



Seminararbeit

Thema:

Zusätzlich Kurztitel (Nur falls das Thema mehr als 3 Zeilen zu je 44 Zeichen lang ist):

Verfasser/in:

Leitfach:

Seminarkürzel:

Lehrkraft:

Abgabe der schriftlichen Arbeit am:

[Datumsstempel Sekretariat]

Präsentation mit Prüfungsgespräch am:

_____. 20____

Bewertung	Note	in Worten	Punkte		Punkte
schriftliche Arbeit				x 3	
Abschlusspräsentation				x 1	
Summe					
Gesamtleistung nach § 29 (7) GSO = Summe : 2 (gerundet)					

Unterschrift der Lehrkraft

Weiterentwicklung eines Stratosphärenprojektes

Leitfach: Physik



Abb.1: Ballonstart

Kurzfassung

Das Ziel unseres Projektes war es ein zentrales Problem von Stratosphärenprojekten zu lösen. Es galt den Ballon von der Nutzlast geplant zu trennen, um auf den Zeitpunkt des Herabfallens der Nutzlast Einfluss nehmen zu können.

Dies erreichten wir mithilfe einer selbst entwickelten Apparatur. Eine Schleppkupplung trennt den Ballon von der Nutzlast und dem Fallschirm.

Die Aktivierung der Schleppkupplung erfolgt über ein gesendetes Funksignal, welches aus DTMF-Tönen besteht.

Bei einem realen Testversuch gelang uns das geplante Abwerfen. Wir konnten somit den Landeort beeinflussen und ungünstige Bergungsverhältnisse vermeiden.

Die gesamte Technik blieb unversehrt und steht für weitere Projekte zur Verfügung.

Inhaltsverzeichnis

1. Überlegungen zum Ablauf des Stratosphärenprojekts und erste Ideen	1
1.1 Gespräch mit Rolf Dieter Klein und Klaus Puppe	1
1.2 Skizzen und Überlegungen der Ideen	2
1.3 Ausarbeitung dieser Idee	4
1.4 Vorstellung bei Jugend forscht 2019	6
2. Technische Weiterentwicklung	6
2.1 Ausarbeitung der Idee mit Servomotor	6
2.2 Treffen mit Rolf Dieter Klein und Klaus Puppe	7
2.3 Hardware	7
2.4 Software	15
3. Organisation des Ballonstartes	17
3.1 Genehmigung der Luftfahrtbehörde	17
3.2 Luftfahrthalterhaftpflichtversicherung	18
3.3 Besorgungen und Materialien	18
4. Testversuche und Weiterentwicklung	20
4.1 Tests in der Kältekammer der Firma Kathrein	20
4.2 Neukonstruktion des DTMF-Decoders	20
5. Ballonstart	24
6. Fazit und Ausblick	30
7. Quellenverzeichnis und Danksagung	31
7.1 Internetquellen	31
7.2 Abbildungen	32
7.3 Danksagung	33

1. Überlegungen zum Ablauf des Stratosphärenprojekts und erste Ideen

1.1 Gespräch mit Rolf Dieter Klein und Klaus Puppe

Die Themenfindung zu unserem Projekt ergab sich zufällig, als Herr Dr. Grillenbeck uns fragte, ob wir an einem Stratosphärenprojekt interessiert wären. In einem Vorgängerprojekt haben Schüler des Ignaz-Günther-Gymnasiums einen Heliumballon mit mehreren Handys und einer Kamera als Nutzlast in die Stratosphäre geschickt und mit den Handys die Radioaktivität in den verschiedenen Höhenlagen der Atmosphäre per App gemessen.

Herr Dr. Grillenbeck stellte uns den Kontakt zu Diplom Ingenieur Rolf Dieter Klein her, mit welchem wir unter anderem im Rahmen der Verleihung des Preises „Forscherschule des Jahres“ am Ignaz-Günther-Gymnasium, über unser Projekt sprachen.

Herr Klein hat die Radioaktivitäts-App erfunden und entwickelt und unterstützte somit auch das letztjährige Stratosphärenprojekt.

An demselben Tag lernten wir auch Klaus Puppe vom deutschen Amateur-Radio-Club e.V. kennen. Nach einem längeren Gespräch mit ihm, haben wir die Idee des Stratosphärenprojekts weiterentwickelt. Wir beschlossen, nicht wie letztes Jahr die Radioaktivität zu messen und die Ergebnisse noch zu verbessern, sondern einen Mechanismus zu bauen, der dafür sorgt, dass die Nutzlast -vom Boden ausgelöst- geplant herabfällt.

Hiermit gingen wir ein grundsätzliches Problem eines jeden derartigen Stratosphärenprojektes an. Wenn der Ballon einmal vom Boden losgelassen worden ist, hat man keine Kontrolle über den Platzzeitpunkt des Ballons, also den Zeitpunkt, zu dem die Nutzlast wieder zu Boden fällt. Dies kann ungünstige Auswirkungen haben, wenn trotz vorheriger Berechnung der Flugroute und des Landeortes die Winde drehen sollten, und der Ballon inklusive wertvoller Nutzlast an Orten (z.B. den Alpen) landet, die schwer bzw. unmöglich zu erreichen sind.

1.2 Skizzen und Überlegungen der Ideen

Die erste Überlegung, die Nutzlast gezielt zum Fallen zu bringen, war den Ballon selbst platzen zu lassen. Eine Idee stellen wir exemplarisch vor.

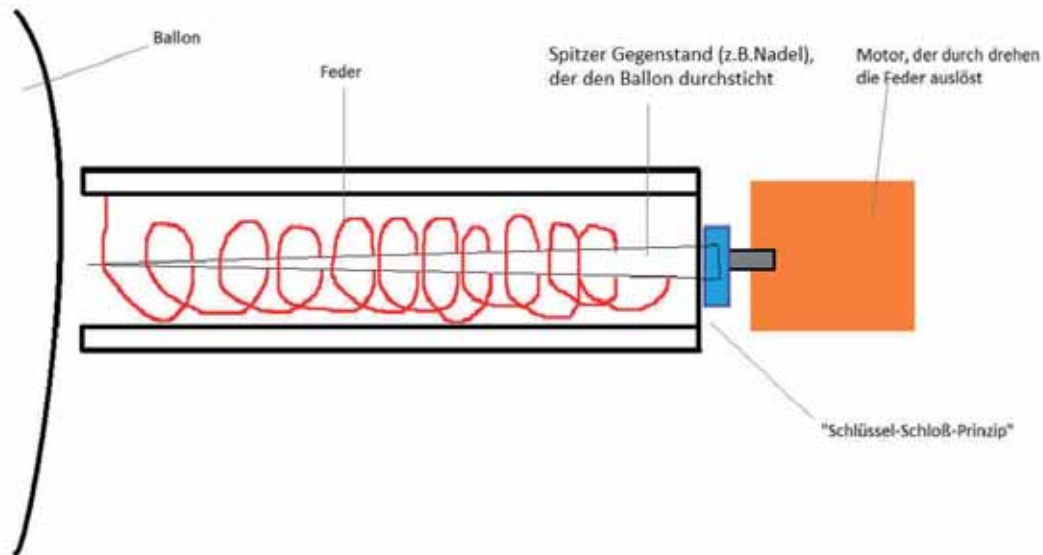


Abb.2: Federmechanismus

Idealablauf des Mechanismus:

- Durch das Schließen des Stromkreises (per Funk) dreht sich der am Motor angebrachte „Schlüssel“ (eine Form, die durch eine bestimmte Passform oder Schablone passt)
- Durch die Drehbewegung kann der „Schlüssel“ durch die Passform durchrutschen
- An dem „Schlüssel“ ist eine lange Nadel befestigt, die mit einer Feder gespannt wird
- Beim Durchrutschen des „Schlüssels“ kann die Feder die Nadel in Richtung der Ballonwand beschleunigen
- Die beschleunigte Nadel soll die Ballonwand durchstechen und somit den Ballon zum Platzen bringen

Schließlich sind wir jedoch zu dem Ergebnis gekommen, dass es wohl schwer werden würde, eine Nadel oder dergleichen am Ballon anzubringen. Eine Apparatur, die mit einem scharfen oder spitzen Gegenstand die Ballonwand zum gewollten Zeitpunkt durchdringen und den Ballon somit zum Platzen bringen soll, muss direkt am Ballon angebracht werden, um das „Platzen“ garantieren zu können.

Das Anbringen der Apparatur mit direktem Kontakt zum Ballon erweist sich deshalb aber als schwierig, da die runde Kugelform des Ballons ausgeglichen werden muss. Zudem dehnt er sich durch die Flexibilität und Dehnbarkeit des Kautschuk-/Latexgemisch mit zunehmender Höhe und dadurch abnehmendem Druck aus, wodurch das Gelingen des „Platzens“ nicht garantiert werden kann. Dies liegt daran, dass eine mögliche Befestigung die Ausdehnung wohl nicht ausgleichen könnte und somit entweder herunterfällt oder die Ballonmembran sich in die Apparatur „hineindehnt“ und somit zu früh bzw. ungewollt platzt.

Nach dieser Erkenntnis haben wir uns Gedanken zu anderen Möglichkeiten des Ablösens der Nutzlast gemacht. Wir haben unter anderem versucht, das Verbindungsseil zu durchtrennen. Zum Test brachten wir an einen Elektromotor ein Rasiermesser an und versuchten so das Ballonspezialseil (Reißfestigkeit unter 230 N, erfüllt somit die offiziellen Vorschriften der Deutschen Flugsicherung und des Luftfahrt-Bundesamtes) zu durchtrennen.

Nach dem Austesten verschiedener Motoren und Anbringungsmöglichkeiten der Messer sind wir letztendlich von dieser Idee abgekommen. Die Rasiermesser haben das Seil, trotz der hohen Beschleunigung durch den Motor, nicht zerschneiden können. Entweder ist die Klinge am Spezialseil abgerutscht oder vom Motor weggebrochen.

Deshalb sind wir zu anderen Mechanismen übergegangen, bei denen die Spezialseil schon im Voraus getrennt ist und dadurch nicht mehr die Gefahr besteht, dass die Klinge abrutscht oder nicht genug Kraft aufbringt, um die Schnur zu durchtrennen.

1.3 Ausarbeitung dieser Idee

Nach dieser Idee entwickelten wir ein Modell, das wir auch bei Jugend forscht 2019 vorgestellt haben. Zu Beginn bauten wir das Modell aus Karton, um uns schnell und einfach einen Überblick zu verschaffen.



Abb.3: Papp-Modelle

Weil die Versuche mit den Modellen aus Karton erfolgreich waren, haben wir noch ein größeres und umfangreicheres Modell aus Metall geplant, konstruiert und realisiert. Dieses Modell funktioniert auch mit Hilfe des Schlüssel-Schloss-Prinzips.

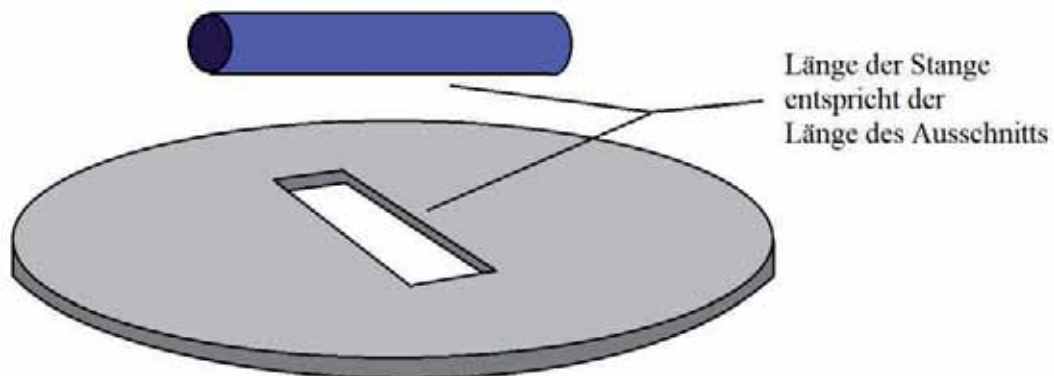


Abb.4: „Schlüsselschloss“-Prinzip

Wenn der Motor, nachdem der Stromkreis vom Funksignal geschlossen wird, den Schlüssel (in Abb.3 und 4 blau dargestellt) dreht, kann der Schlüssel nach knapp einer halben Umdrehung durch das Schloss rutschen. Den Motor haben wir auf der Unterseite der Platte befestigt und mit dem Schlüssel zusammenschweißt. Der Ballon wird an der Platte angebracht. Beim Durchrutschen des Schlüssels durch die Platte teilt sich die ganze Konstruktion in zwei Hälften. Die eine Hälfte besteht aus der Nutzlast, dem Fallschirm und dem Motor (mit Schlüssel und Funk-Signal-Empfänger) und fällt zum Boden. Die zweite Hälfte besteht aus dem Ballon und der Platte (Schloss), welcher weiterhin steigen wird und nicht mehr gebraucht werden wird. Damit jedoch der Wind, der in der Höhe auftritt, nicht die Vorrichtung verrutschen lässt, haben wir eine weitere Verbindung des Motors zur Platte angebracht, die sich nur vertikal bewegen lässt. Diese verhindert, dass die beide Komponenten (Platte und Metallstange) verrutschen können und garantiert, dass der Schlüssel genau durch das Schloss durchrutscht.

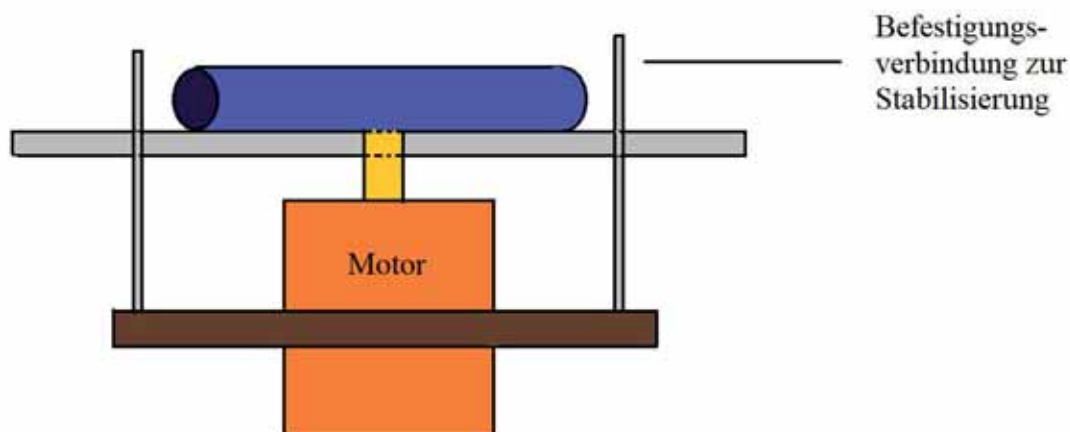


Abb.5: Ausklinkmodell

Das Modell besteht zum größten Teil aus Eisen (Schlüssel und Schloss).

Die Halterung des Motors besteht zum größten Teil aus Holz.

1.4 Vorstellung bei Jugend forscht 2019

Dieses Modell stellten wir zudem bei Jugend forscht im Februar 2019 im Bereich Geo-Raumwissenschaften vor, um uns Meinungen und Tipps für die Weiterentwicklung des Projekts einzuholen. Wir präsentierten unsere Ideen auf einem großen Plakat und führten unsere Konstruktion der Jury vor.

Wir erhielten einen 2. Platz.

2. Technische Weiterentwicklung

2.1 Ausarbeitung der Idee mit Servomotor

Das Modell wies jedoch ein grundsätzliches Problem auf. Bei jeder Umdrehung war die Reibung der beiden Elemente (Metallplatte- und Stange) zu groß, als dass ein Ausklinken mit zusätzlichem Gewicht der Nutzlast -welches wir bis dahin noch nicht berechnen konnten- gewährleistet gewesen wäre. Wir zogen andere Oberflächen, wie z.B. Filz oder Kunststoff, die die Reibung verringern würden, in Betracht. Jedoch bringt eine Verringerung der Reibung auch eine größere Gefahr eines unkontrollierten Ausklinkens mit sich, wenn bei Winden oder Luftlöcher der Mechanismus gerüttelt wird und dadurch der Schlüssel durch das Schloss rutscht. Somit wendeten wir uns auch von dieser Idee wieder ab. Infolgedessen informierten wir uns im Internet und bei Besprechungen des Amateurfunkvereins in Rosenheim über alternative Lösungsvorschläge.

Die Idee entstand bei einem Gespräch mit Xaver Fischer, der uns von einer Schleppkupplung für Modell-Segelflieger erzählte.

Wir ließen uns daraufhin in einem Modellbaugeschäft beraten und erhielten eine solche Schleppkupplung aus dem Modellbau-Bereich.

Diese Schleppkupplung besteht aus einem Aluminiumgehäuse, in welchem ein Modellbau-Servomotor eingebaut werden kann. Dieser Servomotor kann bei Stromfluss und richtiger Programmierung einen Stift aus der Schleppkupplung ziehen.

Wenn der Stift aus der Kupplung gezogen wird, gibt er das angehängte Element (in unserem Fall: das Seil) frei.

Diese Vorrichtung war für unsere Vorhaben die beste Lösung, da sie zum einen aus Aluminium -einem relativ leichten aber robustem Metall- besteht und zum anderen kompakt und platzsparend ist.

2.2 Treffen mit Rolf Dieter Klein und Klaus Puppe

Da wir zu Beginn noch wenig Ahnung von Elektrotechnik hatten, holten wir uns professionelle Hilfe von Diplom-Ingenieur Rolf Dieter Klein, welcher mit uns zusammen die Platine für die Steuerung des Servos anfertigte.

Der Servo (genauer der Servomotor) wird mit einem Arduino® angesteuert. Arduino® heißt die Firma, die programmierbare Boards mit digitalen und analogen Ein- und Ausgängen und Microcontrollern produzieren.¹ Für unsere Programmierung benutzten wir das Modell „Arduino MKR 1010“, welches man mit einem Micro-USB- Stecker schnell mit dem Computer verbinden kann. Diese Verbindung wird auch als „serielle Schnittstelle“ bezeichnet.²

2.3 Hardware

Der Servo:

Ein Servo aus dem Modellbau-Bereich besteht aus einem Motor, einem Winkelsensor, in unserem Falle ein Potentiometer, und einer Regelelektronik.

Das Signal kommt an der Regelelektronik an, welche den Sollwert mit dem Istwert vergleicht. Die aktuelle Position bzw. den Istwert bekommt die Regelelektronik von dem Potentiometer übermittelt.

Stimmt der Sollwert mit dem Istwert nicht überein, so bewegt sich der Motor solange, bis der Istwert mit dem Sollwert übereinstimmt.³

¹ Wikipedia: Arduino®, [https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_\(Plattform\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_(Plattform))

² Rolf Dieter Klein: Serielle Schnittstelle

³ Netzmafia: Servo-Ansteuerung,
<http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/Arduino/Servo/index.html>

Ein Untersetzungsgetriebe hilft bei der Kraftübertragung des Motors, weshalb Servomotoren, trotz geringer Größe viel Kraft aufbringen können. Zudem haben Servos den Vorteil, dass sie bei Verrutschen des Motorgetriebes, immer wieder den vom PWM-Signal (Pulsweitenmodulation) empfangenen Sollwert anstreben. Deshalb kann unsere Schleppkupplung nicht von selbst verrutschen und das Seil versehentlich freigeben, da der Servo immer versucht, den Stift innerhalb des vorgegebenen Winkels zu halten.

Der Servo hat drei Ausgänge. Das braune Kabel wird mit der Masse angeschlossen. Der mittlere Ausgang, rot eingefärbt, wird mit dem Spannungsversorger (5Volt) angeschlossen. Und der gelbe Ausgang, welcher das PWM-Signal übermittelt, wird mit dem Pin 0 des Arduino® verbunden. Der Arduino® schickt dem Servo ein solches Signal, welches ihm vorgibt, sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit in die angegebene Winkelposition zu bewegen.

Wir benutzten das Modell „D-Power DS-555BB Allround Standard Digital Servo“ mit einem Kunststoffgetriebe und Kugellagern. Ein Metallgetriebe erschien uns bei dem geringen Betrieb des Servos überflüssig. Mit bis zu 5,5 kg (einem Stellmoment bis zu 5.5 *Ncm*) Zugkraft und einer vorgegebenen Betriebsspannung zwischen 4,8 und 6 *V* war dieser Servo geeignet für unser Projekt.

Die Holzkonstruktion:

Da bei unserem Projekt, im Gegensatz zu anderen Stratosphärenprojekten, das Ballonseil an einem Punkt, genauer an der Schleppkupplung angebracht werden muss, verteilt sich die Kraft nicht auf mehrere Punkte an der Styroporbox, sondern wirkt nur an der Schleppkupplung. Deshalb muss die Schleppkupplung fest und kompakt genug an der Nutzlastkapsel befestigt werden und sichergestellt werden, dass das Styropor bei einer Zugkraft von 2 *kg* nicht reißt oder bricht.

Hierfür fertigten wir aus Holz (stabil und leichter als Metall) einen Boden und eine passende Gegenplatte, die wir am Deckel gegenseitig verschraubten. Die Bodenplatte sichert den Halt und die Fläche der Gegenplatte verteilt das Gewicht gleichmäßig auf den Styropordeckel.

Das Aluminiumgehäuse bzw. die Schleppkupplung, in welcher der Servo eingepasst ist, wurde an einer eigenen Halterung aus Holz angeschraubt. Diese Halterung wurde wiederum an die Bodenplatte mit Schrauben befestigt.

Die Halterung der Schleppkupplung ist so konzipiert worden, dass sie mit der Horizontalen der Bodenplatte einen Neigungswinkel von 60° (Vgl. Abb.5) einnimmt. Dadurch steht die Öffnung der Schleppkupplung, an der das Verbindungsseil zum Ballon befestigt wird, leicht geneigt nach oben, sodass ein Ausklinken des Seils garantiert wird. So ist die Reibung, nicht wie bei einer horizontalen, parallelen Befestigung der Schleppkupplung an die Bodenplatte, beim Ausklinken relativ gering.

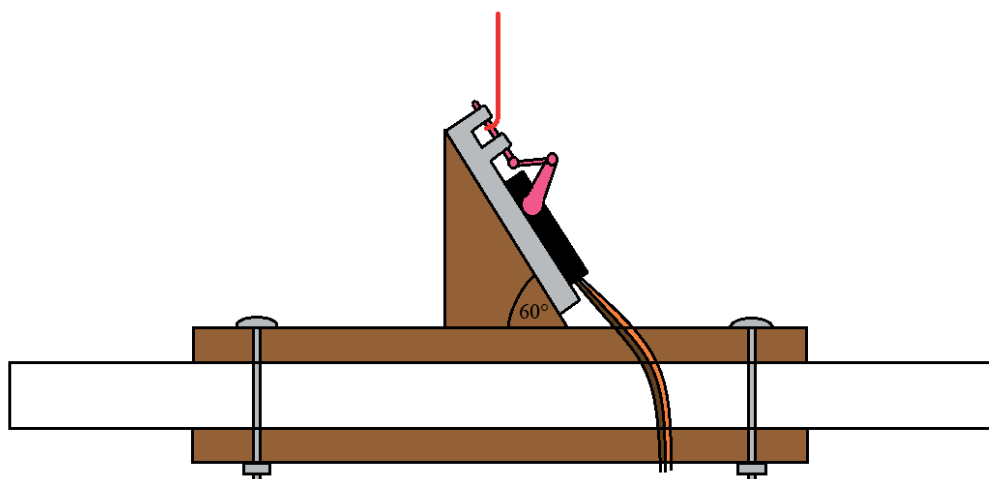


Abb.6: Holzkonstruktion und Schleppkupplung

Der DTMF-Decoder:

Als Auslösesignal verwendeten wir DTMF-Töne, die wir wie einen Code aneinanderreihen. Diese Töne bestehen aus zwei übereinander gelagerten Tönen („dual-tone multi-frequency“; Doppelton-Mehrfrequenz), die immer noch in Telefonanlagen zur Übermittlung der Rufnummer benutzt werden.⁴

⁴ Wikipedia: DTMF-Töne, <https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfrequenzwahlverfahren>

Über ein von den Funkamateuren genutztes Handfunkgerät kann man diese Töne in beliebigen Frequenzen senden. Auch eine Handy-App kann diese Töne generieren, jedoch nicht senden. Wir verwendeten den Zahlencode 15639 als Auslösesignal und 1451 als „Return“-signal. Wenn auf der Frequenz von 434.900 MHz die DTMF-Tonfolge 15639 von der Antenne empfangen wird, „decodiert“ bzw. wertet der DTMF-Decoder den Code aus. Die Software des Arduino® kontrolliert, ob die empfangenen Signale unserem Code entsprechen. Trifft dies zu, so öffnet sich die Schleppkupplung. Das Schließen der Schleppkupplung erfolgt daher bei Eingang des Codes 1451.

Der DTMF-Decoder, genauer der DTMF-Receiver von der Firma Holtek, Modell „HT9170D“, ist über die Pins 11, 12, 13, 14 und 15 bzw. D0, D1, D2, D3 und DV mit dem Arduino® an den Pins A0, A1, A2, A3 und A4 verbunden. Diese Pins des DTMF-Decoders können entweder „High“ oder „Low“ sein. Wenn ein Pin „High“ ist, so besitzt dieser Pin eine höhere Spannung. Ist der Pin dagegen „Low“, so besteht eine Spannung gegen 0, welche auch als „Masse“ bezeichnet wird.

Diese Pegelunterschiede fungieren in diesem Fall als Code.⁵ Der Pin 10 bzw. OE muss dauerhaft auf „High“ sein, damit ein Erkennen des Codes möglich ist.

⁵ Wikipedia: Logikpegel, <https://de.wikipedia.org/wiki/Logikpegel>

Digit	OE	D3	D2	D1	D0
1	H	L	L	L	H
2	H	L	L	H	L
3	H	L	L	H	H
4	H	L	H	L	L
5	H	L	H	L	H
6	H	L	H	H	L
7	H	L	H	H	H
8	H	H	L	L	L
9	H	H	L	L	H
0	H	H	L	H	L
*	H	H	L	H	H
#	H	H	H	L	L
A	H	H	H	L	H
B	H	H	H	H	L
C	H	H	H	H	H
D	H	L	L	L	L
ANY	L	Z	Z	Z	Z

Abb.7: Pegeltabelle, Datenblatt von Holtek HT9170D

Der Tabellenabschnitt „Digit“ zeigt die möglichen Zeichen an, welche durch den Pegelcode generiert werden können. Wenn man die Pins D3, D2, D1 und D0 summiert, erhält man, je nach Kombination das gewünschte Zeichen bzw. die gewünschte Ziffer. Wenn der Pin D0 z.B. „High“ ist, wird die Zahl 1 hinzugezählt. Wenn der Pin D1 „High“ ist, wird die Zahl 2 bzw. 2^1 hinzugezählt. Wenn der Pin D2 „High“ ist, wird die Zahl 4 bzw. 2^2 hinzugezählt. Wenn der Pin D3 „High“ ist, wird die Zahl 8 bzw. 2^3 hinzugezählt. Von Pin D1 bis D3 wird somit jedes Mal eine weitere „1“ zum bestehenden Exponenten addiert.

Die Pins, die „Low“ sind, addieren eine „0“ hinzu, weshalb sie keine direkten Auswirkungen auf das Endergebnis haben.

Dadurch besteht die Möglichkeit mit nur 4 Pins die Zahlen 1-9 und verschiedene Zeichen zu übermitteln (Vgl. Abb.6). Will man z.B. die Zahl 7 generieren, so muss D0, D1 und D2 auf „High“ sein, da $1+2+4 = 7$ gilt. Auch unsere Codes (15639 und 1451) werden auf diese Weise decodiert.

Zudem bauten wir eine orangefarbene Leuchtdiode mit ein, die kurz aufleuchtet, wenn der DTMF-Decoder einen DMTF-Ton empfängt.

Der Tiefpassfilter:

Der Tiefpassfilter wird verwendet, um bei Sendevorgängen die hohen Frequenzen rauszufiltern und die Funksignale im niedrigeren Frequenzbereich durchzulassen.⁶ Funksignale in hohen Frequenzbereichen können „Störungen in Radios (BCI) und Fernseher (TVI)“⁷, sowie in verbotenen Frequenzbereichen der Luftfahrt, verursachen.

Wir verwendeten einen Tiefpassfilter, entworfen von Rolf Dieter Klein, welcher mit zwei Kondensatoren und drei Spulen ausgestattet ist.

⁶ Rolf Dieter Klein: Tiefpassfilter

⁷Funkberatung: Tiefpassfilter, <https://www.funkberatung.de/begriffe-und-bezeichnungen/q-bis-z/tiefpassfilter-funktechnik.html>

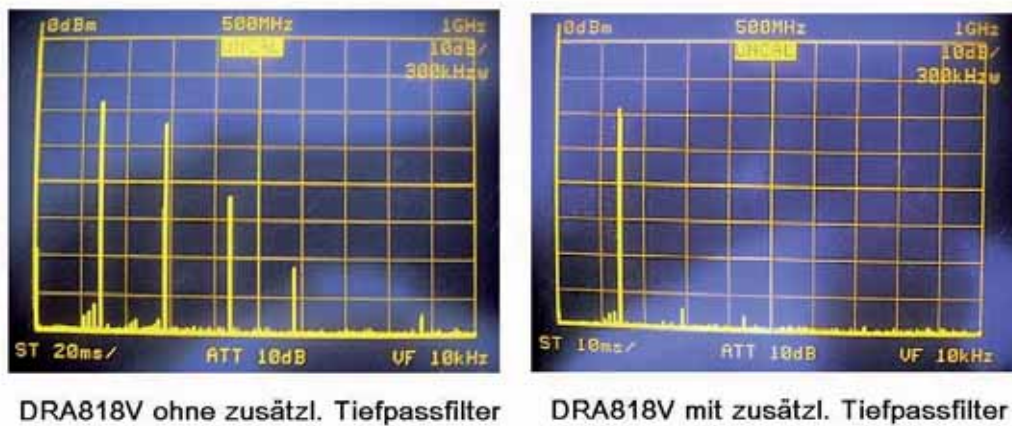


Abb.8: Oszilloskop-Messung mit/ohne Tiefpassfilter, Rolf Dieter Klein

Die Spulen werden in hohen Frequenzbereichen hochohmig, weshalb der Widerstand die hohen Frequenzbereiche nicht mehr durchlässt. Die Kondensatoren werden bei niedrigen Frequenzen niederohmig und filtern somit Störsignale im niedrigen Frequenzbereich heraus.⁸

Das DRA818U- Modul:

Damit wir überhaupt mit der Elektronik -unter anderem dem Servo- „kommunizieren“ können ist ein Funk-Audio-Modul verbaut, welches im UHF-Band Töne senden und übermitteln kann. „UHF-Band“ meint den Frequenzbereich, in welchem das Modul senden kann. Das Modul kann also im UHF-Band (engl. Ultra High Frequency) Funksignale von einer Wellenlänge von 10 cm bis 1 m, also einem Frequenzbereich von 300 bis 3000 MHz senden.⁹ Wir verwendeten das Modell „DRA818U“ für unsere Sendetechnik.

Da wir das Modul, um es zu testen, an einen Spannungsregler angeschlossen hatten und die Bauteile dieses Modelles, wie z.B. der Microcontroller, sehr empfindlich auf Schwankungen im Stromfluss reagieren, zerstörten wir aus Versehen ein Modul. Wir besorgten uns daraufhin ein neues Modul bei Rolf Dieter Klein, der noch ein Modul auf Lager hatte.

⁸ Rolf Dieter Klein: Tiefpassfilter

⁹ Wikipedia: UHF-Band, <https://de.wikipedia.org/wiki/Dezimeterwelle>

Die Tasten:

Zudem bauten wir zwei Tastenelemente mit in die Platine ein, damit wir auch ohne Funksignal die Schleppkupplung öffnen und schließen können. Diese sind jeweils einmal mit der Masse und zum anderen mit den Pins 1 und 2 am Arduino® verbunden.

Es wurden weitere Bauteile wie Kondensatoren und Widerstände mit in den Stromkreis eingebaut, letztere um den Stromfluss zu regulieren. Der Arduino® benötigt mindestens 5 V Spannung, das DRA818U-Modul jedoch nur 3,3 bis 4,5 V und der DTMF-Decoder eine Spannung von 2,5 bis 5,5 V.

Die Batterien:

Zur Stromversorgung nutzten wir vorerst „CR123A“ Lithium-Batterien der Marke Panasonic®, welche bis zu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ Umgebungstemperatur einen ungestörten Stromfluss garantieren. Mit passenden Halterungen schlossen wir diese parallel, bis die gewünschten 9 V Betriebsspannung erreicht wurden. Diese Art von Batterien werden auch im Industriebereich bei extremen Verhältnissen verwendet.

Letztendlich stellte uns Rolf Dieter Klein für den Start Akkus zur Verfügung, die auch in der Raumfahrt benutzt werden können. Für die Grundversorgung schalteten wir drei solcher „Li-ion Akkus“ der Firma Saft® parallel, die zusammen ca. 11,25 V erreichten. Mit einer Kapazität von 6,8 Ah und einer Temperaturverträglichkeit bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ waren diese gut geeignet für den Start.

Die Antennen:

Für einen guten Empfang der Funksignale bzw. des Auslösesignales, die vom Erdboden aus gesehen die Sonde, wenn sie sich in der Luft befindet, an der Unterseite treffen, brachten wir eine Antenne an.

Die Antenne, welche für den Frequenzbereich um 434.900 MHz geeignet ist, wird zusätzlich mit einer „Einfangplatte“ versehen, deren Oberfläche mit einem dünnen Kupferfilm beschichtet ist.

Diese reflektiert elektromagnetische Wellen und leitet sie im besten Falle zur Antenne weiter. Dadurch wird die Empfangssicherheit erhöht und die Sonde empfängt Funksignale in besserer Qualität.

Auf dieselbe Weise befestigten wir eine Antenne für den APRS-Sender, der in Echtzeit Koordinaten der Sonde -auf „APRS.fi“ sichtbar- übertragen kann.

-Im folgenden Foto ist die fertige Gesamtpatrine dargestellt, die unsere Sende- und Auslösetechnik und die Sensoren von Sophia Bobbert beinhaltet-



Abb.9: Hauptplatine

2.4 Software

Um den Servo ansteuern zu können, braucht man ein passendes Programm, welches man mit der Arduino®-Software in der Programmiersprache C und C++ verfassen kann. Wir schrieben das Skript mit Hilfe von Rolf Dieter Klein, der uns in das Programmieren einführte.

```

//

// SERVO TESTER RDK 20190616
//
#include <Servo.h>

// A0..A3 sind D0,D1,D2,D3 vom DTM Dekoder
// A4 ist der DV wenn high dann valides DTMF
#define DTMFD0 A0
#define DTMFD1 A1
#define DTMFD2 A2
#define DTMFD3 A3
#define DTMFDV A4 // valid signal 1=signal

(...)

#define SERVOPIN 0
#define TASTE1 1
#define TASTE2 2

(...)

```

Abb.10: Arduino®-Skript, Servo-Software, 1. Teil

Der Befehl „`#include <Servo.h>`“ bringt die „library“ eines Servos in das Skript mit ein, damit das Arduino®-Programm erkennt, dass es sich um einen Servo handelt. „library“ nennt man die von der Arduino®-Software vorgegebene Programme, welche man nur noch mit den nötigen Parametern ergänzen muss, damit sie für spezielle Funktionen (z.B. für Servos) angepasst sind. Der Befehl „`#define`“ fügt einen neuen Parameter hinzu. So wird bei dem Befehl „`#define TASTE1 1`“ die Taste zum Auslösen hinzugefügt.

```

}
if (((digitalRead(TASTE1)==0) ||(state2== 5))&& (state1 == 0)) {
  // AUSLOESUNG !!
  for (pos =130; pos <= 180; pos += 1) { // goes from 0 degrees to
180 degrees
    // in steps of 1 degree
    myservo.write(pos);          // tell servo to go to position in vari-
able 'pos'
    delay(15);                   // waits 15ms for the servo to reach the
position
  }
}

```

Abb.11: Arduino®-Skript, Servo-Software, 2.Teil

Die Schleppkupplung wird nur ausgelöst, wenn die Bedingung, welche mit „if(...)“ eröffnet wird, eintritt. Die Bedingung ist, dass am Arduino®-Pin „TASTE1“ die 0 erscheinen muss. Zugleich soll „state2“ auf 5 und „state1“ auf 0 sein. Ist die Bedingung erfüllt, so bewegt sich der Servo von 130° Winkelposition zu 180° Winkelposition und öffnet somit die Schleppkupplung. Der Befehl „delay(15)“ legt die Zeitspanne fest, die das Programm abwartet, bevor es mit dem weiteren Verlauf des Skriptes fortfährt. In unserem Fall wartet das Programm 15 *ms*.

3. Organisation des Ballonstartes

3.1 Genehmigung der Luftfahrtbehörde

Um in Deutschland einen Heliumballon mit einer Nutzlast bis zu 4 *kg* in die Stratosphäre schicken zu dürfen, benötigt man vom Luftamt des jeweiligen Bundeslandes eine Genehmigung. Um diese zu erhalten, muss man -für einen Start wichtige- Informationen an das Amt per E-Mail senden.

Wir nutzten eine Anleitung von Stratoflights, der Website, bei der wir auch unseren Ballon usw. kauften, um alle Informationen schon im Vorhinein klären zu können. Die Genehmigung erhielten wir problemlos innerhalb von 2 Wochen. Dabei fiel eine Gebühr von 40 Euro an.

Unser Ballon wird in die Klasse „leicht“ eingestuft, da die Nutzlast noch unter 2 *kg* wiegt. Zudem muss der Auflassort, das Datum und die Uhrzeit des Startfensters angegeben werden. In unserem Falle war der Auflassort in Holzkirchen am Sportplatz und das Zeitfenster 8:00 bis 12:00 Uhr. Ein Start am Vormittag ist geeigneter, da die anschließende Suche nach der herabgefallenen Nutzlast sehr lange dauern kann und somit noch viel Zeit vorhanden bleibt. Außerdem müssen Koordinaten und Ersatztermine für den Start in der Genehmigung angegeben sein.

3.2 Luftfahrthalterhaftpflichtversicherung

Eine weitere Bedingung eines Stratosphärenballon-Starts stellt die sog. Luftfahrthalterhaftpflichtversicherung dar. Diese Versicherung kann man z.B. bei der Allianz® anfordern und ausstellen lassen. Auch wir beantragten eine Versicherung bei der Allianz®. Wir konnten zwischen drei Versicherungssummen entscheiden und legten uns für die höchste Summe von 3.000.000 Euro fest, da z.B. bei einer Landung der Nutzlast auf der Autobahn, oder anderen Gefahrenbereichen, schnell größere Schäden entstehen können. Die Versicherung selbst kostete in unserem Fall 142,80 Euro.

3.3 Besorgungen und Materialien

Mit Geldern der Schule kauften wir ein Stratosphärenballonprojekt-Komplettset bei dem Internetanbieter Stratoflights. Dieses ist für eine Nutzlast von 2 *kg* ausgelegt und beinhaltet einen großen Teil grundlegender und wichtiger Produkte für den Start und den Flug. Ein zentraler Bestandteil war der Ballon, welcher aus einem Naturkautschuk-Latex Gemisch gefertigt ist und ohne Gasinhalt einen Durchmesser von ungefähr 2,1 *m* hat und 2000 *g* wiegt.

Seine Traglast beträgt bis zu 2000 g bei welcher circa $5,5 \text{ m}^3$ Helium für eine Aufstiegsgeschwindigkeit von $5-7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ von Stratoflights empfohlen wird. Die maximale Platzhöhe beträgt 38.000 m . In dem Set wurden Handschuhe aus Baumwolle mitgeliefert, die die sehr empfindliche Haut des Ballons beim Befüllen schützen sollten. Beinhaltet war -gemäß der Bestimmungen der Luftfahrtbehörde- zudem ein Fallschirm um den freien Fall der Nutzlast nach dem Platzen des Ballons bzw. dem Ausklinken abzubremesen. In unserem Fall hatte dieser einen Durchmesser von 130 cm , ein Gewicht von 80 g und war für den Einsatz mit einer Nutzlast zwischen $800-2500 \text{ g}$ ausgelegt. Für die Verbindung von Nutzlast, Fallschirm und Ballon eine Speziialschnur aus Polyäthylen (Reißfestigkeit unter 230 N), die die Bedingungen der Luftfahrtbehörde erfüllt, mitgeliefert.

Diese wiegt mit einem Durchmesser von 1 mm und einer Länge von 50 m ca. 30 g . Im gewählten Set enthalten war ein GPS-Tracker für die GPRS (General Pocket Radio Service) Ortung der Nutzlast nach der Landung. Die Ortung funktioniert hierbei über das Handynetzt der eingebauten SIM-Karte. Die Positionsdaten wurden von diesem kompakten und leichten (45 g) Gerät mit einer SIM-Karte per SMS an eines unserer Smartphones mit einem GoogleMaps-Link gesendet. Auch optional, aber aus unserer Sicht sinnvoll, war ein Batteriepack mit Batteriekammern. Durch dieses bekamen wir für die Kamera bei einer Betriebsspannung von 6 V eine zusätzliche Kapazität von 11600 mAh . Die benutzten Batterien haben einen geeigneten Temperatureinsatzbereich von -40 bis $+60 \text{ }^\circ\text{C}$. Dadurch konnten wir eine lange Laufzeit der Kamera erreichen und den kompletten Flug filmen. Die Kamera, eine „GoPro Hero 5“, wurde uns für die Dauer des Projekts von den Rosenheimer Amateurfunkern zur Verfügung gestellt, um den Start und Flug mit zu filmen. Im Set beinhaltet war auch eine Styroporbox (200 g), die sowohl genügend Platz (Innenvolumen: $3,3 \text{ l}$) für alle Messgeräte, die Funktechnik und die Kamera bietet, als auch den Inhalt vor den extremen Temperaturen (bis ca. $-50 \text{ }^\circ\text{C}$) und bei der Landung, durch eine Wandstärke von 3 cm , schützt. Für den tatsächlichen Start beschafften wir uns zwei 20 l Flaschen Ballongas (ein Heliumgemisch) mit einem Fülldruck von 200 bar bei dem Baumarkt Hornbach in München.

4. Testversuche und Weiterentwicklung

4.1 Tests in der Kältekammer der Firma Kathrein

Das größte Problem, das wir zu bewältigen hatten, war die extreme Kälte, die in den höheren Luftschichten auftritt. Bei einer Lufttemperatur bis zu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, die beim Übergang der Troposphäre zur Stratosphäre herrscht, kann die eingebaute Technik versagen und der Servo -eingebaut in kälteleitendes Aluminium der Schleppkupplung- einfrieren. Deshalb testeten wir in einer Kältekammer von der Firma Kathrein in Rosenheim unsere fertige Sonde auf Kältebeständigkeit.

Unser erster Test verlief vorerst gut. Wir sendeten im Abstand von 15 Minuten das Auslösesignal an die Sonde und erhielten bei 3 Versuchen ein positives Ergebnis. Der Servo löste aus und wir empfangen den Morsecode, der über das Handfunkgerät auf derselben Frequenz durchgegeben wird. Das vierte Mal jedoch -also nach genau einer Stunde- löste der Servo nicht mehr aus und der Morsecode war nicht mehr zu hören.

4.2 Neukonstruktion des DTMF-Decoders

Wir zogen mögliche Problemursachen in Betracht und entschieden uns, das Zahnrad-Fett, das im Kunststoffgetriebe vorhanden ist, zu entfernen und ein kältebeständiges Fett, wie z.B. Teflon-Öl zu verwenden. Denn es war möglich, dass das Öl bei den niedrigen Temperaturen gefroren war und somit das Getriebe des Servos lahmgelegt hat. Letztendlich entfernten wir nur das vorhandene Fett, benutzen jedoch kein neues, da bei der geringen Nutzung das Öl nicht unbedingt notwendig ist. Auch der Morsecode war nicht mehr zu hören gewesen, was zu bedeuten hatte, dass Teile der Elektronik, wie z.B. der DTMF-Decoder ausgefallen sein mussten. Xavier Fischer schlug deshalb eine Neukonstruktion der gesamten Empfangs- und Auslösetechnik vor.

Aufgrund der Entscheidung der Neukonstruktion der Ausklinktechnik verschob sich der Starttermin. Vorteilhaft war das Wegfallen einer aufwändigen Fehlersuche an der Platine.

Wir verbanden somit das DRA818U-Modul mit dem DTMF-Decoder, dem Tiefpassfilter und dem Arduino® und befestigten alles auf einer separaten Platine, abgetrennt von den übrigen Messgeräten von unserem Partnerprojekt¹⁰. Die neue Trägerplatine befestigten wir wegen Platzmangel in der Styroporsonde senkrecht auf der Hauptplatine, auf der auch noch die Sensoren angebracht waren. Den größten Platz brauchten vor allem die Kühlstäbe/-gitter, die in einer Reihe angebracht wurden, um einen Luftkanal für die Sensoren zu erzeugen.

Deshalb konstruierten wir mit Rolf Dieter Klein eine Halterung für die neue Trägerplatine mit einer 3D-Druck-Software am Computer und druckten dieses als 3D-Modell.

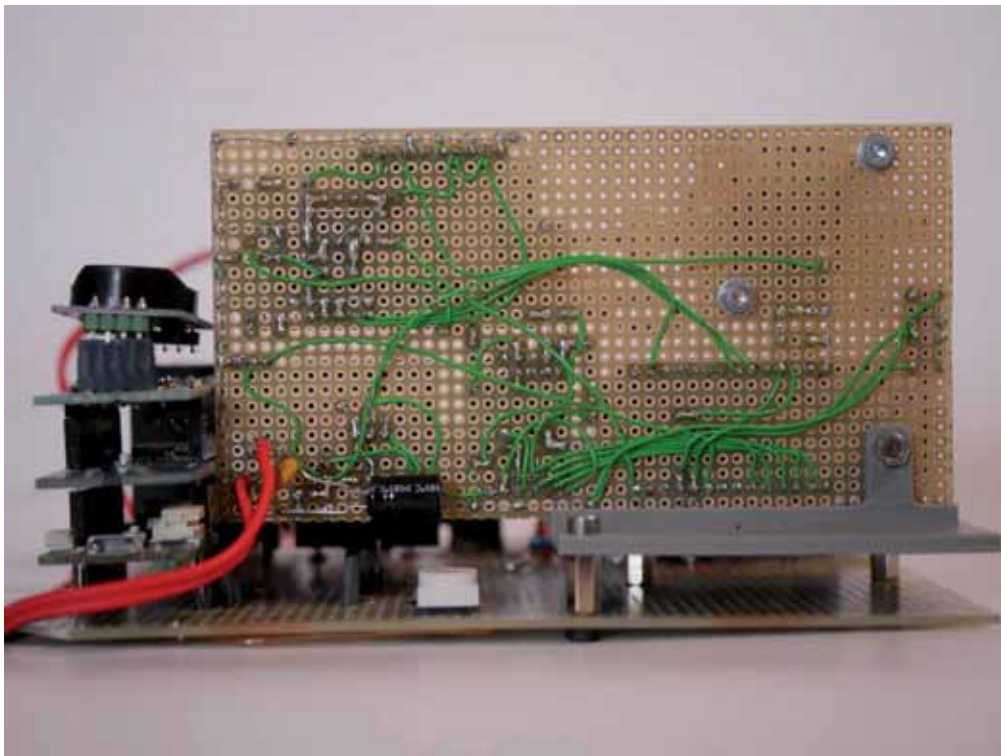


Abb.12: Neukonstruierte Teil-Platine

¹⁰ siehe: Seminararbeit, Sophia Bobbert

Nach ca. 40 *min* war die Halterung fertig ausgehärtet. Durch die hohe Genauigkeit der Software und der genommenen Maße, fügte sich die Halterung ohne Probleme in die Hauptplatine ein. Wir benutzen hierfür die Bohrlöcher, die noch von der ersten Konstruktion des DTMF-Decoders und früheren Sendetechnik übriggeblieben waren, und fixierten die Halterung mit vier „Inbus“-Schrauben (Sechskant-Schrauben), wodurch diese sicher und fest an der Hauptplatine anliegt.

Die orangefarbene Leuchtdiode an der vertikalen Trägerplatte konnte man immer noch gut aus der „Oben“-Ansicht erkennen. Dies war wichtig, da die Platine beim Start in der Styroporbox lag und nur aus der Perspektive von oben auf die Technik sichtbar war.

Zwei weitere Testläufe bei Kathrein verliefen ähnlich wie der erste.

Einmal gab es einen Wackelkontakt, der die Stromversorgung der Sensoren und der Arduinos behinderte. Wir löteten die lockeren Kontakte des Steckers eines Sensors fest. Doch auch diese Maßnahme ergab keine positive Veränderung. Zuerst glaubten wir, dass die Software auf dem Arduino® die Fehlerursache war, weshalb wir das Programm für den Servo veränderten. Bei ausbleibendem Erfolg stellten wir das alte Programm wieder her. Auf einmal funktionierte die Technik wieder und wir kamen zu dem Schluss, dass die Kälte evtl. die Microcontroller auf dem Arduino® lahmgelegt haben könnte.

Wir entschlossen uns daher am Tag des Ballonstartes einen Handwärmer mit in die Styroporsonde zu legen, der 30 *min* bis zu 54 °C heizen kann.

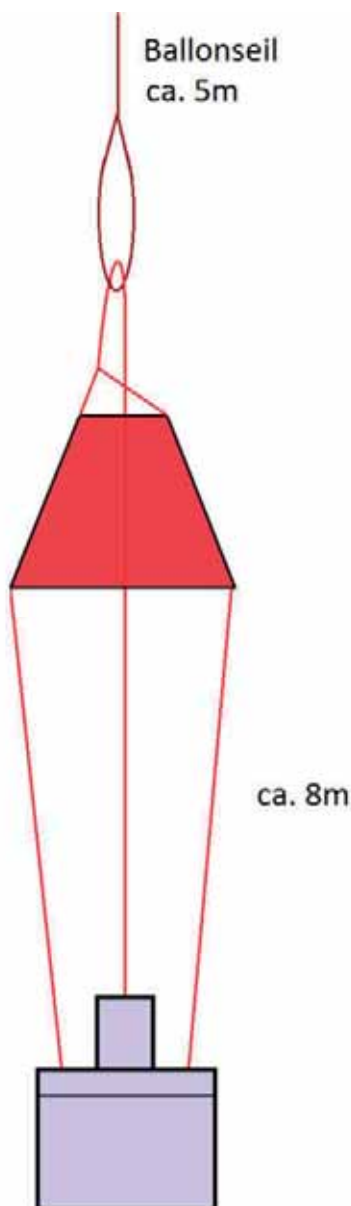
Da die Schleppkupplung sehr schnell kalt wird und sich in der Kältekammer daher durch die Luftfeuchtigkeit sehr kleine Eiskristalle auf dem Aluminium gebildet haben könnten, die für ein reibungsloses Öffnen potentiell hinderlich wären. Hierzu fertigten wir eine Styroporhülle an, die die Schleppkupplung komplett umhüllt. Sie soll vor allem die Kälte vom Servo und der Schleppkupplung fernhalten. Durch ein kleines Loch am oberen Ende der Styroporhülle, kann das Verbindungsseil zum Ballon verlaufen.

Am vierten Versuchstag in der Kältekammer von Kathrein verliefen die Testabläufe bis zu 1,5 Stunden positiv. Bei Minustemperaturen von $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ versagte nach dieser Zeit jedoch wieder die Verbindung von Sendetechnik, Arduino® und Servo. Die Sonde war jedoch von Anfang an den Temperaturwerten von $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt, was nicht den realen Bedingungen entspricht, da die Temperatur sich in den Atmosphärenschichten langsam und schleichend von ca. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ verändert. Zudem testeten wir die Sonde bzw. die Schleppkupplung ohne der Styroporhülle (für den Ausklinkmechanismus), da diese uns sonst die Sicht darauf verdeckt hätte. Deshalb entschieden wir uns dennoch für einen Start am darauf folgendem Tag, genauer dem 4.9.2019.

5. Ballonstart

-Die nachfolgende Schilderung enthält erzählerische Elemente, da es sich um eine zusammengefasste Beschreibung über den Tagesablauf und den Ballonstart handelt-

Nach den Belastungstests in der Kältekammer der ortsansässigen Firma Kathrein, konnten wir unseren Start auf Mittwoch, den 4.9.2019 legen. Nachdem die Genehmigung für diesen Termin und den Startort Holzkirchen bereits bestand, galt es noch die letzten wichtigen Dinge für unseren Start neben den essentiellen Teilen



wie Ballon und Technik zu bestimmen (z.B. Batterien aufladen etc.) und dann mit zum Startort mitzunehmen. Zuerst befestigten wir den Fallschirm an der Nutzlast in einer speziellen Weise, um unser Ausklinken überhaupt erst zu ermöglichen. Der klassische Weg die Nutzlast mit dem Fallschirm zu verbinden ist, die Schnüre des Fallschirms so an einer Verbindungsschnur zur Nutzlast anzuknüpfen, dass deren Abstand 8 bis 10 m beträgt. Danach würde der Ballon an einer weiteren Verbindungsschnur von Fallschirm zum Ballon, befestigt werden (Abstand ca. 5 m). Daraus folgt eine Gesamtlänge bis zu 15 m. Der Ballon würde somit in einer bestimmten Höhe platzen und der übrige Verband (Nutzlast und Fallschirm) gebremst herabfallen. Bei unserem Ausklinkmechanismus würde der Fallschirm aber mit abgetrennt werden,

Abb.13: Befestigung des Verbindungsseils

weshalb wir eine neue Verbindung der Komponenten entwarfen. Damit der Fallschirm den freien Fall der Nutzlast abbremsen kann, aber nicht mit ausgeklinkt wird, verlängerten wir die Seile, die direkt vom Fallschirm ausgehen, auf den empfohlenen Abstand von 8 bis 10 *m* zur Nutzlast. Diese befestigten wir direkt an der Oberseite der Nutzlast und nicht am Ausklinkmechanismus. Die Seile wurden durch Löcher im Deckel hindurchgeführt und im Inneren der Nutzlast sicher miteinander verknotet. So waren Nutzlast und Fallschirm fest miteinander verbunden. Um den Ballon noch mit anbinden zu können, führten wir ein weiteres Stück der Spezielschnur vom Ausklinkmechanismus durch ein kleines Loch in der Mitte des Fallschirms. Diese Schnur führten wir in einem kleinen Abstand (ca. 40 *cm*) wieder zurück zu der Fallschirmmitte, an der wir diese befestigten und so eine Schlaufe entstand. An dieser Schlaufe konnten wir dann den Ballon mit einer weiteren Verbindungsschnur in einem Abstand von ungefähr 5 *m* anknüpfen. Diese besaß an der Verknüpfungsstelle eine zweite Schlaufe, um das Durchrutschen der unteren Schnur (vom Ausklinkmechanismus) zu gewährleisten.

Im weiteren Verlauf der Vorbereitungen passten wir unsere Actioncam zum Filmen in die Außenwand der Styroporbox ein. Dazu schnitten wir in eine der freien Seiten ein Loch mit der Höhe der Kamera (Schutz gegen Verrutschen). Jedoch ließen wir Spielraum, damit die GoPro im Betrieb nicht durch die Eigenwärme in einer zu knappen Einpassung und Isolation überhitzt. Diese Lücke schaffte zusätzlich Platz für das USB-Kabel zum Anschluss des Batteriepacks für eine längere Laufzeit der Kamera. Wir steckten auf Höhe des Startknopfes eine aufgebogene Büroklammer in das Styropor, mit der wir den Knopf vor dem Start betätigen und so das Video starteten. Zur Isolation der gesamten Box passten wir dann das Objektiv der Actioncam in eine Kartonplatte ein. Die Luftqualitäts- und Partikelgrößen Sensoren von unserem Partnerprojekt, die um aussagekräftige Messungen im Höhenprofil zu liefern direkten Zugang zu Frischluft benötigten, haben wir in einer extra Kammer in der Box untergebracht. Diese Sensoren befanden sich ganz unten am Boden und waren durch von uns eingezogenen Styroporwänden vom Rest der Sensoren und Empfänger abgekoppelt und isoliert. So konnte nur sehr wenig kalte Luft aus diesem Bereich in den Bereich der temperaturempfindlichen Funktechnik gelangen.

Um die Frischluftzufuhr für den Messsensorenbereich auch sicherzustellen, bereiteten wir zwei Löcher in der Wand auf Höhe der Kammer vor, wobei eines vor einem Ventilator als Eingang und das andere am Ende der Sensoren als Ausgang des Luftstroms diente. So konnte dauerhaft ein Frischluftzug für verwertbare und aktuelle Messdaten bereitgestellt werden ohne die restlichen Geräte einzufrieren. Neben dieser Kammer bauten wir dann eine weitere Platine ein, auf der die restlichen Sensoren und die Funktechnik befestigt waren. Dann schlossen wir alle diese Geräte an die Satellitenakkus an. An den Deckel der Styroporbox befestigten wir noch den Datenlogger mit Gewebeband, dessen Antenne für einen optimalen Empfang der Positionsdaten möglichst weit oben festgemacht werden sollte. Auf der Luftqualitätsmesskammer befestigten wir noch den GPS-Tracker, der ein wichtiger Bestandteil neben APRS-Sender (sendet auf einer bestimmten Frequenz seine Positions- und Bewegungsdaten auf ein Handfunkgerät) und der sogenannten PS-15 (ein Ortungsgerät, das auch von Hobbypiloten verwendet wird und in unserem Fall seine Daten auf ein Smartphone sendete) bei der Suche der Nutzlast nach der Landung gewesen ist. Den APRS-Sender, der selbst in einer kleinen Styroporbox untergebracht war, befestigten wir kurz vor dem Start außen an der Nutzlast. Zum Schluss gaben wir noch einen Zettel mit unseren Adressen und Informationen über unser Projekt hinein, um Missverständnisse zu vermeiden. Danach befüllten wir den Ballon mit Ballongas.

Da der Ballon eine extrem empfindliche dünne Haut besitzt, galt es für ein erfolgreiches Aufblasen einige Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Um den Ballon vor spitzen Gegenständen im oder auf dem Rasen zu schützen, legten wir eine große Fläche (ca. $4 \times 8 \text{ m}$) mit einer sauberen glatten Plastikabdeckung aus. Hier legten wir auch das fertige Gespann aus Fallschirm und Nutzlast nacheinander startbereit aus. In zwei Teams befüllten wir den Ballon und machten die Nutzlast komplett startfertig. Das Aufblasen des Ballons mit Helium dauerte ungefähr 15 min , in denen wir die beiden Antennen für APRS und Sendetechnik an der unteren Seite der Styroporbox befestigten, die Stromversorgung der gesamten Technik, Akkupack und Video der Kamera anschalteten, die Sensoren über einen Drehschalter messbereit machten und einen Handwärmer aktivierten um die Styroporboxinnen-temperatur lange hoch zu halten.

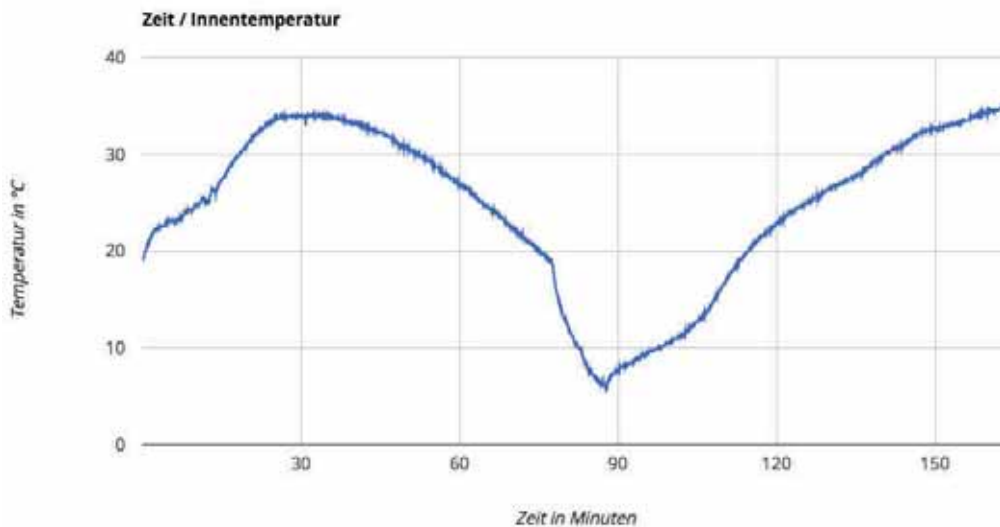


Abb.14: Zeit/Innentemperatur Diagramm

Die Abbildung 13 zeigt, dass der Handwärmer bis Minute 30 (Höchsttemperatur im Intervall von 0 bis 90 Minuten, der Aufstiegszeit) die Innentemperatur der Styroporsonde erhöht hat. So fiel die Temperatur auch im weiteren Verlauf nie unter 0 °C, weshalb die Technik nicht einfrohr.

Mit Gewebepband verschlossen wir die Nutzlast, überprüften die Funktion des Ausklinkmechanismus, legten das Verbindungsseil ein und umgaben den Servo mit der isolierenden Styroporbox.

Kurz vor dem Start wickelten wir auffälliges, oranges Klebeband um die Nutzlast, um das Auffinden in einer Wiese oder im Wald nach der Landung zu vereinfachen. Darauf fixierten wir den aufgeblasenen Ballon am Verbindungsseil, welches von der Schlaufe am Fallschirm kommt und befestigten die PS 15. Jetzt war das gesamte Projekt startbereit und wir konnten den Ballon samt Nutzlast auflassen. Der Start klappte reibungslos, der Ballon stieg schnell auf und gewann zügig an Höhe. Wir teilten uns in drei Suchtrupps (PKW) auf, wobei wir uns zur Verfolgung vor allem auf das APRS-Signal, das man über ein Handfunkgerät empfangen konnte, stützten. Zudem halfen uns bei der Ortung die Positionsdaten der PS15, die auf dem Smartphone visualisiert wurden. Anhand der gesendeten Positionsdaten, der Bewegungs- und Steigdaten und der aktuellen Höhe und den Daten aus der NASA Wetterdatenbank ließ sich der voraussichtliche Kurs der Sonde be-

rechnen. Auch der Landeort konnte mit verschiedenen Platzhöhen simuliert werden. Dies war für uns besonders hilfreich, da wir auf die „Platz“-Höhe (Ausklinkzeitpunkt) durch den von uns entwickelten Ausklinkmechanismus Einfluss nehmen konnten. Durch mehrere Simulationen befanden wir die Auslinkhöhen 13000 oder über 20000 *m* für gut, da in den Höhen dazwischen die Nutzlast im Stadtgebiet Rosenheim landen würde. Um ein selbstständiges Platzen auszuschließen, entschieden wir uns, da die Höhe für die Messungen der Sensoren ausreichte, die Nutzlast bei circa 13 *km* Höhe abzukoppeln. Über die gesendeten Daten der Sonde überwachten wir die Höhe und verfolgten diese anhand der Bewegungsrichtung und der Prognosen mit dem Auto. Kurz vor Erreichen der gewünschten Höhe des Ballons stoppten wir auf einer Anhöhe, um eine möglichst ungestörte Funkverbindung zu erreichen. Vor dem Ausklinken mussten wir die richtige Sendefrequenz einstellen.

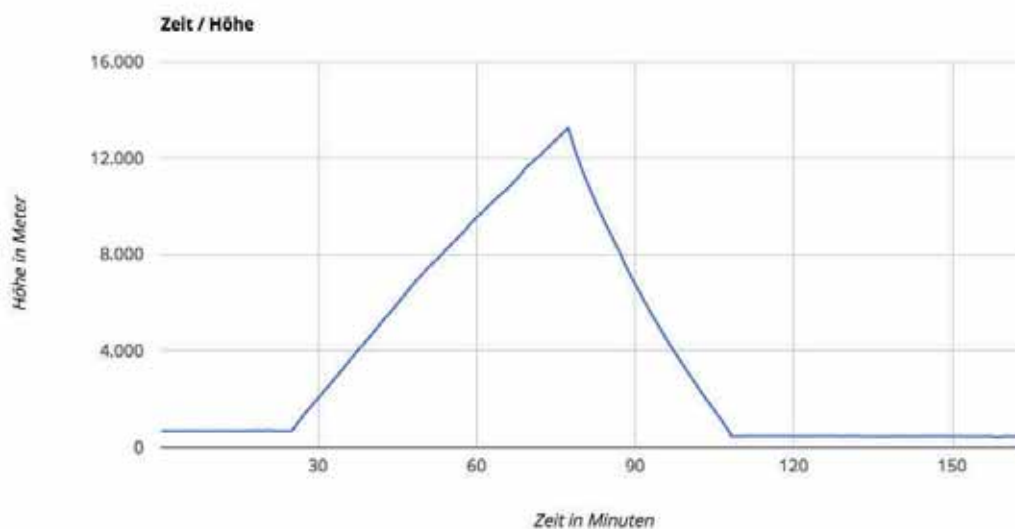


Abb.15: Zeit/Höhe Diagramm

Als die Nutzlast die 13 *km* Höhe erreicht hatte, sendeten wir den Code und erhielten den Bestätigungsmorsecode. Das nächste APRS-Signal zeigte das erfolgreiche Ausklinken. Die Nutzlast verlor deutlich an Höhe (vgl. Abb.14). Die Maximalhöhe betrug 13242 *m*.¹¹

¹¹ Stratoflights: Datenlogger Auswertung, <https://www.stratoflights.com/tutorial/datenlogger-auswertung/>

Also berechneten wir den momentan voraussagbaren Landeort der Nutzlast und begaben uns in die Nähe davon. Nach kurzer Zeit ist die Nutzlast mit Fallschirm in der Nähe, in einem Waldgebiet gelandet. In mehreren Teams versuchten wir an verschiedenen Stellen in den Wald zu kommen. Schließlich hat es ein Team geschafft und konnte die Box bergen. Wie sich herausstellte, hatten wir Glück, dass diese nicht in den Bäumen gelandet ist, sondern leicht zugänglich auf Waldboden. Nach der Bergung öffneten wir die Box, um die Sensoren auszuschalten und die Stromversorgung zu kappen. Wir sicherten die drei SD-Karten von den Sensoren, dem Datenlogger und der Kamera. Die Styroporbox und der gesamte Inhalt waren bei der Ladung vollständig erhalten geblieben. Beim Auslesen der SD-Karten konnten wir feststellen, dass die Sensoren, der Datenlogger und selbst die Kamera durchgehend Daten gesammelt und aufgezeichnet haben. Der Start, der Flug, das Ausklinken, das Wiederauffinden und das Auswerten hat daher ohne Probleme funktioniert, womit unser Projekt ein voller Erfolg war.

Unser Projekt ist dahingehend besonders, dass wir es geschafft haben, etwas zu entwickeln, mit dem wir aufgrund verschiedener Ursachen (z.B. drehende Winde, Gebirge) die Nutzlast noch vor dem Platzen des Ballons von diesem entkoppeln können.

6. Fazit und Ausblick

Wir konnten durch Daten, wie Höhe, Geschwindigkeit und Flugrichtung der Nutzlastkapsel, während dem Flug entscheiden, ob wir die Nutzlast länger fliegen lassen, sodass sie über Rosenheim fliegt, oder schon davor herablassen, um eine Stadtlandung zu vermeiden.

Da wir uns für letztere Variante entschieden, landete der Ballon in der Nähe von Bad Aibling, noch vor der Stadt Rosenheim und war somit abseits von Gefährdungen, wie z.B. dem Straßenverkehr oder Hochhäusern. Wir hatten von Anfang an vor, den Ausklinkmechanismus so zu gestalten, dass er leicht nachzubauen ist und somit auch Anwendung in zukünftigen Ballonprojekten finden kann. Auch mit unserem wiedergefundenen, voll funktionsfähigem Ausklinkmechanismus können weitere Projekte (z.B. an unserer Schule) durchgeführt werden.

Somit können z.B. auch Mini-Satelliten, die für Tests in eine bestimmte Höhe der Troposphäre oder Stratosphäre gebracht werden müssen, mit unserer Technik ab einer festgelegten Höhe fallen gelassen werden.

7. Quellenverzeichnis und Danksagung

7.1 Internetquellen

Wikipedia: Arduino®, [https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_\(Plattform\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_(Plattform)) (Stand: 15.9.2019)

Netzmafia: Servo-Ansteuerung mit Arduino®,
<http://www.netzmafia.de/skripten/hardware/Arduino/Servo/index.html> (Stand: 7.9.2019)

Wikipedia: DTMF-Töne,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfrequenzwahlverfahren> (Stand: 21.9.2019)

Wikipedia: Logikpegel, <https://de.wikipedia.org/wiki/Logikpegel> (Stand: 21.9.2019)

Firma Holtek: Datenblatt, DTMF-Decoder,
<https://www.holtek.com.tw/documents/10179/11842/9170v111.pdf> (Stand: 22.9.2019)

Funkberatung: Tiefpassfilter, <https://www.funkberatung.de/begriffe-und-bezeichnungen/q-bis-z/tiefpassfilter-funktechnik.html> (Stand: 28.9.2019)

Wikipedia: UHF-Band, <https://de.wikipedia.org/wiki/Dezimeterwelle> (Stand: 18.9.2019)

Stratoflights: Datenlogger Auswertung,
<https://www.stratoflights.com/tutorial/datenlogger-auswertung/>

7.2 Abbildungen

Abbildung 1: Simon Schießler , Julian Kurz: Ballonstart, Fotographie

Abbildung 2: Simon Schießler, Julian Kurz: Federmechanismus, Paint in Windows

Abbildung 3: Simon Schießler, Julian Kurz: Papp-Modelle, Fotographie

Abbildung 4: Simon Schießler, Julian Kurz: „Schlüsselschloss“-Prinzip, Paint in Windows

Abbildung 5: Simon Schießler, Julian Kurz: Ausklinkmodell, Paint in Windows

Abbildung 6: Simon Schießler, Julian Kurz: Holzkonstruktion und Schleppkupp-
lung, Paint in Windows

Abbildung 7: Holtek, Datenblatt von HT9170D, Pegeltabelle,
<https://www.holtek.com.tw/documents/10179/11842/9170v111.pdf>

Abbildung 8: Rolf Dieter, Klein: Oszilloskop-Messung mit/ohne Tiefpassfilter,
bearbeitete Fotographie

Abbildung 9: Simon Schießler, Julian Kurz: Hauptplatine, Fotographie

Abbildung 10: Rolf Dieter, Klein: Arduino®-Skript, Servo-Software, 1. Teil

Abbildung 11: Rolf Dieter, Klein: Arduino®-Skript, Servo-Software, 2. Teil

Abbildung 12: Simon Schießler, Julian Kurz: Neukonstruierte Teil-Platine, Foto-
graphie

Abbildung 13: Simon Schießler, Julian Kurz: Befestigung des Verbindungsseils,
Paint in Windows

Abbildung 14: Datenlogger Auswertung, Zeit/Innentemperatur Diagramm, Stra-
toflights, <https://www.stratoflights.com/tutorial/datenlogger-auswertung/>

Abbildung 15: Datenlogger Auswertung, Zeit/Höhe Diagramm, Stratoflights,
<https://www.stratoflights.com/tutorial/datenlogger-auswertung/>

7.3 Danksagung

Einen herzlichen Dank wollen wir an alle richten, die zur Durchführung dieses Projektes beigetragen haben und die uns bei Aufbau und Organisation geholfen haben.

Ein besonderer Dank gilt Rolf Dieter Klein, der uns von Anfang an tatkräftig unterstützt hat und den Aufbau der Technik und Software geleitet hat.

Durch seine Ideen, wie die Befestigung der Fallschirmschnur, und die Möglichkeiten, die er uns gegeben hat, wie z.B. 3D-Drucken, konnte das Projekt überhaupt erst zu Stande kommen.

Ihm haben wir auch die Erfahrung zu verdanken, die wir im wissenschaftlichen Bereich der Elektronik und Informatik in seinem Labor gesammelt haben, und dadurch auch handwerkliche Arbeiten, wie das Löten, ausprobieren konnten.

Zudem wollen wir Xaver Fischer danken.

Er konstruierte für uns die Sendetechnik -in einer sehr knappen Zeitspanne- komplett neu, und ermöglichte somit einen Start innerhalb der geplanten Starttermine.

Außerdem half er uns bei den Klimatests bei Kathrein und bei der Suche nach Fehlern in der Elektronik, um diese zu beheben.

Durch Xaver Fischer lernten wir auch Dennis Willigmann kennen, dem wir auch sehr herzlich danken möchten, da er uns als Mitarbeiter bei Kathrein die Kältekammern für Kältetests zur Verfügung stellte und bei Funk-Tests mitgeholfen hat.

Recht herzlich im Dank miteinbegriffen ist auch Klaus Puppe, der uns seit Beginn an bei der Organisation und Ideenentwicklung unterstützte.

Ihm haben wir auch die Grundidee des geplanten Herabfallens der Nutzlast zu verdanken. Zudem half er uns bei vielen Tests, stellte uns eine Werkstatt in der Bundespolizei zur Verfügung und half am Starttag bei Transport und Bergung.

Seine Erfahrungen im Bereich der Heliumballone war für uns am Starttag sehr hilfreich.

Ein weiterer Dank geht an Michael Geissler, der eng mit Rolf Dieter Klein zusammenarbeitet und so auch bei ihm im Labor mithalf. Außerdem half er uns bei der Organisation, wie der Aktivierung des GPS-Trackers und bei Besorgungen, wie z.B. dem Ballongas.

Auch möchten wir Allen Danken, die uns auch durch kleinere Beiträge geholfen haben, sowie dem Amateurfunkverein Rosenheim, bei dessen Besprechungen wir oft dabei sein durften und somit Ideen und Kontakte erhalten haben.



Seminararbeit

Erklärung der eigenständigen Erstellung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers/der Verfasserin