

Justus-Liebig-Universität
Gießen

**Studienprojekt zum Thema
„Stratosphärenballon“**

Start am 18.05.2022

Bericht von:
Bauer Viktoria

Betreuer: Sören Lange

Abgabe am 08.09.2022

Gliederung

1. Einleitung
2. Physikalische Aspekte des Projekts
 - 2.1 Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre
 - 2.2 Wieso ein Ballon fliegt
3. Aufbau Sonde
 - 3.1 Die Inhalte der Sonde
 - 3.2 Unsere Subsysteme im Bezug auf die Struktur der Sonde
 - 3.2.1 Subsystem Biologie- Projekt
 - 3.2.2 Subsystem Elektronik
 - 3.2.3 Subsystem Zero-Gravity Experiment
4. Theorien für Gestaltung der Sonde
 - 4.1 Modelle für möglichen Aufbau der Sonde
 - 4.2 Endgültige Entscheidung
5. Organisatorisches
 - 5.1 Anforderungen an den Start
 - 5.2 Technische Daten unserer Sonde und des Ballons
 - 5.3 Antrag an die Deutsche Flugsicherung
 - 5.4 Antrag an das Regierungspräsidium Kassel
6. Vorbereitungen des Starts
 - 6.1 Heliumrechner
 - 6.2 Flugroutenberechner
7. Start und Fazit
8. Anhang
9. Quellenverzeichnis

1. Einleitung

Schon immer war der Himmel für die Menschen von großem Interesse. Egal ob der Traum vom Fliegen, wie ein Vogel oder das Verlangen danach, zu wissen was da oben alles ist. Aus diesem Grund hat man bereits sehr früh die ersten Methoden gefunden, um den Himmel zu erkunden.

Nach Legenden wurden die ersten Heißluftballone bereits im 2./ 3. Jahrhundert nach Christus in China erfunden. Diese Ballone, welche heute noch als Kong- Ming-Laternen bekannt sind und verwendet werden, bestanden aus einem einfachen Papierballon und einer Kerze, welche die Luft für den Aufstieg erhitzt. Allerdings konnte man das Prinzip nicht auf größere Ballons anwenden und somit stellte es keine sinnvolle Möglichkeit für bemannte Raumfahrt dar.

Viele Jahre später, nach unzähligen neuen Modellen und Probeflügen, die anfänglich mit Tieren durchgeführt wurden, kam es 1783 zum ersten dokumentierten bemannten Ballonflug in Europa. Der Traum vom Fliegen hatte sich also erfüllt. Allerdings war die Aufstiegshöhe der Heißluftballone sehr begrenzt, weshalb das Verlangen, noch weiter in den Himmel hinauf zu kommen, weiter bestehen blieb.

Erst ab Ende des 19. Jahrhunderts wurden Ballone eingesetzt, um in höhere atmosphärische Schichten vorzudringen und unsere Atmosphäre zu erkunden. So konnte mit Hilfe von mehreren Ballonflügen bereits 1911 kosmische Strahlung nachgewiesen werden.

Inzwischen werden Wetterballons, welche in Höhen von 30- 35 Kilometern fliegen, täglich genutzt. Beliebt als kleine Forschungsprojekte und als fester Bestandteil der Wettervorhersagen, werden in der heutigen Zeit jeden Tag mehrere hundert Ballons gestartet und deren Daten ausgewertet.

So haben auch wir es uns als Ziel gesetzt einen sogenannten leichten, unbemannten Freiballon zu starten. An Bord der Sonde sollen sich verschiedene Sensoren, darunter ein Geigerzähler, sowie ein Myonen-Detektor befinden. Die Vorbereitungen liefen von der Ideensuche bis zum letzten Handgriff über 9 Monate und letztendlich fand der Start am 18. Mai 2022 statt.

2. Physikalische Aspekte des Projekts

2.1 Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre

Unser Planet wird, so wie viele andere Himmelskörper auch, von einer Atmosphäre umhüllt. Deren Zusammensetzung ist dabei sehr individuell und für jeden Planeten unterschiedlich. Selbst innerhalb der Atmosphäre eines einzelnen Planeten gibt es große Unterschiede im Verhältnis der einzelnen Teilchen zueinander.

Als Erdatmosphäre wird die gesamte gasförmige Hülle um die Erde, bis zu einer Höhe von etwa 10 000 Kilometern bezeichnet. Im Gesamten besteht sie zu ca. 78% aus Stickstoff, zu 20% aus Sauerstoff und zu weniger als einem Prozent aus Edelgasen, wie zum Beispiel Helium. Der Rest setzt sich zusammen aus sogenannten Spurengasen, zu denen Kohlenstoffdioxid oder Methan gehören. Die Erdatmosphäre wird in fünf Hauptschichten unterteilt: Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre, Thermosphäre und Exosphäre.

Die erdnächste Schicht, die Troposphäre, reicht im Schnitt etwa bis zu einer Höhe von 10-12 Kilometern und wird durch die Tropopause begrenzt. Diese liegt, abhängig von der geografischen Breite und der dort herrschenden Jahreszeit zwischen 8 und 18 Kilometern Höhe. Die Troposphäre enthält ca. 80% der gesamten Atmosphärenmasse und beinahe 100% des Wasserdampfes. Außerdem spielen sich in ihren unteren Bereichen sämtliche Wetterphänomene ab. Im Gesamten herrscht hier eine mittlere stetige Temperaturabnahme mit steigender Höhe.

Die nächste Schicht, die Stratosphäre, wird durch die Stratopause in einer Höhe von ca. 50 Kilometern abgegrenzt. Auffällig ist hier der außergewöhnliche Temperaturverlauf, der auf den überdurchschnittlich großen Anteil an Ozon zurückzuführen ist. Im Mittel sinkt die Temperatur mit steigender Höhe zwar langsam ab, ab einer Höhe von etwa 20 Kilometern kommt es aber zu erheblichen lokalen Temperaturanstiegen aufgrund von Sonneneinstrahlung. Die Stratosphäre enthält im Bereich zwischen 15 und 30 Kilometern Höhe etwa 90% des gesamten atmosphärischen Ozons. Das Ozon absorbiert aus der Sonneneinstrahlung die UV-Strahlung und wandelt diese elektromagnetische Strahlung in Wärmeenergie um (Siehe Abb.). Das sorgt dafür, dass vor allem im Bereich der Ozonschicht dieser

Effekt sehr ausgeprägt ist und die Atmosphäre dort von Minusgraden auf knapp 0°C aufgeheizt wird.

Die Stratosphäre ist außerdem ein beliebtes Forschungsziel und kann ohne größere Probleme auch für kleine Forschungsprojekte erreicht werden.

Die Mesosphäre bezeichnet die nächste Schicht, welche bis zur Mesopause in ca 80 Kilometern Höhe reicht. Hier verglühen meist einfallende Meteore oder Staubteile und bilden sich als Sternschnuppen in unserem Himmel ab. Außerdem bilden sich hier über den Polarkappen polarlicht-artige Leuchtende Nachtwolken durch Ansammlungen von Eisteilchen. Im Gebiet der Mesosphäre sinkt die Temperatur erneut bis auf -90°C ab.

Die Thermosphäre reicht bis zur Thermopause in etwa 800 Kilometern Höhe. Hierzu gibt es allerdings viele stark abweichende Definitionen, sodass nach anderen Aussagen die Thermosphäre bereits bei etwa 400 Kilometern in die Exosphäre übergeht. Ihr Temperaturspektrum reicht von 300- 1700°C, abhängig von Tag und Nacht bzw. der Sonneneinstrahlung. Die Thermosphäre ist ein beliebtes Ziel für

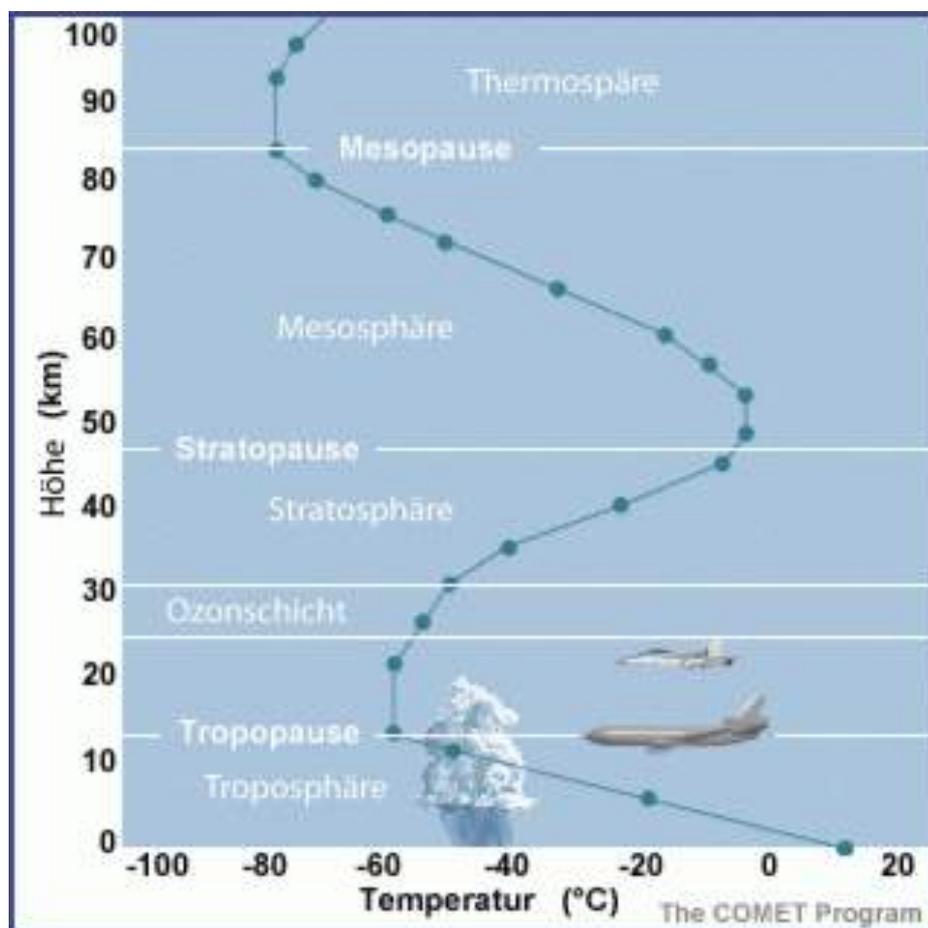


Abbildung 1: Temperaturverlauf in der Atmosphäre¹

Raumfahrtmissionen und beherbergt eine große Anzahl an Satelliten, sowie auch die Internationale Raumstation.

Die angrenzende Exosphäre gilt als Übergang zum interplanetaren Raum. Als äußere Grenze wird ein Wert von ca 10 000 Kilometern Höhe angenommen, wobei im äußeren Bereich die Gasmoleküle nicht mehr fest an das Gravitationsfeld der Erde gebunden sind.

Die oberen atmosphärischen Schichten, beginnend ab der Mesopause, werden zur Ionosphäre zusammengefasst. Diese Bezeichnung stammt von der besonders hohen Ionisierung der Luft bzw. der sehr hohen dort herrschenden Strahlung ab. Tatsächlich wird diese Eigenschaft der Ionosphäre auf der Erde genutzt und beispielsweise für den weltweiten Funkverkehr eingesetzt. Hierbei werden Funkwellen bestimmter Frequenzen an der Ionosphäre reflektiert und über weite Distanzen verbreitet.

Mit steigender Höhe in der Atmosphäre sinkt die Luftdichte. Wie bereits zuvor beschrieben und in der Abbildung dargestellt, befindet sich über 90% der Masse der Atmosphäre unter einer Höhe von 20 Kilometern.

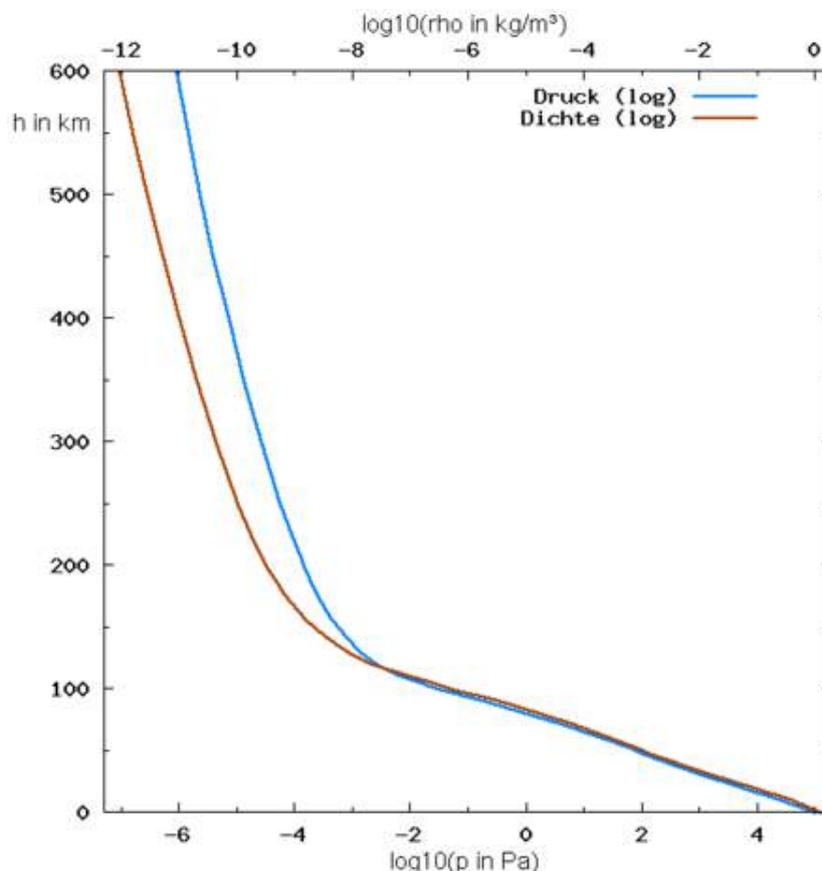
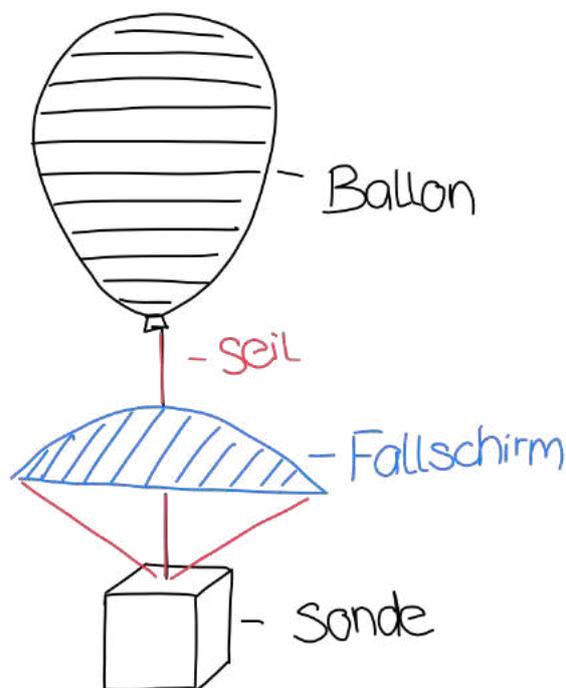


Abbildung 2: Verlauf von Luftdichte und Luftdruck²

2.2 Wieso der Ballon fliegt

Nachdem die physikalischen Aspekte der Atmosphäre bereits aufgeführt wurden, ist es nun wichtig zu verstehen, welche Voraussetzungen existieren, damit der Ballon fliegt.

Wir planen, unsere Sonde mit Hilfe eines großen Ballons aus einem Naturkautschuk-Latex Gemisch in eine erwartete Höhe von 36 000 Metern zu tragen. Der Ballon ist durch ein spezielles Seil mit einem Fallschirm und der Sonde verbunden (siehe Skizze 1).



Skizze 1: Aufbau

Generell wird ein Stratosphärenballon mit Wasserstoff, Helium oder speziellem Ballongas gefüllt. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften, die im Vergleich zu den anderen Stoffen sehr viel ungefährlicher sind, wird in den meisten Fällen, so wie auch bei uns Helium genutzt. Dieses ist weniger explosiv, als Wasserstoff und günstiger, als Ballongas.

Aufgrund der geringen Dichte des Heliums von nur $0,1785 \frac{kg}{m^3}$ im Vergleich zur Dichte der Luft auf Meeresspiegelhöhe von etwa $1,204 \frac{kg}{m^3}$ steigt der Ballon auf.

Welche Höhe der Ballon erreicht ist dabei abhängig von seiner Größe, des Volumens des eingefüllten Heliums und des Gewichts der Sonde. Die genaue Berechnung kann durch die Verwendung des in Kapitel 6.1 vorgestellten Heliumrechners ersetzt werden.

Da der Luftdruck (siehe Abbildung 2) mit steigender Höhe abnimmt, dehnt sich das Helium aus und sorgt für ein Ausdehnen des Ballons. Im Laufe des Aufstiegs mit einer Geschwindigkeit von 4-5 m/s expandiert der Ballon um das 10- bis 12- fache seiner ursprünglichen Größe, bis er schließlich mit einem Durchmesser von etwa 11,1 Metern explodiert und die Sonde in freiem Fall zur Erde zurück kommt.

In der Phase des freien Falls herrscht für einige Zeit Schwerelosigkeit im Inneren der Sonde, bis sie schließlich durch den Fallschirm abgebremst wird. Damit der Fallschirm die Sonde ausreichend abbremsen kann, ist hier ebenfalls eine Mindestgröße zu beachten. Die benötigte Fläche des Fallschirms lässt sich durch eine einfache Formel berechnen:

$$A = \frac{2 \cdot m \cdot g}{c_w \cdot \rho_L \cdot v^2}$$

Wobei m die Gesamtmasse des Aufbaus, ρ_L die Luftdichte an der Erdoberfläche, g die durchschnittliche Fallbeschleunigung von $9,81 \frac{m}{s^2}$ und c_w der Widerstandsbeiwert (hier angenommen als $c_w = 0,6$ als Wert für Gleitschirme) ist.

Um unter einer Geschwindigkeit von $5 \frac{m}{s}$ zu bleiben, ist somit eine Fläche von etwa $3,5 m^2$ notwendig.

Das entspricht nach der Formel der Kreisfläche $A = r^2 \cdot \pi$ einem Durchmesser von ca 2 Metern.

Der tatsächlich benutzte Fallschirm hat einen Durchmesser von 130 cm.

Mit Temperaturunterschieden von ca. 80 Grad Celsius, je nachdem in welcher Höhe und ob der Sonne zu- oder abgewandt, liegt eine andere Schwierigkeit darin, dass alle verwendeten Materialien und technischen Geräte auf entsprechend große Temperaturschwankungen ausgelegt sein müssen.

Nach Kapitel 2.1 kann man ohne Einbeziehen der Sonneneinstrahlung mit einer Temperatur zwischen -60 und 20 Grad Celsius rechnen. Diese starken Temperaturänderungen finden während des freien Falls in nur wenigen Minuten statt.

3. Aufbau der Sonde

3.1 Die Inhalte der Sonde

Die Wichtigkeit der Struktur der Sonde ist nicht zu unterschätzen. Sie beherbergt alle Subsysteme während des Fluges und soll eine sichere Landung garantieren.

Es gibt bei unserem Projekt verschiedene Faktoren zu beachten:

1. Die Elektronik benötigt eine gewisse Temperatur, damit alles funktioniert und sich die Akkus nicht entladen.
2. Die Sporen benötigen direkte UV-Licht-Einstrahlung, damit die Ergebnisse optimal sind. Außerdem sollte die Temperatur im richtigen Rahmen sein.
3. (Das Zero-Gravity Experiment benötigt genug Platz für die Kamera und Bildfläche.)

Zusätzlich zu den hier aufgeführten und in die Entwürfe mit einbezogen Subsystemen, fanden ein Geigerzähler, sowie ein Myonendetektor in unserer Sonde Platz. Da dies aber erst nach Fertigstellung dieses Kapitels feststand, sind diese hier nicht enthalten.

3.2 Unsere Subsysteme im Bezug auf die Struktur der Sonde

3.2.1 Subsystem Biologie- Projekt

Die ausgewählten Sporen sollen auf verschiedene Eigenschaften, wie zum Beispiel ihre UV-Empfindlichkeit untersucht werden.

Dazu ist zu beachten, dass das Sondenmaterial nicht UV-durchlässig ist. Deshalb haben wir einen speziellen Kunststoff besorgt, den wir in die Sondenwand integriert haben.

(Es werden zwei Verschiedene Sporen an Bord sein. Ein Teil wird auf Plättchen der direkten UV-Strahlung ausgesetzt. Der Rest wird in Petrischalen im inneren der Sonde untergebracht. Da die Petrischalen nicht unbedingt bruchstabil sind, werden diese sicherheitshalber in einem Schwamm gepolstert.)

Außerdem muss die Sonde an den Kanten, an denen das Kunststoff eingebaut wurde, ausreichend isoliert werden, damit die Bakterien nicht durch die niedrigen Temperaturen beeinflusst werden.

3.2.2 Subsystem Elektronik

Die verschiedenen Sensoren werden als Anwendung auf mehreren Raspberry Pis verwendet. Da dieser sehr temperaturunempfindlich ist, muss diesbezüglich nichts zusätzlich beachtet werden.

Es werden verschiedene Sensoren verwendet, wie zum Beispiel ein Geigerzähler, ein UV-Sensor und andere Sensor-Boards.

Außerdem wird ein GPS Tracker und Möglichkeiten zur Kommunikation dabei sein. Was es hier zu beachten gibt, ist, dass alles über Akkus mit Strom versorgt wird, die sich bei zu geringen Temperaturen entladen. Aus diesem Grund sollte der Bereich, in dem sich die Elektronik befindet, geheizt bzw. sehr gut isoliert werden. Zusätzlich zu den Akkus werden kleine Solarzellen an der Sonde angebracht, um zusätzlichen Strom zu produzieren.

Es wird außerdem eine Kamera an Board sein, die nach außen filmt, um den Flug aufzunehmen.

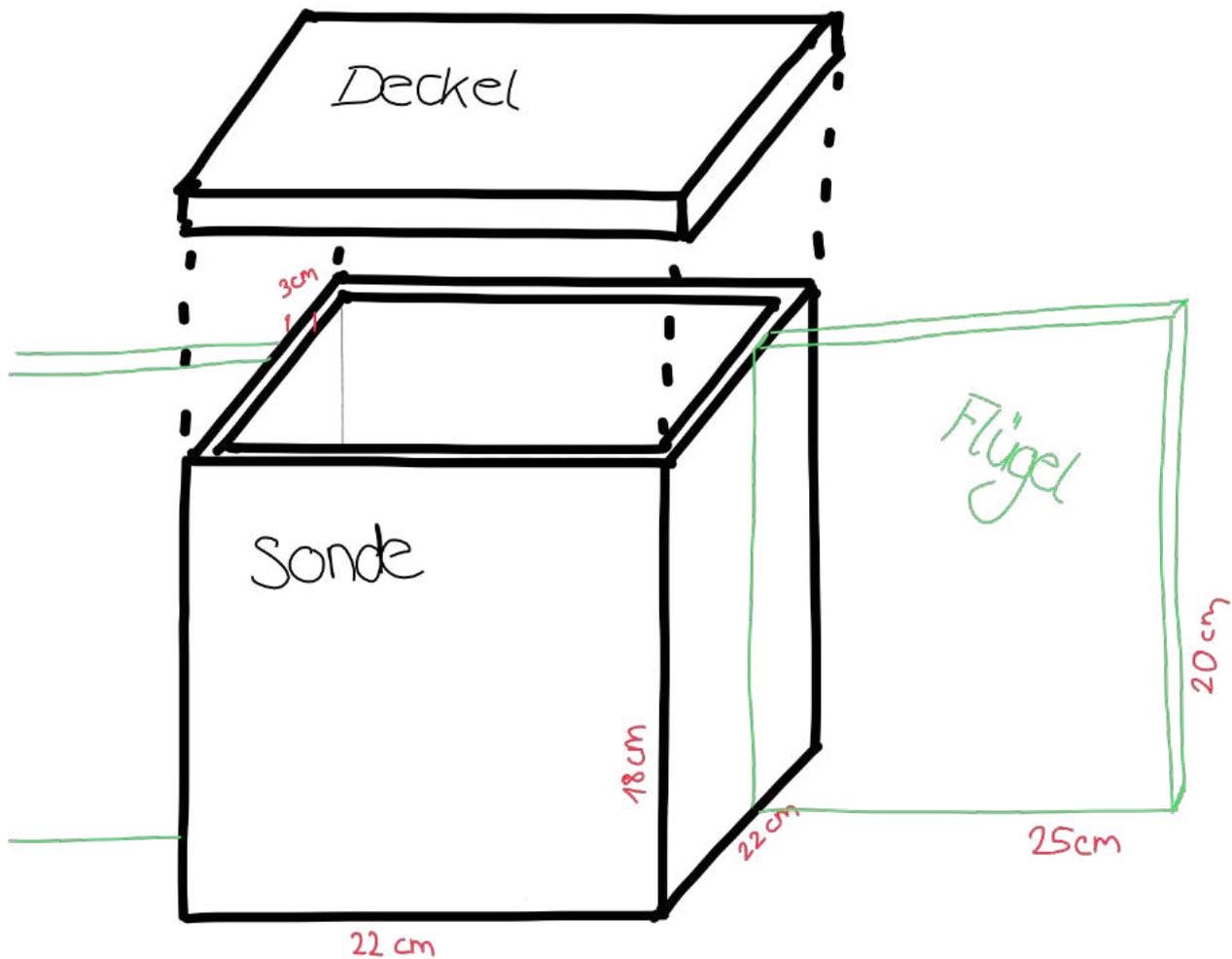
3.2.3 Subsystem Zero-Gravity Experiment

Hier sollte ein einfaches Projekt in die Sonde integriert werden, um die Zeit der Schwerelosigkeit auszunutzen. Da sich aber weiter keiner darum gekümmert hat, wurde dieser Teil des Projektes rausgestrichen.

4. Theorien für Gestaltung der Sonde

4.1 Modelle für möglichen Aufbau der Sonde

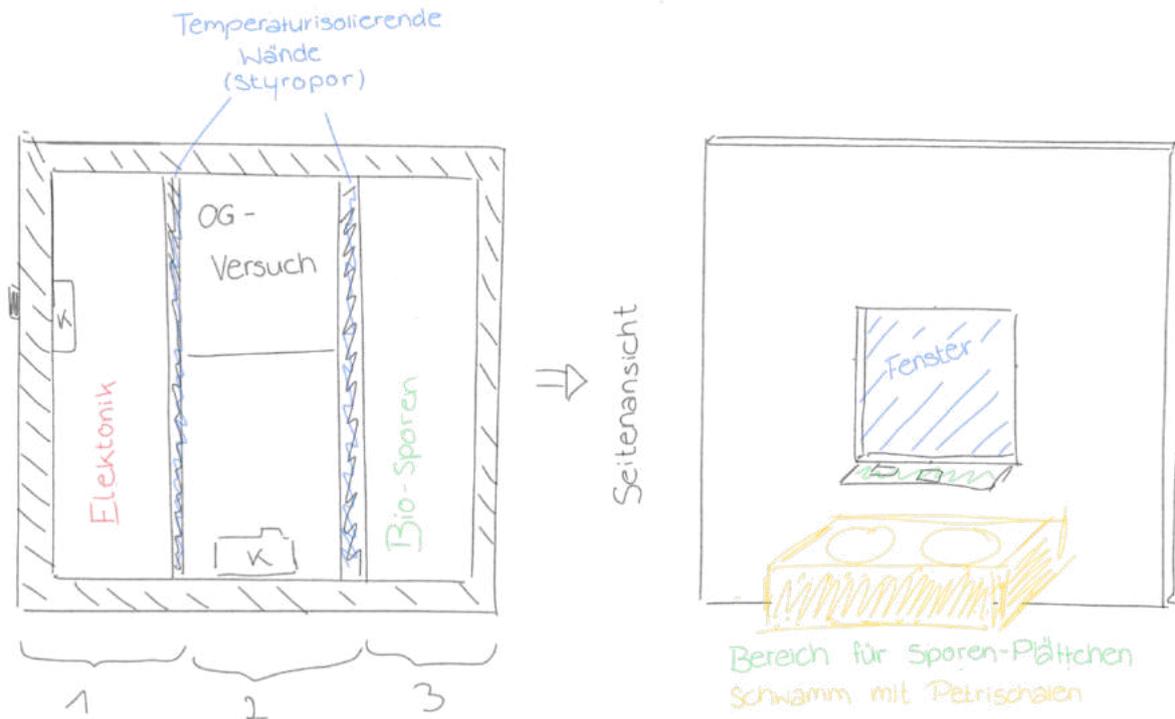
Genereller Aufbau und Maße:



Skizze 2: Maße der Sonde

Unter Beachtung aller Faktoren, können wir diese Sonde nun verschieden füllen und alle Subsysteme mit ihren Besonderheiten unterbringen.

1. Modell:



Skizze 3: 1. Modell der Sonde

Hierbei ist wichtig zu beachten, dass in den verschiedenen Bereichen verschiedene Temperaturen herrschen sollen. Im Bereich 1 sollten wir eventuell mit Hilfe von Taschenwärmern o.ä. die Temperatur in einem für die Elektronik passablem Rahmen halten.

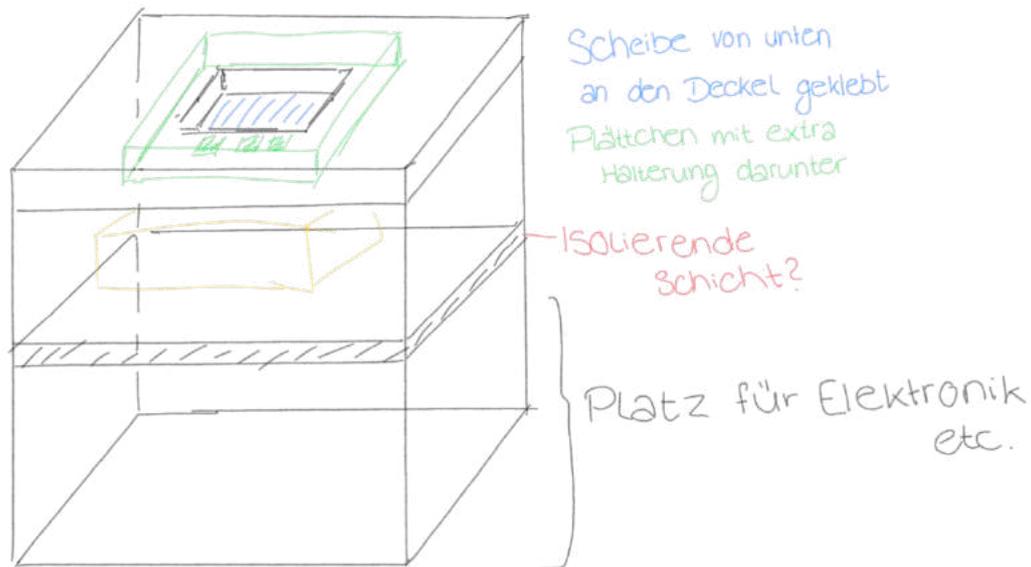
In Bereich 2 gelten keine besonderen Anforderungen an die Temperatur.

In Bereich 3 sollten die Temperaturen möglichst nicht den Außentemperaturen entsprechen, was aber durch Isolierung des Fensters minimiert werden kann.

Nachteile:

Da sich die Sonde dauerhaft drehen kann/ wird, ist die konstante UV-Strahlung auf die Sporen nicht gegeben. Ein größeres Fenster ist aus Isolierungs- und Stabilitätsgründen nicht empfohlen. Lösung?

2. Modell: Idee: Fenster im Deckel der Sonde



Skizze 4: 2. Modell der Sonde

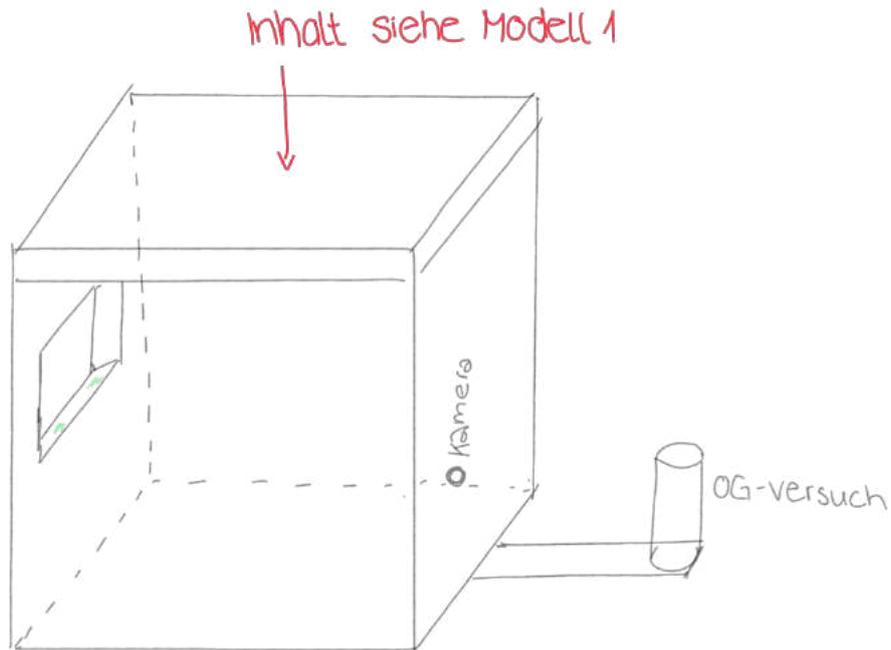
Bei dieser Version haben wir bessere bzw. dauerhafte UV-Einstrahlung auf die Sporenplättchen. Die Elektronik wäre komplett getrennt vom Rest und könnte gut temperiert werden.

Nachteile:

Das Zero- Gravity Projekt wäre durch die isolierende Platte in ihrer Höhe beschränkt.

Außerdem bestehen Bedenken, ob der Deckel der Sonde stabil genug bleibt, da sich die Befestigungen für den Ballon und den Fallschirm am Deckel befinden. Ort der Befestigungen ändern?

3. Modell: oG- Experiment außerhalb der Sonde



Skizze 5: 3. Modell der Sonde

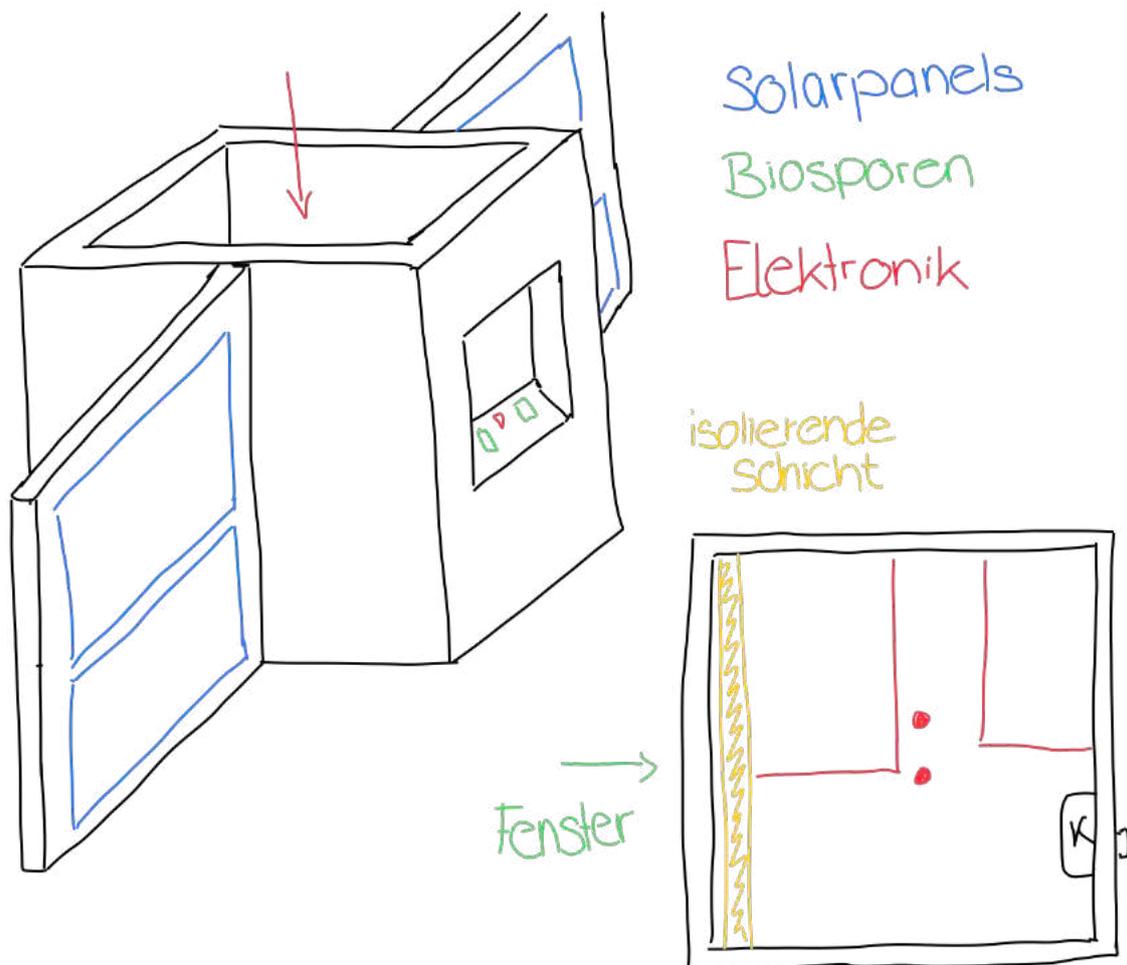
Diese Möglichkeit wäre sinnvoll gewesen, falls ein Zero- Gravity Projekt integriert worden wäre. Es hätte für mehr Platz im Inneren der Sonde gesorgt und so zumindest platzmäßig nicht gestört.

4.2 Endgültige Entscheidung

Da das Zero- Gravity Experiment nicht weiter verfolgt wurde, hat sich die endgültige Planung etwas vereinfacht. Es ist nun nicht notwendig, viel Platz für das Experiment freizuhalten oder zusätzliche Dinge zu beachten.

Schlussendlich haben wir eine praktische Lösung gefunden, alles in die Sonde zu integrieren und zu isolieren.

Im folgenden befinden sich Skizzen des finalen Modells und in Anhang 8.1 zugehörige Fotos. Durch das Austauschen und Entfernen der „Füße“ und alter Klebereste, haben wir versucht das Gewicht der Sonde ohne Inhalte zu minimieren. Tatsächlich konnten wir so etwa 100 Gramm einsparen.



Skizze 6: Endgültiges Modell

5. Organisatorisches

5.1 Anforderungen an den Start

Für den Start eines Stratosphärenballons gibt es ebenso ein paar wichtige organisatorische Dinge zu beachten. Dies betrifft den Startort, genauso wie das Wetter, oder die genaue Uhrzeit.

Beispielsweise ist es notwendig, eine Genehmigung des Grundstücksbesitzers einzuholen, von dessen Grundstück aus der Start erfolgen soll. Ebenso muss mit der deutschen Flugsicherung abgeklärt werden, ob der Startort in einem Gebiet, nahe einem Flughafen liegt und dementsprechend der Luftraum für den Start gesperrt werden muss. In diesem Fall würde die Flugsicherung einen genauen Zeitslot zuweisen, an dem der Start durchgeführt werden kann. Ist es in diesem Zeitraum, aus welchen Gründen auch immer, nicht möglich, den Start durchzuführen, muss ein neuer Zeitraum beantragt werden.

Hat man diese Genehmigung der Flugsicherung und eine abgeschlossene Versicherung, kann man einen Antrag an das jeweilige Präsidium des Landes stellen, damit dieses den Start endgültig genehmigt.

Ob der Start letztlich stattfinden kann, entscheidet sich erst am Tag des Starts selbst, wenn man die Wetterverhältnisse kennt. Für den Start muss mindestens 50% des Himmels wolkenfrei sein, sonst muss dieser auf einen anderen Tag verschoben werden.

5.2 Technische Daten der Sonde und des Ballons

Im folgenden wird ein Gesamtüberblick über die (technischen) Daten rund um den Ballon und die Sonde gegeben:

Tabelle 1: Technische Daten des Ballons³

Eigengewicht	1600 Gramm
Maximale Nutzlast	1600 Gramm
Füllmenge bei maximaler Nutzlast	4400 Litern
Durchschnittliche Platzhöhe	36 000 Meter
Durchschnittlicher Platzdurchmesser	11,1 Meter
Länge Ventil	15 Zentimeter
Durchmesser Ventil	8 Zentimeter
Farbe	Weiß
Empfohlene Aufstiegs geschwindigkeit	4 - 5 Meter/ Sekunde
Material	Naturkautschuk- Latex- Gemisch
Hersteller	Stratoflights GmbH & Co. KG

Die oben angegebenen Werte wurden zum großen Teil für den Antrag für die Aufstiegs genehmigung benötigt.

Der am meisten verbreitete Hersteller für Stratosphärenballons im deutschen Raum ist die Firma Stratoflights GmbH & Co. KG. Sie vertreiben vollständige Sets, die alles für einen Aufstieg notwendige enthalten. Zudem bieten sie eine große Vielfalt an Hilfestellungen und nützliche Tipps für einen gelungenen Start.

Sie haben Ballons in verschiedenen Größen, beginnend bei einem Eigen- und Nutzlastgewicht von 200 Gramm, im Sortiment, wobei Die größte Variante, mit einem Eigen- und maximalem Nutzlastgewicht von 3000 Gramm, sogar eine Flughöhe von bis zu 40 000 Metern erreichen kann.

Unser Ballon mit den oben beschriebenen Eigenschaften zählt unter die Kategorie der leichten unbemannten Freiballone und für ihn gelten im Vergleich zu anderen, größeren Modellen lockerere Regelungen, beispielsweise bezüglich der Aufstiegs genehmigung.

5.3 Antrag an die Deutschen Flugsicherung

Um die erste Genehmigung der deutschen Flugsicherung (DFS) zu bekommen, gibt es die Möglichkeit auf deren Webseite ein Kontaktformular auszufüllen. Es wird anschließend geprüft, ob sich der angegebene Startort in ausreichender Entfernung zu den nächsten Flughäfen befindet und er somit nicht in einer Flugplatzkontrollzone liegt. Dazu existiert eine Karte, die das Land durch verschiedene Farben in verschiedene Zonen unterteilt.

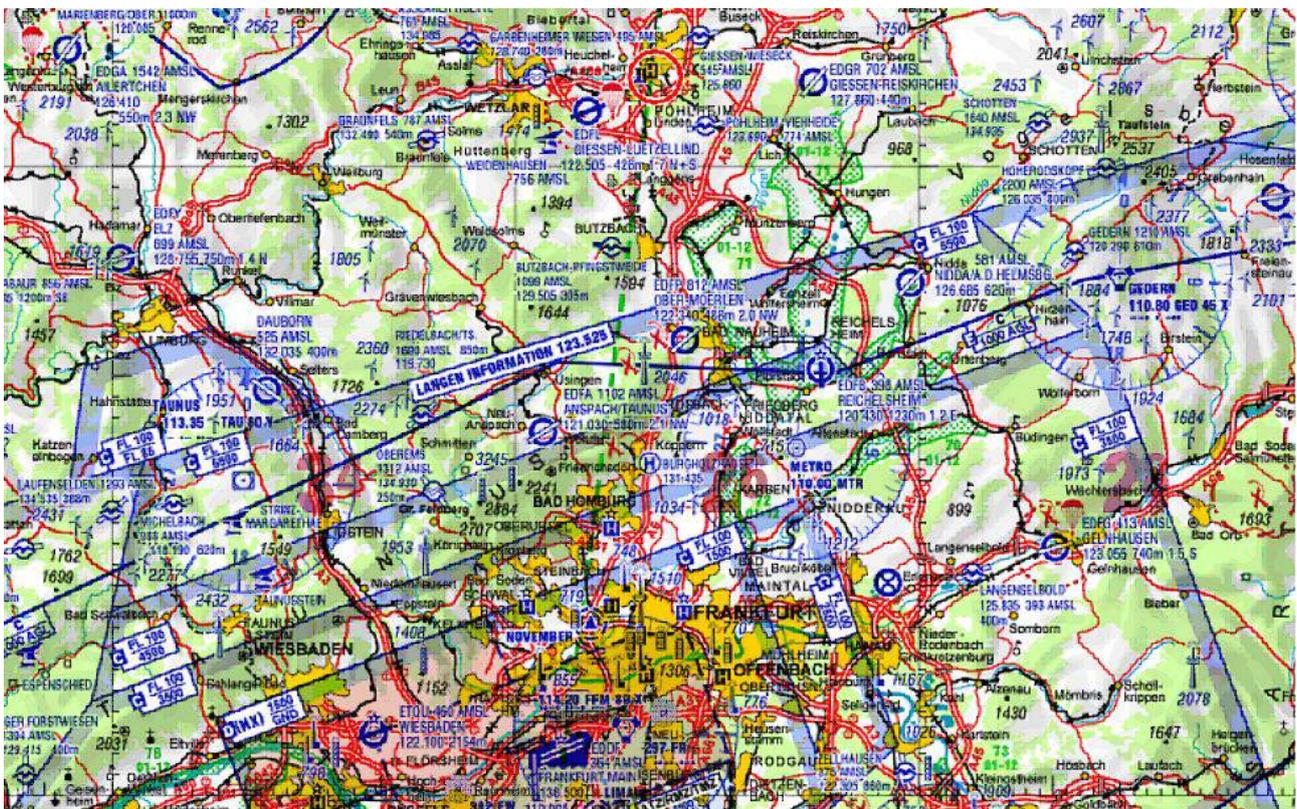


Abbildung 3: Karte für Flugplatzkontrollzonen⁴

In obiger Abbildung ist unser Startort Gießen mit einem roten Kreis markiert. Die Flugplatzkontrollzone des Frankfurter Flughafens ist in rosa gefärbt. Somit befindet sich Gießen weit außerhalb der Reichweite und es muss für unseren leichten Freiballon keine Flugverkehrskontrollfreigabe eingeholt, sowie keine Navigationswarnung herausgegeben werden.

Für mittelschwere Freiballone hingegen, wird immer eine Aufstiegs Erlaubnis der DFS benötigt. Diese werden allerdings aktuell aus verschiedenen Gründen (nicht genauer bekannt) nicht erteilt.

5.4 Antrag an das Regierungspräsidium Kassel

Der Antrag an das zuständige Regierungspräsidium stellte sich als etwas aufwendiger heraus, als der erste Antrag. Zusätzlich zu den 4 Seiten des Formulars, wird eine Genehmigung des Grundstücksbesitzers, eine Luftbildaufnahme des Startortes, sowie die Genehmigung der Deutschen Flugsicherung verlangt. Außerdem werden hier bereits genaue Daten der Sonde, des Ballons und der Versicherung gefordert. Dieser Antrag soll spätestens 12 Tage vor geplantem Start eingereicht werden.

Das ausgefüllte Antragsformular befindet sich im Anhang 8.2, auf die Zusätze möchte ich hier einmal kurz eingehen.

Bezüglich der Genehmigung des Grundstücksbesitzers gab es nicht viel zu klären, da unser gewählter Startort am Campus der Universität, öffentlicher Raum ist und man im öffentlichen Raum keine Genehmigung benötigt. Da sich das Thema mit der Genehmigung der deutschen Flugsicherung ebenso bereits erledigt hatte, war also nur noch eine Luftbildaufnahme des Startortes notwendig.

Da nicht weiter präzisiert wurde, was auf den Aufnahmen zu sehen sein muss, habe ich mich für zwei Luftbildausschnitte entschieden, die den Campusbereich um die Physikalischen Institute bzw. Hörsäle zeigen. Die eingereichten Fotos sind in Abbildung 4 dargestellt.

Obwohl explizit empfohlen wird, die Anträge spätestens 12 Tage vor geplantem Start einzureichen, kam bereits am nächsten Tag die bestätigende Antwort inklusive Startgenehmigung, welche zusätzlich im Original per Post verschickt wurde.

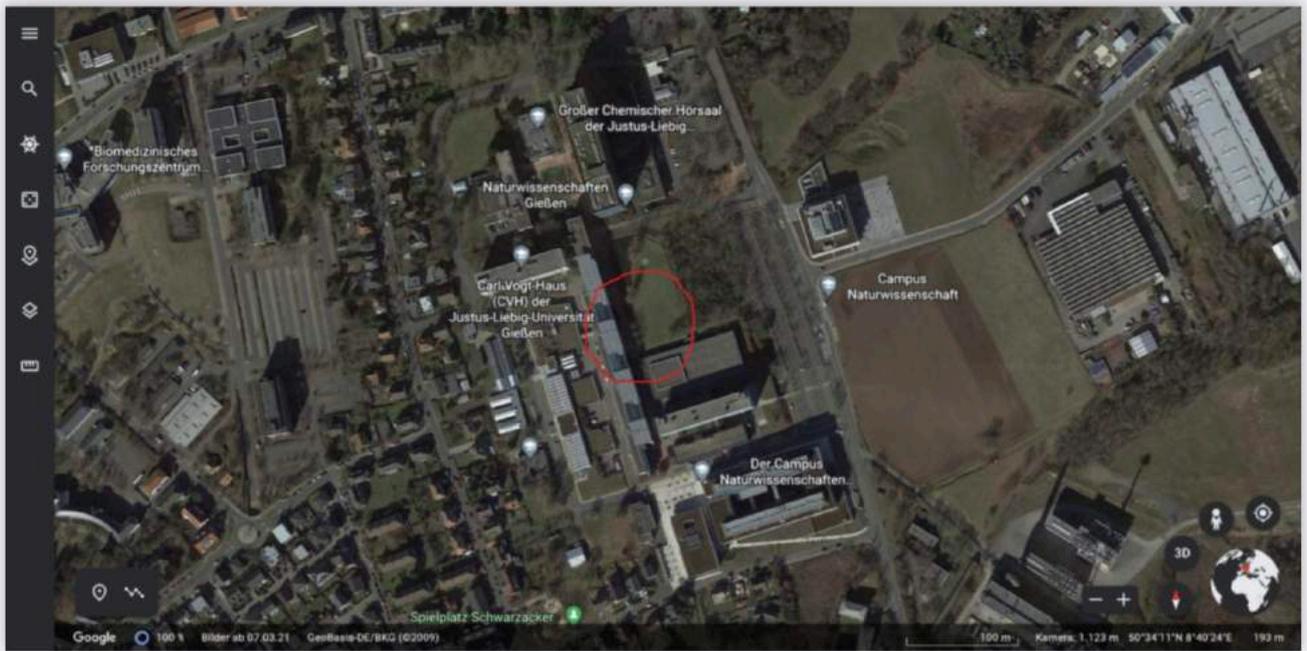
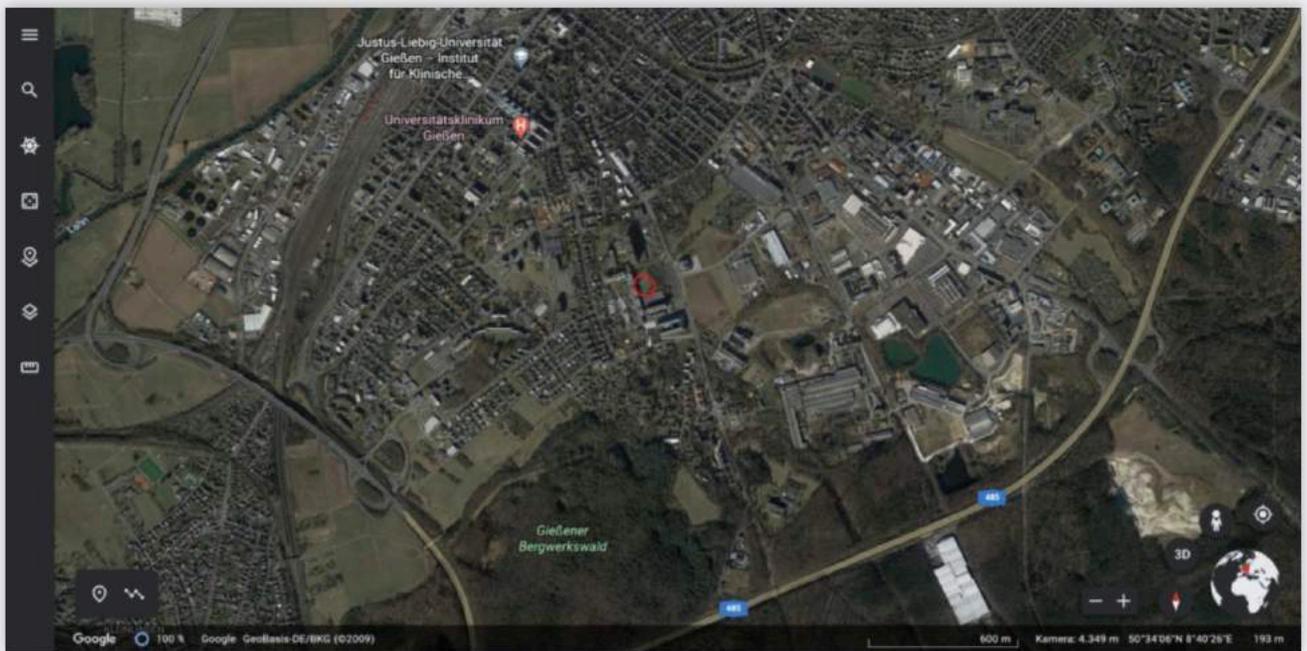


Abbildung 4: Luftbildaufnahmen des Campus Seltersberg⁵

6. Vorbereitungen des Starts

6.1 Heliumrechner

Viel Planung in der Vorbereitungsphase kann durch die Programme von „Stratoflights“ erleichtert werden. Sie bieten Tools für alle wichtigen, notwendigen Berechnungen, die vor dem Start noch durchgeführt werden mussten.

Eines dieser Tools ist der Heliumrechner. Mit ihm kann man ganz einfach die benötigte Menge an Helium für einen bestimmten Ballon berechnen. Als Variablen kann man hier die Aufstiegs geschwindigkeit, das Volumen der Gasflasche, sowie das Gewicht der Nutzlast angeben.

Anschließend bekommt man eine Liste mit einer ungefähren Platzhöhe, der Zeit bis zum Platzen, der Auftriebskraft, der Füllmenge und der Anzahl der benötigten Bar aus der ausgewählten Gasflasche.

In unserem Fall wollten wir eine Aufstiegs geschwindigkeit von etwa 4 m/s bei einer Nutzlast von 1600 g und einer 50 Liter Heliumflasche mit 200 Bar Fülldruck.

The image shows two parts of the Helium Rechner interface. On the left is the main input form, and on the right is a results overlay.

Helium Rechner

Flaschengröße: 50L Ballongas-Flasche

Traglast (g): 1600

Wetterballon: Wetterballon 1600

Aufstiegs geschwindigkeit (m/s): 4

Hinweis:
Die mit dem Helium Rechner berechneten Ergebnisse sind lediglich Näherungswerte und können durch den Einfluss weiterer Parameter von der Realität abweichen und bieten daher keine 100% Garantie auf Richtigkeit.
Weitere Informationen unter:
<https://github.com/cuspaceflight/cusf-burst-calc>

Gasmenge berechnen

Ergebnis

- Platzhöhe: 35.000 - 36.000 m
- Aufstiegs geschwindigkeit: 4.00 m/s
- Zeit bis zum Platzen: 153 min
- Auftriebskraft: 2331 g
- Füllmenge: 3855 L
- 86 Bar bei Verwendung einer 50L Gasflasche mit 200 Bar Fülldruck.

Es wird eine Flasche benötigt!

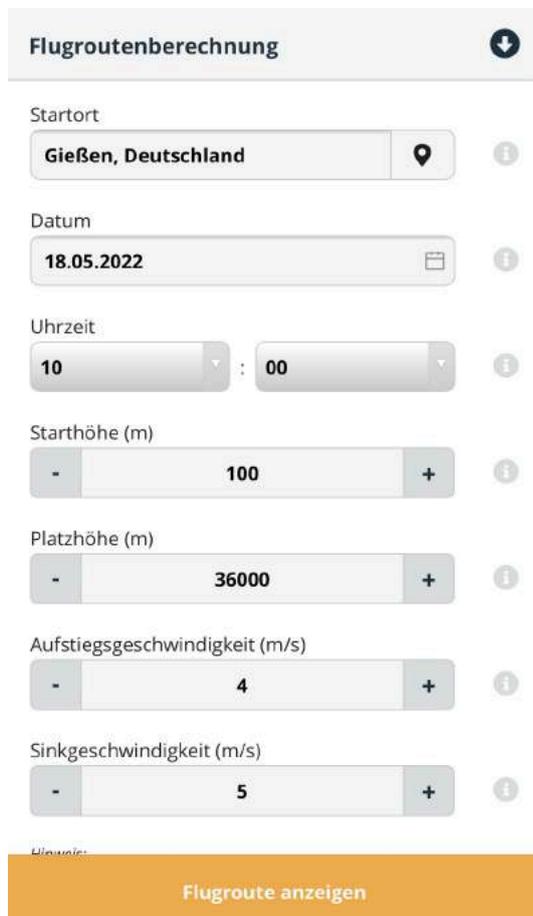
Abbildung 5 und 6: Heliumrechner⁶

6.2 Flugroutenberechner

Ein anderes sehr nützliches Tool ist der Flugroutenberechner. Hier kann man sämtliche Daten über den Aufstiegsort und -zeitpunkt angeben, um eine möglichst realistische Vorhersage über die Flugroute des Ballons zu bekommen.

Wenige Tage vor unserem geplanten Start bekamen wir hier eine Vorhersage, nach der unser Ballon sehr wahrscheinlich auf dem Gelände des Frankfurter Flughafens gelandet wäre. Nach Rücksprache mit der Flugsicherung wäre dies allerdings kein Problem gewesen und wir hätten trotzdem bedenkenlos starten dürfen, da es für dieses Szenario keine offiziellen Regelungen gibt.

Glücklicherweise veränderte sich die Prognose im Laufe der Tage noch etwas, sodass der geplante Landeort zum Zeitpunkt des Starts in der Nähe von Nidderau/Altenstadt lag.



The image shows a web-based form titled "Flugroutenberechnung". It contains several input fields for flight parameters:

- Startort:** Gießen, Deutschland
- Datum:** 18.05.2022
- Uhrzeit:** 10 : 00
- Starthöhe (m):** 100
- Platzhöhe (m):** 36000
- Aufstiegsgeschwindigkeit (m/s):** 4
- Sinkgeschwindigkeit (m/s):** 5

At the bottom of the form is a large orange button labeled "Flugroute anzeigen".

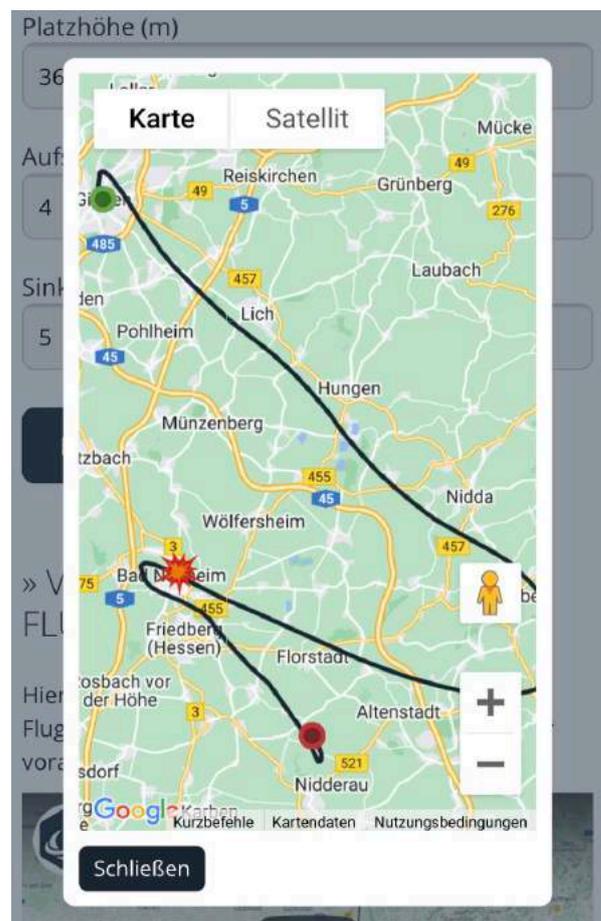


Abbildung 7 und 8: Flugroutenberechner⁷

7. Start und Fazit

Die Vorbereitungen und der Start selbst liefen nach Plan ab.

Nach kurzen Komplikationen mit einem Baum, konnte der Ballon seine Reise in die Stratosphäre wie geplant, wenn auch mit nur einem Flügel, beginnen. Er stieg geschätzt etwas langsamer auf, als geplant, was aber für uns keine große Rolle spielte. Die verschiedenen Methoden zur Kommunikation funktionierten und wir waren sehr zuversichtlich, den Ballon in wenigen Stunden wieder in den Händen zu halten. Ab einer gewissen Höhe wurde der Funkkontakt abgebrochen und der GPS-Tracker konnte, wie geplant, nicht mehr erreicht werden.

Planmäßig sollte der Ballon etwa 2 bis 2,5 Stunden nach dem Start wieder bei einer entsprechenden Höhe angekommen sein, um den Kontakt wieder herstellen zu können, worauf wir allerdings vergebens warteten. Mit laufender Zeit wurde die Wahrscheinlichkeit, doch noch einen Kontakt herzustellen immer geringer und nach einigen Stunden die Suche nach dem Ballon abgebrochen.

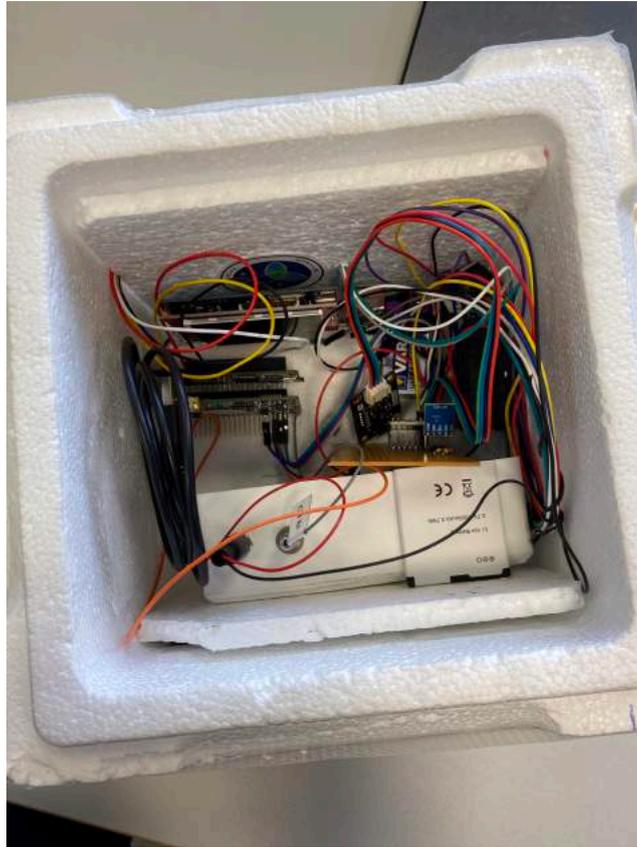
Leider ist dieser Sonden-Start nicht wie gewünscht ausgegangen. Allerdings muss man bei einem derartigen Projekt immer damit rechnen, den Ballon und die Sonde zu verlieren. Es gibt viele äußere Einflüsse, welche die Flugroute eines Ballons beeinflussen können, wie die Temperatur, der Luftdruck oder vor allem die unterschiedlich gerichteten Winde. Wetterprognosen und Flugroutenberechnungen sind leider sehr sensible Werte, die bei kleinsten Änderungen der Anfangsbedingungen ein ganz anderes Ergebnis bringen.

Außerdem kann ein Fehler beim Einfüllen des Heliums nicht ausgeschlossen werden. Wäre dies der Fall und der Ballon wäre mit einer zu geringen Menge an Helium gefüllt worden, hätte das dafür sorgen können, dass der Ballon nie die gewünschte Flughöhe erreicht und demnach anderen Windströmungen ausgesetzt sein können, als in der Routenberechnung berücksichtigt. Das selbe gilt für einen Fehler beim Verschließen des Ballons, was dazu geführt hätte, dass der Ballon Helium verliert und nicht die gewünschte Flughöhe erreicht.

Mit einem erneuten Start einen Ballons versuchen wir, Bestätigung zu bekommen, ob unsere Elektronik funktioniert, sowie die Antwort auf unsere Bakterienfrage zu bekommen.

8. Anhang

8.1 Fotos des finalen Entwurfes



8.2 Antrag an das Regierungspräsidium

Regierungspräsidium Kassel



Regierungspräsidium Kassel
 Dezernat 22 – Verkehr
 Am Alten Stadtschloss 1
 34117 Kassel

Antrag auf Erteilung einer einzelnen Aufstiegserlaubnis für Freiballone im Bundesland Hessen (Gemäß § 20 Abs. 1 Nr. 6 Luftverkehrs-Ordnung)

1. Antragsteller

Natürliche Person:
Bauer Viktoria 03.10.2001, Traunstein
(Name, Vorname) (Geburtsdatum, Geburtsort)

Anschrift:
 Straße, Nr.:
 PLZ:
 Ort:
 Telefon:
 e-mail:

Juristische Person:
Justus-Liebig-Universität Gießen KdöR
(Name der Firma) (Rechtsform)

Anschrift:
 Straße, Nr.: Heinrich-Buff-Ring 16
 PLZ: 35392
 Ort: Gießen
 Telefon:
 e-mail: soeren.lange@exp2.physik.uni-giessen.de
 Name, Vorname des Vertretungsberechtigten:
 Lange, Prof. Dr. Jens Sören

2. Angaben zur Haftpflichtversicherung

(§§ 37 Abs. 1a), 43 LuftVG i.V.m. §§ 101 ff. LuftVZO, Versicherungsschein ist beizufügen!
 Name der Versicherung: Siegfried Peschke KG, Allianz Global Corporate & Specialty SE
 Versicherungsnehmer: JLU Gießen, II. Physikalisches Institut (Subatomare Physik)
 Versicherungsnummer: ILU/PE/570/300 2160
 Deckungssumme: 5.000.000
 Vertragsdauer: 18.05.2022/ 00:00 Uhr - 18.06.2022/ 24:00 Uhr

4. Angaben zum Zweck des Aufstieges

Beschreibung des Zwecks:
 Universitäre Forschung im Rahmen eines Studienprojektes zur Stratosphärenforschung.

Aufstiegsort:
 Straße, Nr.: Heinrich-Buff-Ring 14 PLZ, Aufstiegsort: 35392, Gießen
 oder Gemarkung: Flur/Flurstück:
 Koordinaten des Aufstiegsortes (in Grad/Min./Sek. nach WGS 84):
 N 50° 34' 11.838 E 8° 40' 24.618
 Aufstieghöhe: 36.000 m Aufstiegsdatum: 18.05.2022
 Flugdauer: 3,5 h Uhrzeit: zwischen 11- 15 Uhr

5. Erforderliche Antragsunterlagen

- Luftbild in dem das Start- und Landegelande eingezeichnet ist;
- schriftliche Zustimmung des Grundstückseigentümers bzw. sonstigen Verfügungsberechtigten;
- innerhalb von naturschutzrechtlichen Schutzgebieten: Gestattung bzw. Unbedenklichkeitsbescheinigung der zuständigen Naturschutzbehörde;
- Flugverkehrskontrollfreigabe der DFS.

6. Erklärung der Antragstellerin/des Antragstellers auf Genehmigung

Hiermit erkläre ich, dass durch die beantragte Nutzung des Luftraums datenschutzrechtliche Bestimmungen nicht verletzt werden. Die beantragte Nutzung dient nicht der gezielten Beobachtung und/oder Aufzeichnung von Personen bzw. es liegt eine schriftliche Einwilligung der betreffenden Person vor. Weiterhin versichere ich, dass ich die o.g. Angaben wahrheitsgemäß gemacht habe.

Zugleich beantrage ich die Aufstiegserlaubnis für einen unbemannten Freiballon entsprechend den obigen Angaben.

Gießen, 05.12.2022 V. Bauer
 Ort, Datum, Unterschrift des Antragstellers

3. Angaben zum Freiballon

(§§ 27 Abs. 1a), 43 LuftVG i.V.m. §§ 101 ff. LuftVZO)

Klassifizierung gemäß Anlage 2 Ziffer 1.1 der DVO (EU) Nr. 923/2012 (SERA)

leicht mittel schwer

Bezeichnung:	Hersteller:
Wetterballon 1600	Stratoflights GmbH & Co. KG
Gesamtgewicht des Ballons:	Gesamtgewicht der Pakete:
1600g	1600
Gesamtlänge:	Sinkrate in Sekunden:
bis zu ca. 12 m	3,73 m/s
Material des Ballons:	Farbe des Gespanns:
Naturkautschuk-Latex Gemisch	Weiß
Anzahl der Nutzlastpakete:	Beschreibung der Nutzlast:
1	Styroporsonde
Fallschirmabsicherung:	Flächendichte:
ja	
Reißfestigkeit der Schnur:	Sicherung/Verpackung der Nutzlast:
ca. 130 N	Styroporsonde
Füllung des Ballons:	Durchmesser:
Helium	bis zu ca. 11m
Technische Besonderheiten:	

Kennzeichnung mit Namen und Anschrift in dauerhafter und feuerfester Beschriftung vorhanden: ja nein

GPS-Positionsbestimmung- und Aufzeichnungsgerät vorhanden: ja nein

Der vollständig ausgefüllte und unterschriebene Antrag inkl. Unterlagen ist mindestens **12 Werktage** vor der beabsichtigten Luftraumnutzung einzureichen. Alle Angaben und Antragsunterlagen sind zwingend erforderlich. Unvollständig eingereichte Anträge verhindern die weitere Bearbeitung.

Für die Erteilung der Einzelerlaubnis wird eine Gebühr erhoben, die den Aufwand der Verwaltung und die Bedeutung der Amtshandlung für den Antragsteller berücksichtigt, wobei gemäß Ziffer VI 16 des Gebührenverzeichnisses zur Kostenverordnung der Luftfahrtverwaltung (LuftKostV) ein Rahmen von 30 bis 500 EUR vorgegeben ist.

Reichen Sie bitte den unterschriebenen Antrag samt Anlagen vorzugsweise eingescannt in digitaler Form an folgende E-Mail-Adresse ein:

Jannik.Donner@rpk.hessen.de

9. Quellenverzeichnis

Abbildungen und Tabellen:

1. https://www.gerd-pfeffer.de/atm_strato.html
2. <https://www.wikiwand.com/de/Luftdichte>
3. <https://www.stratoflights.com/shop/wetterballon/>
4. Keine Angaben, Mail der Deutschen Flugsicherung
5. <https://www.google.de/maps/>
6. <https://www.stratoflights.com/tutorial/wetterballon-tools/helium-rechner/>
7. <https://www.stratoflights.com/tutorial/wetterballon-tools/flugroutenvorausberechnung/>

Sonstige Quellen:

1. <https://www.eskp.de/grundlagen/schadstoffe/atmosphaere-der-erde-935158/>
2. https://de.wikipedia.org/wiki/Ionosphäre#Nutzung_der_Ionosphäre
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ozonschicht>
4. <https://de.wikipedia.org/wiki/Wetterballon>
5. <https://www.planet-wissen.de/technik/luftfahrt/ballons/index.html>