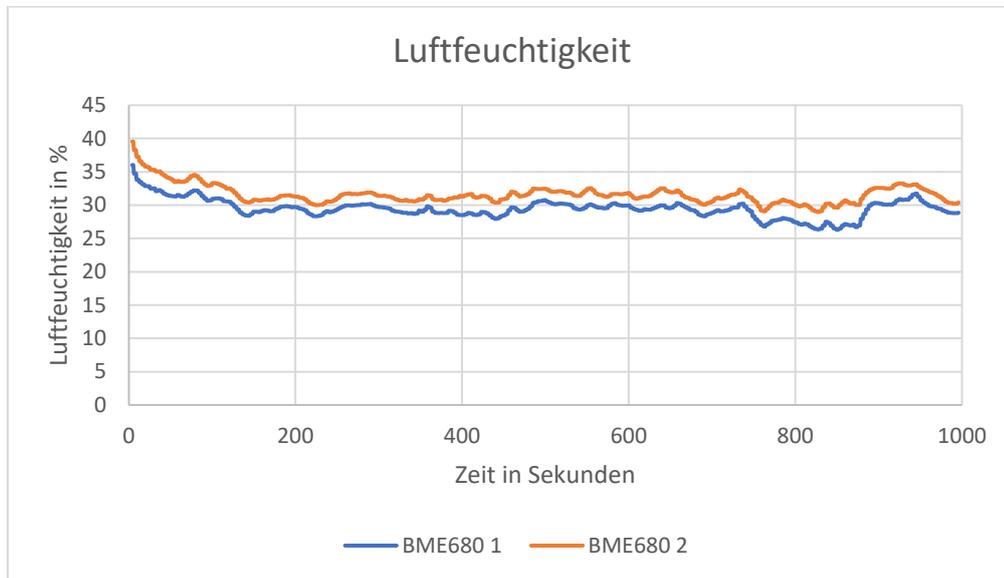


Abbildung 25: Luftfeuchtigkeitsverlauf

### CO2

Bei der Betrachtung des CO2-Verlaufs kann man feststellen, dass die eCO2-Werte der beiden BME680 doch deutlich vom „echten“ CO2-Wert des MH-Z19B abweichen. Es ist daher ersichtlich, dass man sich für genaue Werte nicht auf den eCO2-Wert verlassen sollte. Ebenfalls schön erkennbar ist die Zeit, die der MH-Z19B zum Erhitzen benötigt.

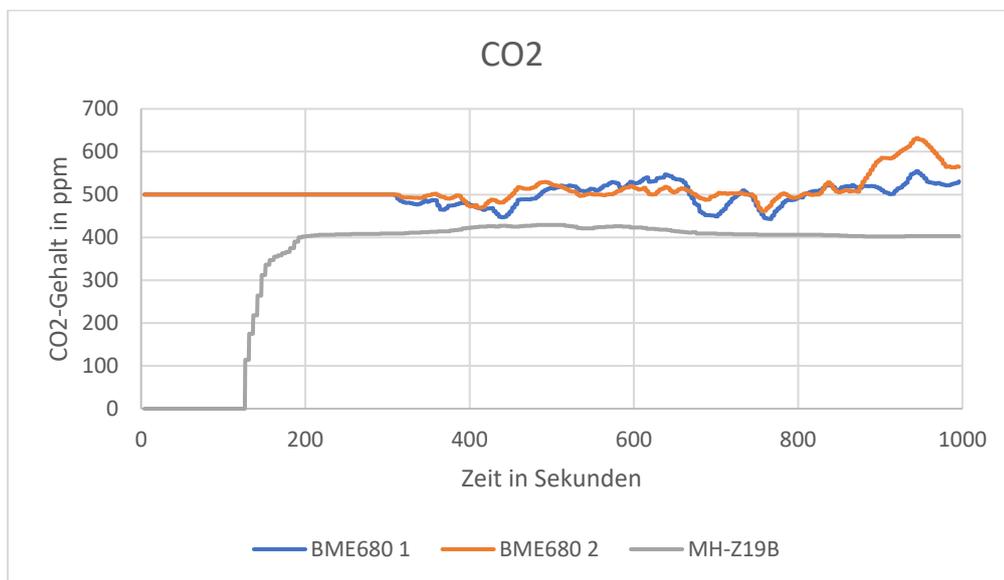


Abbildung 26: CO2-Verlauf



### Spannungsmessung

Bei der Spannungsmessung sieht man, dass sowohl Boost-, als auch Buck-Converter beinahe perfekt arbeiten und stabile 5V und 3,3V liefern. Bei der Betrachtung der Batteriespannung sieht man kaum eine Abnahme der Spannung, was an der sehr hohen Kapazität und der damit verbundenen langen Akkulaufzeit von 10h im Vollbetrieb und 600h im Sleep-Modus liegt.

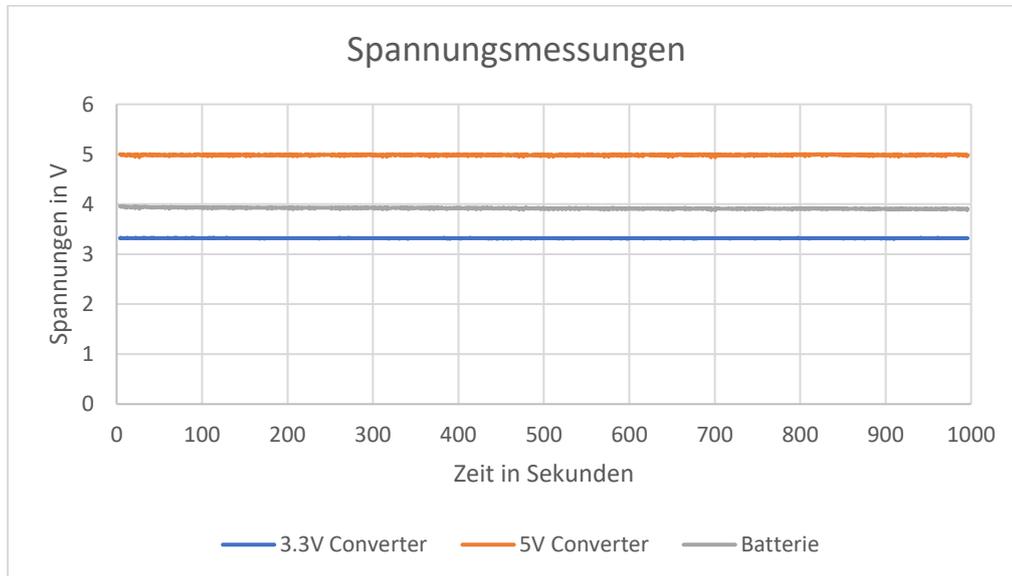


Abbildung 27: Spannungsverlauf

Nur durch starke Vergrößerung und dem Anlegen einer Kennlinie wird eine leichte Spannungsabnahme im 10mV Bereich ersichtlich, mit deren Hilfe auch der Akkustand berechnet wird.

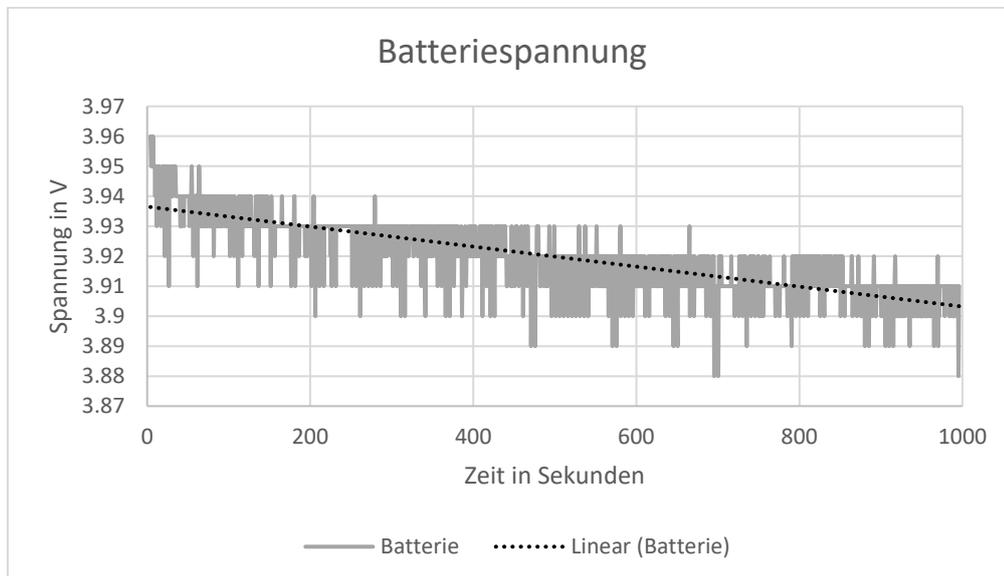


Abbildung 28: Batteriespannung



### Strommessung

Auch die Strommessung bestätigt die Erwartungen. Die Abweichungen entstehen durch die Unterschiede des Stromverbrauchs je nachdem welche Sensoren zur Zeit der Messung gerade aktive sind. Im zeitlichen Mittel verhält sich der Strom aber konstant.

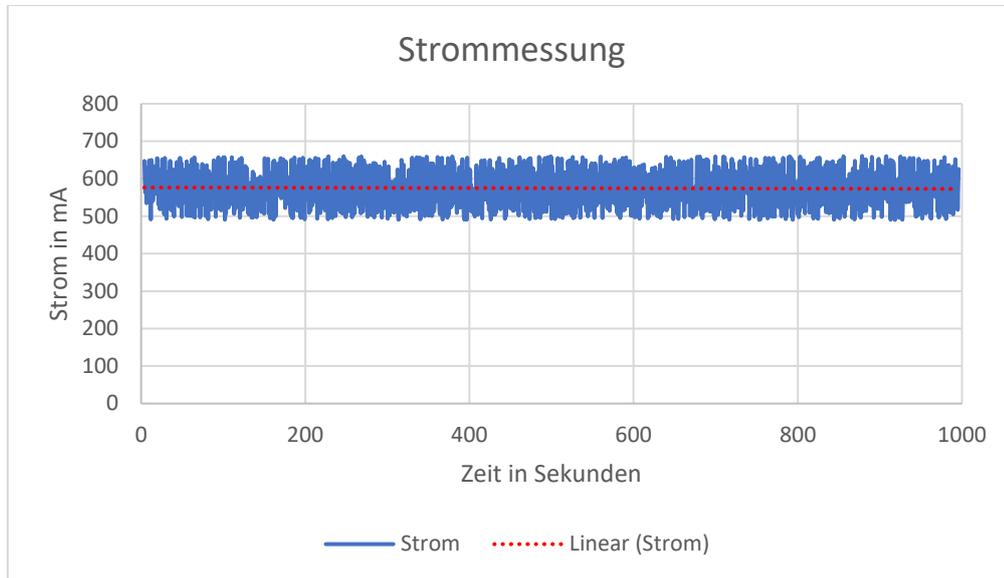


Abbildung 29: Strommessung

### Bewegungsdaten

Die Bewegungsdaten von Beschleunigungssensor und Gyroskop vom Rückweg haben zwar nicht sehr viel Aussagekraft, da der CanSat auch in der Hand ständig bewegt und gedreht wurde. Sie bestätigen allerdings, das die Kommunikation mit dem Sensor einwandfrei funktioniert hat.

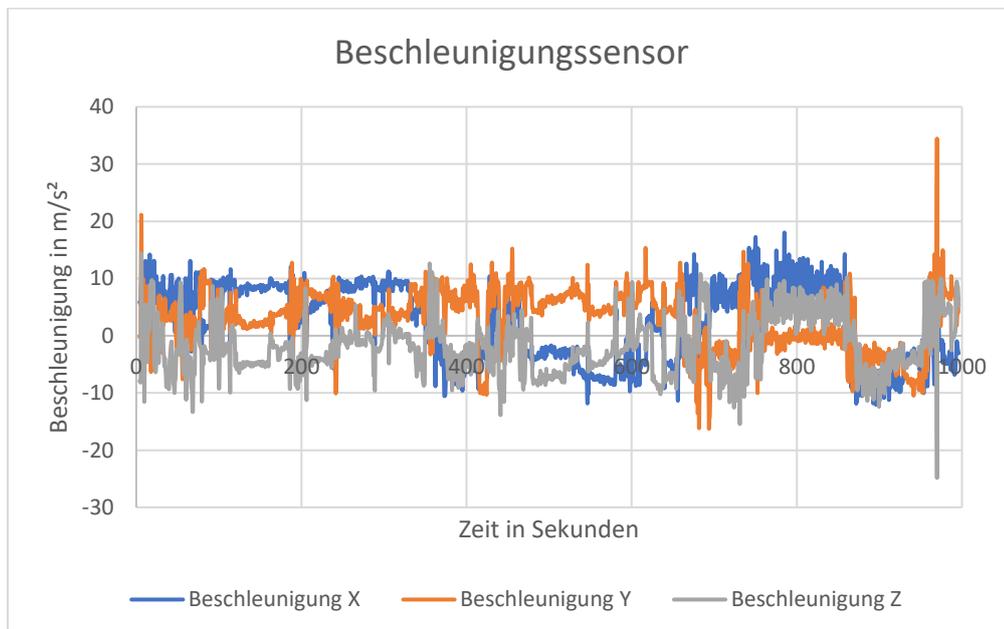


Abbildung 30: Beschleunigungsverlauf

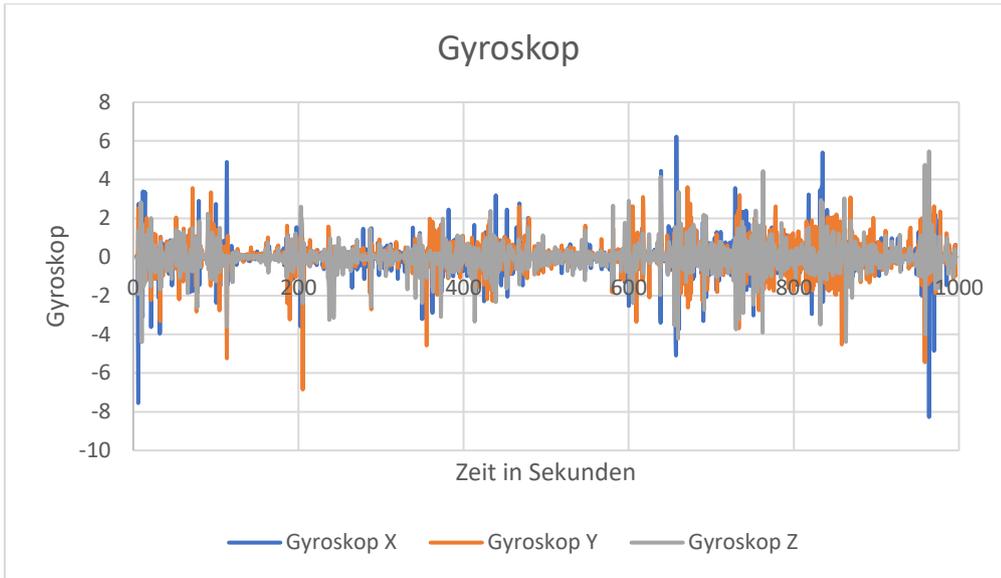


Abbildung 31: Gyroverlauf

### Positionsdaten

Die rohen Daten des GNSS-Moduls konnten mittels u-center in einen dreidimensionalen Verlauf, der sich in Google Earth darstellen lässt, umgewandelt werden. Außerdem konnten mithilfe der Software genaue Informationen zu den verbundenen Satelliten visualisiert werden.

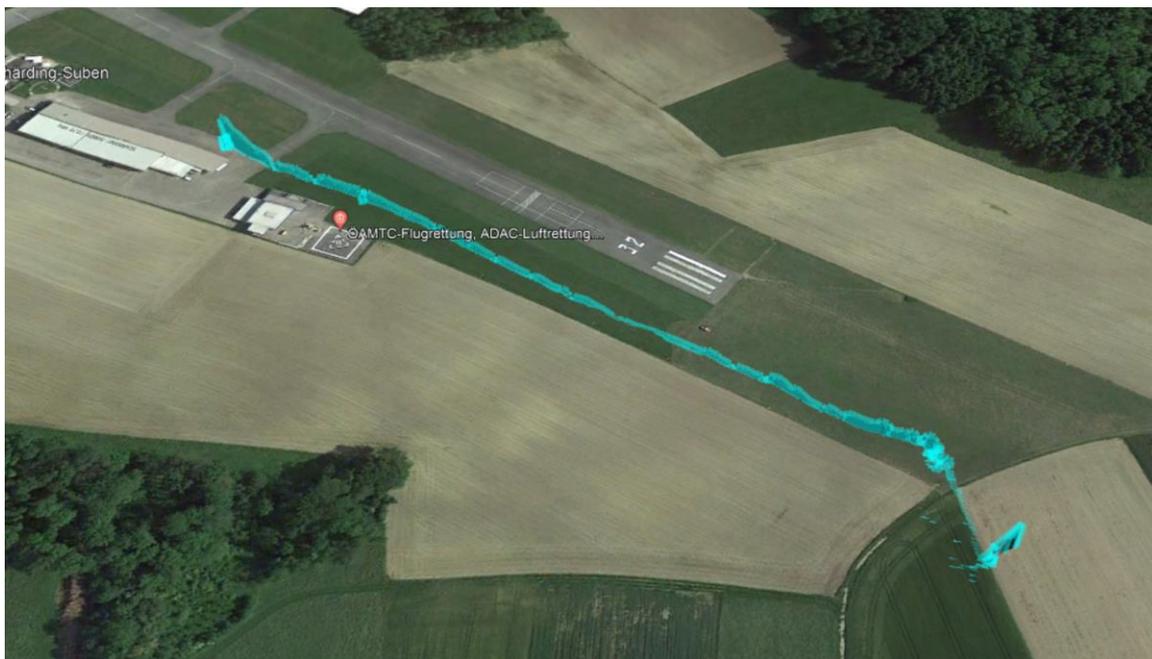


Abbildung 32: dreidimensionaler Positionsverlauf in Google Earth

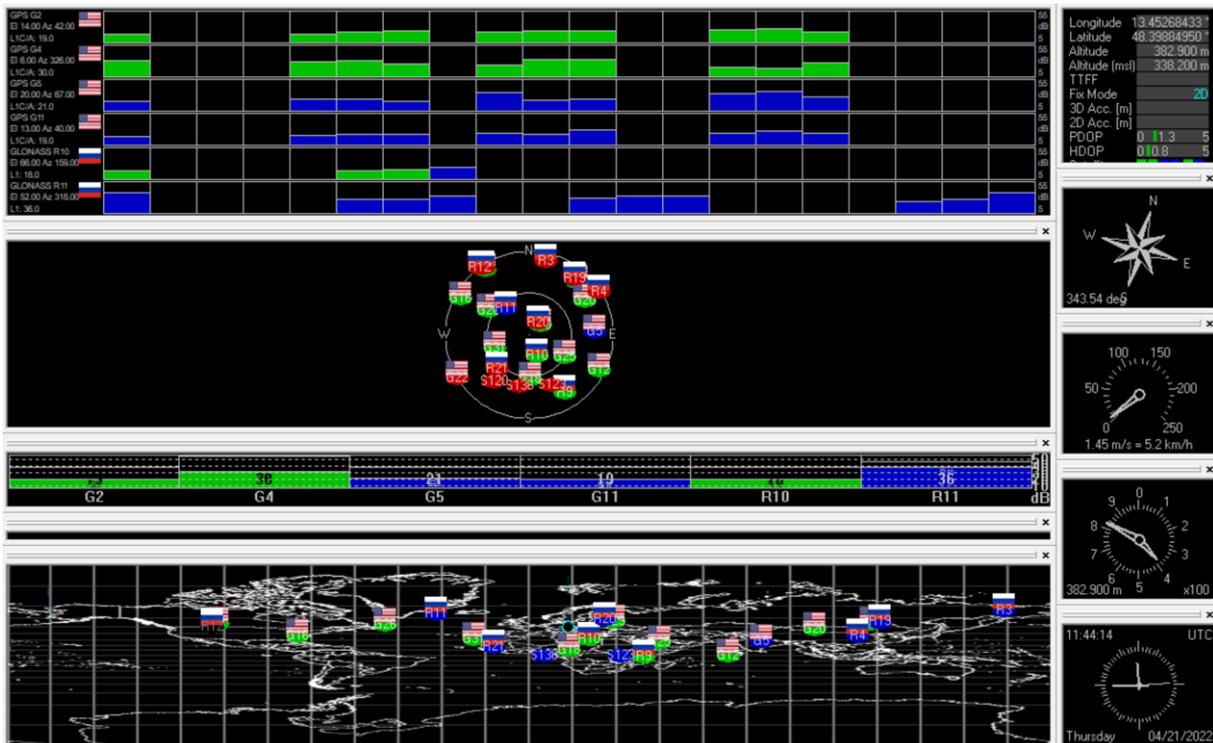


Abbildung 33: Satelliteninformationen u-center

### Temperatur Infrarotkamera

Die Maximal-, Durchschnitts-, und Mindestwerte der Infrarotkamera zeigen aufgrund der ständigen Bewegung und der Ausrichtung auf Boden, Personen, Himmel und Sonstigem sehr viele Wechsel. Allerdings sieht man, dass sie sich, bis auf wenige Ausreißer, im erwartbaren Temperaturbereich befinden.

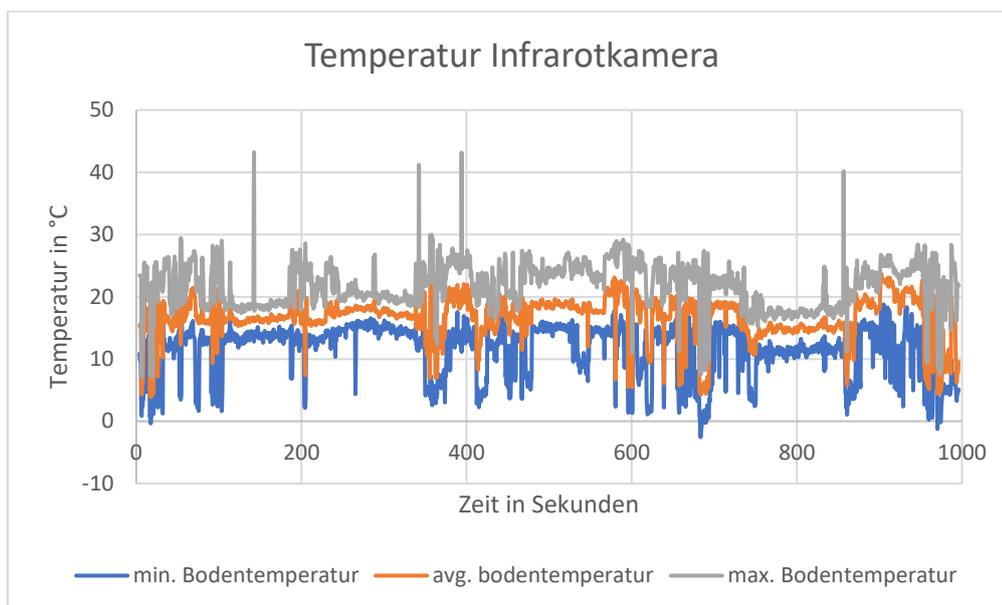


Abbildung 34: Temperaturen Infrarotkamera

### Bilder Kamera und Infrarotkamera

Durch ein Nebeneinanderlegen gleichzeitig aufgenommener Fotos und Wärmebilder des CanSats, ist die Wärmesignatur von Personen und Objekten erkennbar. Außerdem könnte durch das Vorhandensein der



Rohdaten ein Temperaturwert für jeden einzelnen Pixel der IR-Kamera und dadurch auch die Oberflächentemperatur der Menschen und Objekte bestimmt werden.

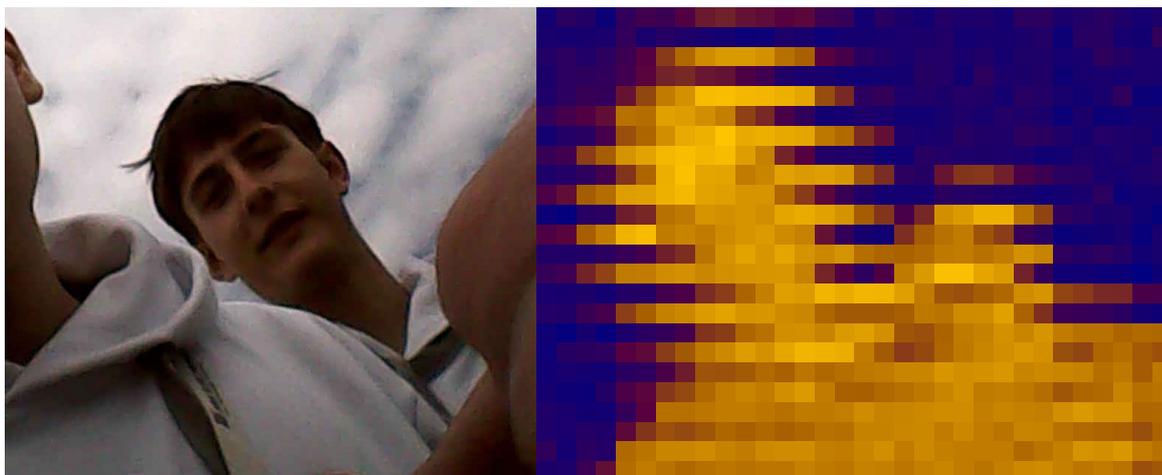


Abbildung 35: Bild 1 CanSat



Abbildung 36: Bild 2 CanSat



Abbildung 37: Bild 3 CanSat



## Lessons Learned

Der Lerneffekt dieses Projektes war extrem groß. Er umfasste sowohl das neue Erlernen einiger technischer „Skills“, aber auch Wissen über einige Probleme, die im Laufe eines technischen Projektes auftreten können und wie diese in Zukunft vermieden, oder zumindest rechtzeitig erkannt und behandelt werden können.

### Skills

- Erstellen elektrischer Schaltpläne
- Erstellen von Platinenlayouts
- Berechnung eines Fallschirms
- Modellierung und 3d-Druck einer Grafik auf einem Gehäuse
- Verwendung eines Airbrush
- Durchführung mechanische Spannungssimulationen
- Verwendung eines Real-Time-Operating-Systems auf einem Microcontroller
- Umgang mit SD-Karten mit einem Microcontroller
- Erhöhung der Bildaktualisierungsrate des ePaper-Displays von standardmäßigen 0,2Hz auf 2Hz
- Datenumwandlung mittels Python-Skripts
- Lernen gesetzlicher Richtlinien bei Funk

### Lessons

- Wichtigkeit von Projektmanagement, um auf Zeitverzug aufmerksam zu werden
- verbesserte Zusammenarbeit, wenn man sich physisch am selben Ort befindet
- Aufpassen bei Strapping-Pins bei Microcontrollern
- Empfangene Funkdaten validieren
- Wichtigkeit von Ausführlichen-Tests unter „Worst-Case“-Bedingungen
- Lötstellen möglichst nicht mechanisch belasten
- Wichtigkeit von geeignetem Werkzeug

## Abschluss

Zusammengefasst sind wir als Team sehr stolz auf das Erreichte. Wir sind froh darüber das Risiko eingegangen zu sein, das Gehäuse, sowie sehr große Teile der Elektronik und der Software selbst zu entwickeln und uns nicht damit zufrieden gegeben zu haben fertige Komponenten zusammenzuführen. Dies war nicht nur essenziell für den überaus großen Lerneffekt dieses Projekts, sondern ermöglichte uns es erst eine vergleichsweise so große Anzahl an Sensoren in einem so kleinen Gehäuse unterzubringen.



## Quellen und externe Hilfe

Alle technischen Überlegungen, Texte und Grafiken wurden von Mitgliedern des Teams erstellt.

Bei den Schaltplänen wurde sich an den vorgeschlagenen Schaltungen der Datenblätter einzelner Komponenten orientiert:

Boost-Schaltregler:

<https://www.digikey.at/de/products/detail/diodes-incorporated/PAM2401SCADJ/4898817>

Buck-Schaltregler:

<https://www.digikey.at/de/products/detail/diodes-incorporated/PAM2310BECADJR/4033248>

Stromsensor:

<https://www.digikey.at/de/products/detail/texas-instruments/INA181A4QDBVRQ1/10448336>

Bei der Firmware wurde auf diverse Libraries zurückgegriffen.

Für die genauere Auswertung der GNSS-Daten wurden die Programme u-center und Google Earth verwendet.

## Sponsoring

Wir bedanken uns herzlich für die großzügige Unterstützung von Würth Elektronik und Puls Vario.



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

**PULS**  
VARIO