

# **Jugend forscht – Arbeit**

Landeswettbewerb Niedersachsen 2018

Fachbereich Geo- und Raumwissenschaften

## **Eine Forschungsmission in der Stratosphäre**



*Eingereicht von:*

**Johannes Möller  
Simon Ortgies  
Kristof Remmers**

Betreuer:

Thomas Eberhardt  
Christoph Friedrich

**Cäcilien- und Wilhelmshaven**

## Inhalt

1. Motivation und Ziele des Projektes .....	1
2. Vorbereitungen zur Durchführung der Mission .....	1
2.1. Rahmenbedingungen .....	1
2.2. Sponsorsuche .....	1
2.3. Die Konstruktion der Nutzlast.....	1
2.3.1 Der Arduino-Logger.....	2
2.3.2 Das Programm.....	2
2.3.3 Das Zusammenbauen.....	3
3. Der Flugtag.....	3
4. Luftdruck und Höhe .....	4
4.1. Druck- und GPS-Höhenmessung .....	4
4.2. Unsere Formelherleitung zur Bestimmung der tatsächlichen Flughöhen.....	5
5. Auswertung unserer Temperaturmessung .....	7
5.1. Einleitung .....	7
5.2. Hypothesen.....	7
5.3. Gesamtverlauf der Temperatur.....	8
5.4. Temperaturverlauf.....	9
5.5. Fazit zum Temperaturverlauf .....	10
6. Auswertung der Luftfeuchtigkeitsmessungen .....	11
7. Wolkenhöhen am Flugtag .....	12
8. Radioaktive Strahlung .....	12
8.1 Einleitung .....	12
8.2 Kosmische Strahlung.....	13
8.3 Unsere Daten .....	13
9. Betrachtungen zu weiteren Sensoren.....	14
10. Fazit der Mission und Ausblick.....	14
11. Quellen .....	15

## 1. Motivation und Ziele des Projektes

Wetterballons mit Radiosonden werden schon seit vielen Jahren zur Wettervorhersage genutzt. Unsere kleine Gruppe, damals noch der Wahlpflichtkurs Informatik des Jahrganges 10, erfuhr erstmals durch einen Fernsehbeitrag von Jugendlichen, welche einen Wetterballon nutzen, um mit einer eigenen Nutzlast atemberaubende Bilder zu machen.

Wir stellten uns die Frage, ob wir mit einer eigenen „Weltraum-Mission“ verschiedenste Messwerte in der Stratosphäre sammeln können. Als unser Lehrer uns dann vom Schülerwettbewerb „StratoSat“ der LMU München erzählte, war schnell klar, dass wir uns bewerben wollten. So verfassten wir eine möglichst kreative Bewerbung mit einer Beschreibung unserer Ideen. Wir waren eine von zehn Schulen, welche von der Jury für den Wettbewerb ausgewählt wurden, und erhielten einige Basis-Bestandteile kostenlos zur Verfügung gestellt. Nun mussten wir Sponsoren finden, um Genehmigungen, Versicherung, weitere Sensoren sowie Kameras zu finanzieren. Die Sensoren mussten wir dann in eine eigens konstruierte Nutzlast integrieren.

Neben dem Testen unserer preiswerten Sensoren zur Aufnahme verschiedener Wetterdaten unter den in der Stratosphäre herrschenden extremen Bedingungen wollten wir auch die ionisierende Strahlung in der Höhe mithilfe eines Geiger-Müller-Zählrohrs messen.

Nach erfolgreicher Bergung der Nutzlast machten wir uns an die Arbeit, um das umfangreiche Datenmaterial auszuwerten und Zusammenhänge zwischen einzelnen Messgrößen aufzudecken.

## 2. Vorbereitungen zur Durchführung der Mission

### 2.1. Rahmenbedingungen

Unsere Vorbereitungen erstreckten sich über ungefähr ein halbes Jahr. Sie bestanden dabei aus drei großen Teilen: der Sponsorensuche, dem Einkauf/der Konstruktion unserer Nutzlast und der Einhaltung von rechtlichen Aspekten für einen Ballonstart.

Als Rahmen unseres Projektes galten die offenen Vorgaben des StratoSat-Wettbewerbes, durch welchen wir auch an die Thematik herangeführt wurden. Wir erhielten nach erfolgreicher Bewerbung unser kleines Starterset, auf dem wir aufbauen konnten und sollten. Dies bestand aus dem Ballon, dem Fallschirm, dem „StratoIno“ (ein simpler Datenlogger für GPS-Position, Temperatur innen, Temperatur außen, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck) und einer Styroporbox. Unsere Aufgabe und auch Intention war es nun, in Eigenregie Sponsoren zu suchen und eigene Ideen für Messungen umzusetzen. Zudem mussten wir uns auch um eine Genehmigung durch die Deutsche Flugsicherung und um eine Versicherung kümmern. Großen Spaß hat uns auch das Gestalten einer eigenen Website <https://strato-fische.jimdo.com/> gemacht, um unser Projekt leicht für jedermann zugänglich zu machen. Diese Webseite wurde von zahlreichen Besuchern genutzt, um die Entwicklung unseres Projektes zu verfolgen.

### 2.2. Sponsorensuche

Für die Finanzierung unseres Projektes war die Sponsorensuche essentiell. Uns wurde zwar eine Unterstützung durch die Schule angeboten und auch vom Veranstalter des bundesweiten Wettbewerbs „StratoSat“ erhielten wir ja bereits oben genannte wichtige Materialien, dennoch war uns klar, dass das nicht reichen würde.

So wandelten wir unser Bewerbungsexposé vom Wettbewerb in eine attraktive Kurzdarstellung unseres Projektes um und entwarfen ein Anschreiben und einen Flyer, um sie an mögliche 30 Sponsoren, alles ortsansässige Firmen, zu senden. Die Suche war zwar etwas zeitaufwendig, unsere Bemühungen wurden dann aber mit elf Sponsoren belohnt, von denen wir nicht nur knapp 1000 Euro zur freien Verwendung bekamen, sondern auch einige Sachmittel. Nach dem Projekt haben wir unseren Sponsoren als Dank einen Kalender und zwei DVDs mit unseren Flughighlights zukommen lassen. Wir erwarteten im Voraus, dass es ein Problem werden könnte, Ballongas zu beschaffen. Dies stellte sich zum Glück anders heraus, denn die ortsansässige Firma Linde machte uns nach einem speziell auf sie zugeschnittenen Sponsorenanschreiben ein gutes Angebot, welches wir sofort annahmen.

### 2.3. Die Konstruktion der Nutzlast

Einer der größten Aufgaben vor dem Start war die Konstruktion unserer Nutzlast. Für diese hatten wir, wie oben beschrieben, schon einige Startmaterialien erhalten. Allerdings hatten wir uns vorgenommen, neben dem schon

fertigen „StratoIno“ einen weiteren Datenlogger in unsere Box einzubauen, den wir selber bauten, programmierten und unter anderem mit einem Geiger-Müller Zählrohr ausstatteten. All die verschiedenen Kameras und Sensoren mussten dann auch noch in der Styroporbox untergebracht werden, um den ganzen Flug aufzuzeichnen.

### 2.3.1 Der Arduino-Logger

Als erstes machten wir uns an unseren eigenen Datenlogger. Hierfür nutzten wir als Grundplattform die „SenseBox“ des Instituts für Geoinformatik der Uni Münster. Dabei handelt es sich um einen Arduino Uno Microcontroller, der mithilfe eines Datenlogger-Shields und Low-Budget-Sensoren Umweltdatenmessung für Jedermann ermöglicht. Das Shield verbindet die Sensoren komfortabel mit dem Arduino und stellt einen Micro-SD-Karten-Slot zur Verfügung, sodass permanente Daten gespeichert werden können. An dem Datenlogger-Shield wurden unsere zusätzlichen Sensoren angeschlossen und an unserer Box befestigt. Drei davon außerhalb und einer innerhalb unserer Box: einen kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor, einen UV-Sensor und einen Helligkeitssensor brachten wir außen an und einen kombinierten Temperatur- und Luftdrucksensor platzierten wir innerhalb.

Im Vorlauf zu unserem Projekt waren wir auf der Suche nach originellen und interessanten Messungen in der Atmosphäre zu dem Entschluss gekommen, eine Messung der radioaktiven Zerfälle zu betreiben. Hierzu suchten wir nach einem mit dem Arduino kompatiblen Geiger-Müller-Zählrohr und entschieden uns für ein Arduino-Shield der spanischen Firma Libelium. Das Zählrohr selbst gibt an den Arduino nach jeder Ionisierung im Zählrohr einen Strom-Impuls ab, den das Programm registrieren kann. So kann durch das Aufzeichnen der Anzahl der Impulse pro Messzeitraum die Radioaktivität betrachtet werden.

Um die Sensebox von der reinen Messstation zur mobilen Messsonde umzufunktionieren und so den gemessenen Daten auch Kontext geben zu können, bauten wir zusätzlich zu den beiden Shields auch eine GPS-Antenne an unser Board. Diese Erweiterung wurde dadurch erschwert, dass nicht nur alle Pins des Arduino Uno bereits belegt waren, sondern auch der Programmspeicher bereits ausgereizt war. Daher stiegen wir auf den größeren Arduino Mega um, was beide Probleme gleichzeitig löste.

### 2.3.2 Das Programm

Selbstverständlich war es für den Erfolg unseres Loggers ebenfalls wichtig, wie wir ihn programmierten. Unser Programm musste die Daten lesen und dann auf der SD Karte abspeichern.

Zum Auslesen der Daten benutzten wir die zu den Sensoren dazugehörigen „Libraries“ (Bibliotheken). Bibliotheken erweitern die Möglichkeiten des Arduino-Codes, indem sie Funktionen vordefinieren und somit dem Programmierer anwendbare „Bausteine“ liefern. In unserem Fall gab es für alle Sensoren eine Bibliothek, wodurch wir zum Auslesen der Sensoren einen einfachen Befehl verwenden konnten. Das GPS konnten wir ebenfalls mithilfe einer Bibliothek auslesen. Alle Daten wurden dank einer Bibliothek auf der SD-Karte gespeichert. Allerdings wurde unser Code sehr schnell sehr fordernd für den Speicher des Arduinos, da alle verwendeten Bibliotheken in voller Größe mit dem Code zusammen auf dem Arduino gespeichert wurden, auch wenn wir nur eine Funktion aus der Bibliothek nutzten. Da wir schlussendlich allerdings den Arduino Mega nahmen, welcher ein Vielfaches an Speicher gegenüber dem Arduino Uno besitzt, stießen wir dadurch nicht längerfristig an Grenzen.

Zum Auslesen des Geiger-Müller-Zählrohres nutzten wir keine Bibliothek. Allerdings erwies sich dies als kein Problem, da das „Auslesen“ mehr ein Zählen ist. Der Code initialisiert das Zählrohr so, dass er auf eine Unterbrechung der Spannung wartet und beim Eintreffen dieses Ereignisses zu einer Variablen „1“ addiert.

Das GPS-Signal liest das Programm mithilfe eines Software-Serials aus. Dies benutzen wir, da die serielle Kommunikation über einen separaten UART-Chip abläuft (tatsächlich ist er integriert, das ändert aber sein Funktionsweise nicht) und einen Zwischenspeicher besitzt. Dadurch können Signale der Antenne „zwischenlagert“ werden, bis das Programm dazu kommt, diese zu speichern.

Das Auslesen und Speichern wird in einer Funktion zusammengefasst, welche bei jedem Programmzyklus neu aufgerufen wird. Die Funktion liest alle Daten aus und wandelt die Daten in Text um. Das ist notwendig, da die Daten im Auge des Programmes Zahlen oder Werte sind, welche in einer streng typisierten Programmiersprache wie dem hier genutzten C nicht einfach so in einem Textdokument gespeichert werden können. Alle zu einem gemeinsamen Zeitpunkt gemessenen Daten werden in einer Zeile im Textdokument gespeichert.

### 2.3.3 Das Zusammenbauen

Alle Sensoren und Boards mussten selbstverständlich auch in unserer Nutzlast verbaut werden. Hierbei erhielten wir vom Außerschulischen Lernort Wilhelmshaven Unterstützung durch Räumlichkeiten, Material und Know-How. Zum Beispiel konnten wir mit der Hilfe von Moritz Breiter, einem Fachlehrer im Fach Arbeit-Wirtschaft und Technik, vor Ort eine Fassung für unsere Sensoren als 3D-Modell entwerfen und mit einem 3D-Drucker herstellen. Für unsere Kameras bohrten wir passgenaue Fassungen sowohl im Boden als auch an den Seiten der Styroporbox, während wir die Boards mithilfe von Klebeband auf der Innenseite befestigten. Die Kabel der Sensoren führten wir durch ein kleines Loch nach innen und benutzten doppelseitiges Klebeband, um sowohl unsere 3D-gedruckte Sensorenfassung als auch die Sensoren des StratoInos an der Außenseite zu befestigen. Fallschirm, Ballon und Stabilisierungsflügel montierten wir erst kurz vor dem Start, um zuvor den Transport zu erleichtern.

## 3. Der Flugtag

Am Mittwoch, den 16. August 2017 um etwa 12:20 Uhr konnten wir unseren Ballon vom Banter-See-Park in Wilhelmshaven aus starten lassen. Zuvor hatten wir den Start an mehreren Tagen aufgrund nicht optimaler Wetterbedingungen insgesamt neunmal verschieben müssen. Der zehnte Versuch sollte dann endlich klappen.

Durch eine vorherige Simulation des Fluges fanden wir heraus, dass der Ballon in der Nähe von Heinbockel, einer kleinen Gemeinde nahe Hamburg, landen würde, also ca. 133 km vom Startort entfernt.



Nun war es endlich soweit und wir fingen an, den Ballon zu befüllen. Natürlich waren nicht nur der Lehrer, sondern auch wir Schüler sehr aufgeregt. Während der eine Teil der Gruppe den Ballon befüllte, kümmerte sich der andere Teil der Gruppe um das Zusammenbauen der Nutzlast und das Einschalten der Kameras und Sensoren. Um 12:20 Uhr war es dann soweit und wir starteten nach letzter Absprache mit den nahen Flughäfen unter Applaus unserer Schulgemeinschaft den Ballon.

Nachdem wir unsere sämtlichen Materialien in Ruhe eingesammelt hatten, machten wir uns auf den Weg in Richtung des von der Simulation prognostizierten Landepunktes. In dessen Nähe legten wir eine Mittagspause ein und warteten auf das erste GPS-Signal eines Trackers, welches wir ungefähr gegen 15:30 Uhr erhielten. An diesem Punkt angelangt mussten wir feststellen, dass sich der Punkt mitten in einem Maisfeld befand.

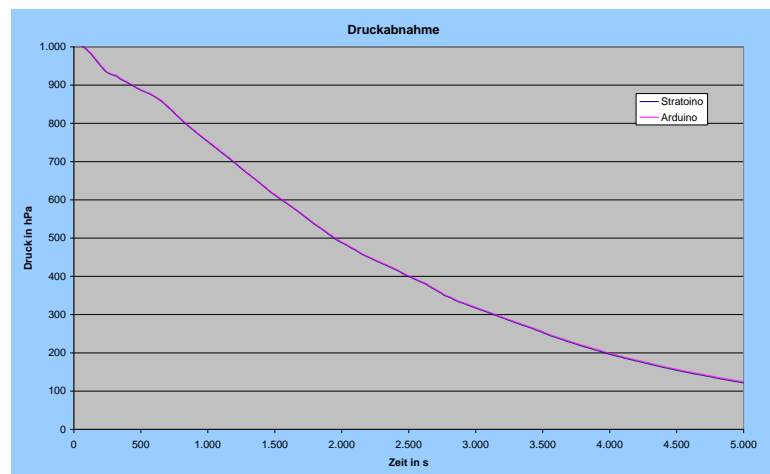
Nach einer vergeblichen Suche im und ums Maisfeld herum erhielten wir ein Signal unseres zweiten Trackers, welches einen Standort 40 Kilometer entfernt anzeigte. Als wir dort ankamen und in den dort vorhandenen Waldweg einbogen, konnten wir plötzlich unseren Augen nicht trauen, denn an einem Baum am Wegesrand hing ganz offensichtlich die Nutzlast – das Bergen war dann eigentlich nur noch Formsache. Da wir einen Geo-Cache-Profi in unserer Gruppe hatten, konnte dieser mit entsprechendem Werkzeug, und ohne etwas zu beschädigen, alles aus dem Baum holen. So machten wir uns dann voller Erleichterung gegen 20 Uhr auf den Weg nach Hause. Letztendlich war es uns nicht möglich, herauszufinden, warum der eine GPS-Tracker uns einen völlig falschen Ort meldete. Tests nach dem Flug stellten zudem heraus, dass er eigentlich immer noch funktionstüchtig ist.

## 4. Luftdruck und Höhe

### 4.1. Druck- und GPS-Höhenmessung

Die Drucksensoren sowohl des Stratoino als auch des Arduino (Sensebox) lieferten während des Aufstiegs durchgehend verlässliche, widerspruchsfreie Werte, wie im rechten Diagramm gut ersichtlich ist – die Graphen für beide Druckmesswerte liegen nahezu deckungsgleich übereinander, was für die Qualität der Sensor-Messwerte spricht.

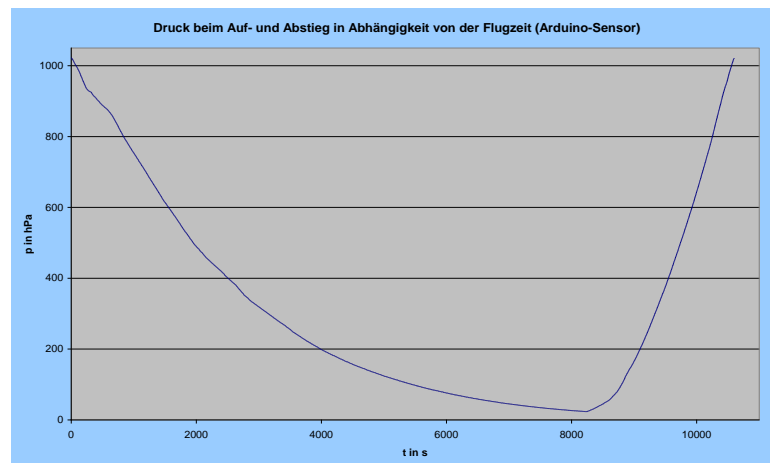
Bei einem Druck von 114hPa nach einer Flugzeit von gut 85min fiel dann der Drucksensor des Stratoino-Boards aus. Er lieferte danach nur noch den falschen konstanten Wert 681,3hPa.



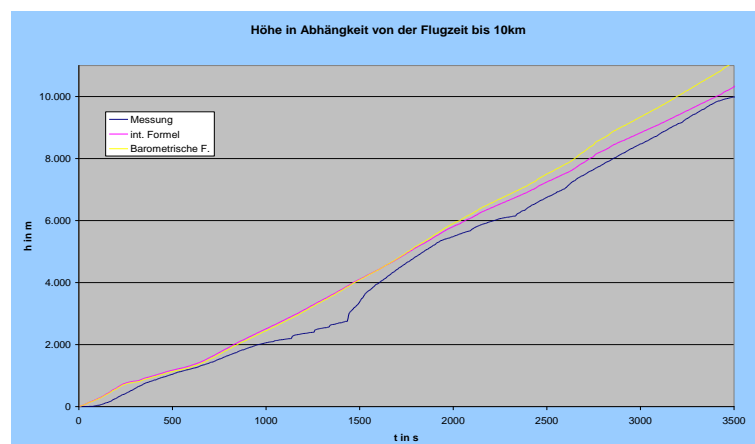
Der Drucksensor des SenseBox-Boards arbeitete zuverlässig weiter bis zur Bergung der Nutzlast, so dass wir über die gesamte Flugzeit über verlässliche Druckdaten verfügen.

Man erkennt deutlich die Phasen des Auf- und Abstieges mit den unterschiedlichen Steig- und Fallzeiten.

Der GPS-Höhenmesser arbeitete leider nicht so zuverlässig. Er schien etwas träge zu reagieren, und lieferte nach einer Flugzeit von 58min 37s mit einer Höhe von 9999,7m seinen letzten sinnvollen Messwert. Danach verharrte der Messwert bis zu einer Flugzeit von 158min bei diesem Wert, um dann beim Abstieg ab einer Höhe von 7965m wieder Werte anzuzeigen. Diese Werte sind aber fehlerhaft, da die angezeigte Endhöhe mit 1853m angegeben wurde, was natürlich nicht der tatsächlichen Fundhöhe entsprach.

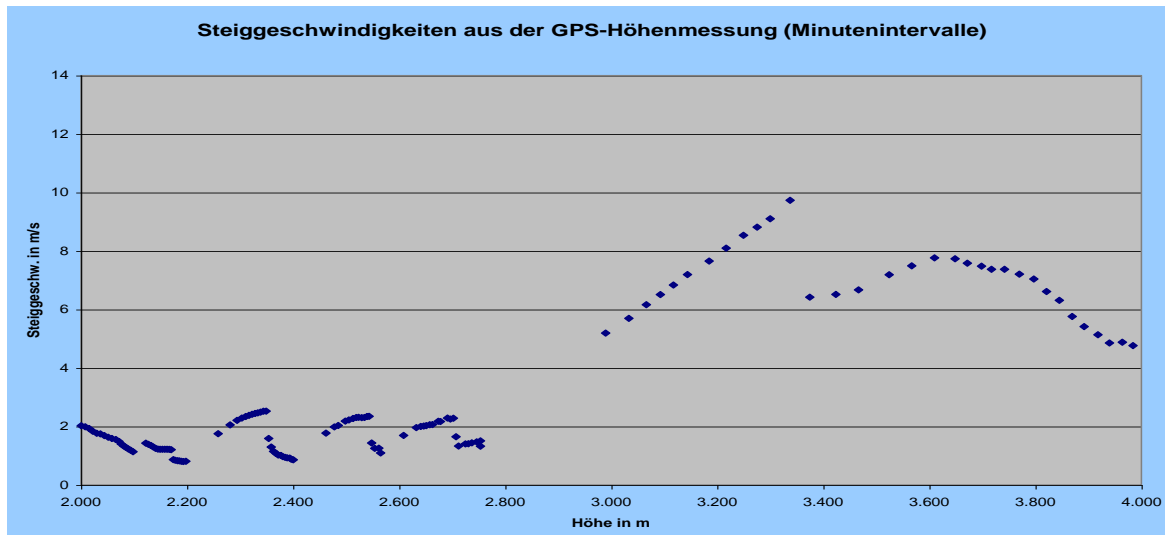


Im rechten Diagramm ist die zeitliche Entwicklung der Flughöhenwerte in der Aufstiegsphase bis 10.000m blau dargestellt. Bis zu dieser Höhe wurden nachvollziehbare Messwerte gewonnen, wobei ein Vergleich mit den Anzeigen des Drucksensors (aus ihnen ermittelten wir mit anerkannten Formeln die tatsächliche Flughöhe) zeigt, dass diese Werte in bestimmten Abschnitten fehlerhaft sind. Besonders im Bereich zwischen 2000m und 4000m Höhe sind die Werte der Höhenmessung anzuzweifeln. Das



Das bestätigen auch die berechneten Aufstiegsgeschwindigkeiten in diesem Abschnitt.

Im folgenden Diagramm sind die aus den Messwerten des Höhengensors errechneten Steiggeschwindigkeiten in dem angesprochenen fehlerhaften Intervall dargestellt:



In der Lücke zwischen 2800m und 3000m ergab sich sogar ein Wert von 47,2m/s, der unmöglich geherrscht haben kann. Ab 3800m ergaben sich wieder sinnvolle Werte der Steiggeschwindigkeit um 5m/s, was nachweist, dass es auch Intervalle gab, in denen der Höhensensor zuverlässig arbeitete. Da aber der Höhenmesser nur Werte bis 10km Höhe speicherte, hatten wir zunächst das Problem zu lösen, die Höhe zuverlässig festzustellen, um dann weitere korrekte Betrachtungen in Abhängigkeit von der Flughöhe anstellen zu können.

#### 4.2. Unsere Formelherleitung zur Bestimmung der tatsächlichen Flughöhen

Aus unseren korrekten Druckwerten mussten wir eine Formel finden, um daraus unsere tatsächlichen Flughöhen für die weiteren Auswertungen zu berechnen.

Bis zu einer Höhe von 10.000m war es eigentlich egal, welche der beiden etablierten Formeln man nutzen sollte, da sich die barometrische und die internationale Höhenformel nahezu nicht unterscheiden. Das Problem waren also vorwiegend die Höhen von mehr als 10.000m. Nach der barometrischen Höhenformel wären wir über 30km hoch geflogen, nach der internationalen aber nur ca. 22km. Da beide Formeln zu hohe Differenzen aufweisen, um unsere Höhe zu errechnen, galt es, einen anderen Weg zu finden. Die erste sinnvolle Idee war, einfach den Mittelwert beider Formeln zu bilden und diesen zu nutzen. Der Mittelwert für unsere maximale Flughöhe entspricht dabei ca. 26,5km, was nicht unrealistisch erschien. Diese Idee wurde aber schnell wieder verworfen, da ein eindeutiger Bezug zu einer der Formeln nicht begründbar wäre und auch in anderen Quellen immer wieder betont wird, dass die Formeln nur bis zur Tropopause genutzt werden sollten. Eine weitere Idee war, über die Steiggeschwindigkeit eine der beiden Formeln als falsch zu entlarven, was allerdings nicht gelang.

Nach umfangreichem Mailverkehr mit verschiedenen Wetterdiensten und Instituten (die meisten nutzen übrigens die Barometrische Höhenformel) erhielten wir schließlich einen Tipp, wo man zuordnende Messwerte zwischen Luftdruck und Höhen findet: Durch einen Kontakt mit der „University of Wyoming“, welche sämtliche Daten offizieller Wetterballonflüge weltweit sammelt, konnten wir auf eine Datenbank zugreifen, die für unseren Startzeitraum und unsere Region verlässliche Höhen- mit zugeordneten Druckwerten beinhaltete. (Quelle: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

Durch die Analyse dreier Radiosonden-Messungen von Stationen in Schleswig, Norderney und Bergen, die zur gleichen Zeit wie wir ihre Messungen durchführten, entwickelten wir die für unsere Druckverhältnisse optimale Formel. Um nun eine Formel aus den echten Messwerten zu bilden, war es notwendig, eine Regressionsanalyse durchzuführen. Da der Luftdruck bekanntermaßen von der Höhe exponentiell abhängt, war es logisch, für die Höhenberechnung als Umkehrfunktion eine logarithmische Regression zu verwenden.

Eine durchgehende logarithmische Regression der Daten lieferte keine allzu genaue Formel. Wir hatten durch den Vergleich mit den realen Daten eine objektive Möglichkeit, den prozentualen Fehler unserer Formel gut abzuschätzen. Bei allen Daten lieferte die Regression gerade im ersten Flugabschnitt Fehler, die um ein Vielfaches größer waren, als bei der bekannten barometrischen Höhenformel. Also beschlossen wir, bei der Formelfindung erst bei größeren Höhen zu beginnen und zuvor die bekannte Höhenformel zu nutzen. Durch Vergleich mit den realen Daten minimierten wir den Fehler durch systematisches Anpassen der Regressionsintervalle.

Selbst eine erste logarithmische Regression mit allen Messwerten aus dem Bereich der Stratosphäre lieferte bereits eine signifikant bessere Formel. Bei weiteren Überlegungen stellte sich heraus, dass die Güte unserer ermittelten Formel auch davon abhängt, ab welchem Wert man die Regression startet. Dazu wurden logarithmische Regressionen ab verschiedenen Druckwerten durchgeführt. Für jede Regressionsformel wurden dann die Funktionswerte mit den realen Werten verglichen und die prozentualen Abweichungen betrachtet.

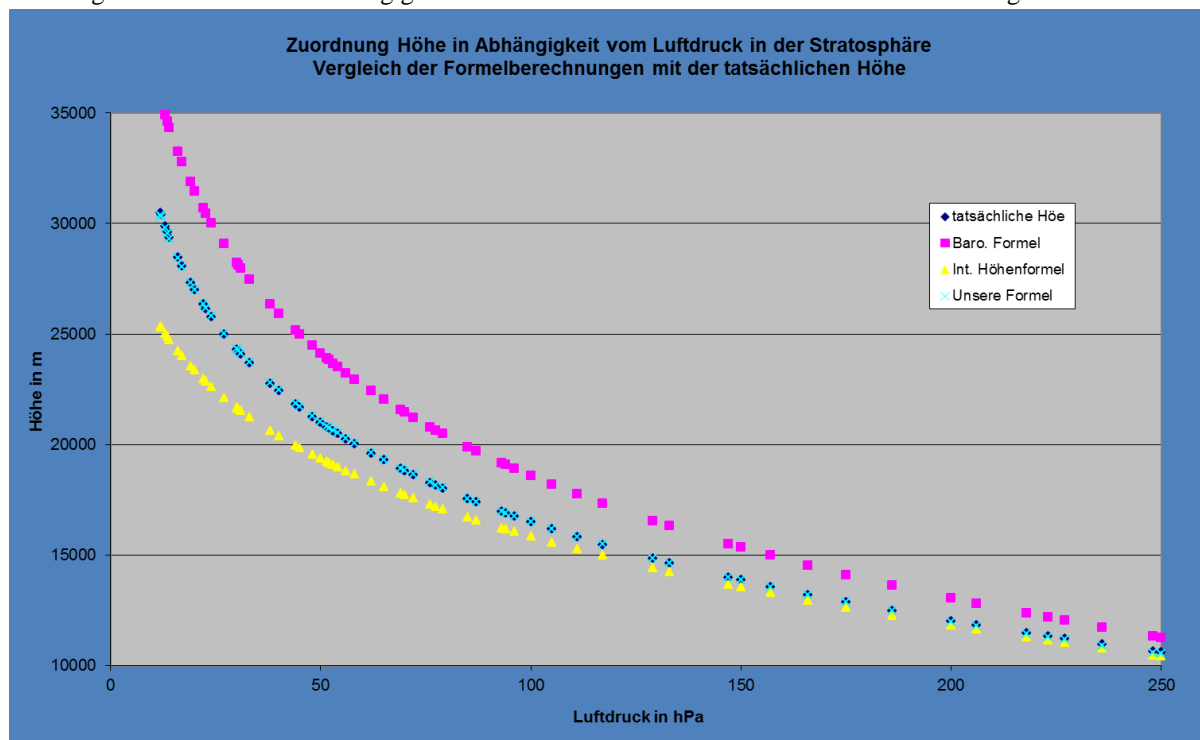
Wie in den Beispielen der Tabelle ersichtlich wird, war der Startwert, also ab welchem Druck die Regression gestartet wurde, wichtig. Es stellte sich heraus, dass die genaueste Formel ausgegeben wurde, wenn ab einem Druck von

Ab 500 hPa	Ab 250 hPa	Ab 100 hPa
Mittelwert der Abweichung aller Werte oberhalb von 10000m		
1,08%	0,19%	0,13%
Maximalwert der Abweichung aller Werte oberhalb von 10000m		
3,92%	0,89%	0,52%

250 hPa die Regression angewendet wurde. Bei allen Werten oberhalb von 10 km Höhe lag die durchschnittliche Abweichung der Funktionswerte unserer ermittelten Formel:

$$H(p) = -6508,3 \cdot \ln(p) + 46480 \quad (p \text{ in hPa}; H \text{ in m})$$

unter 0,2 %. Sogar die maximale Abweichung unserer Formelwerte von den realen Höhen lag noch unter 0,9 %. Im folgenden Diagramm sind die Funktionswerte aller betrachteten Formeln mit den tatsächlichen Höhenwerten der zur gleichen Zeit von Schleswig gestarteten Radiosonde ab einem Druck von 250 hPa verglichen.



Alle Werte über 250 hPa, welche etwa ab 10000 m gemessen wurden, passten optimal zu den Messwerten.

Da der Graph für die barometrische Formel bei 250 hPa nicht stetig an unseren Funktionsgraphen anschließt (Abweichung ca. 600m), musste die barometrische Formel durch einen Faktor gestreckt werden. Dadurch erhielt man eine Formel, die an die Funktionswerte der Regression bündig anschließt.

Bis 250 hPa wurde zunächst die barometrische Höhenformel mit dem konstanten Faktor 0,939 multipliziert, um einen stetigen Übergang herzustellen:

$$H(p) = -8000 \cdot \ln\left(\frac{p}{p_{\text{Startwert}}}\right) \cdot (0,939)$$

Diese Formel für den ersten Flugabschnitt zu verwenden, stellte uns aber nicht zufrieden, da deren Abweichung insgesamt oberhalb der Abweichung der eigentlichen barometrischen Höhenformel lag. Also beschlossen wir, keinen konstanten Faktor zu verwenden.

Jeder Wert, welcher mit der barometrischen Formel ausgerechnet worden ist, wurde nun mit den „wahren“ Werten verglichen. Durch eine Quotientenbildung ergab sich ein Korrekturfaktor, der natürlich für jeden



Druckwert in der Nähe von 1 lag, da die barometrische Formel unter 10 km ja bekanntermaßen sehr nahe an den tatsächlichen Werten liegt.

In diesem Diagramm ist ein annähernd linearer Zusammenhang von Korrekturfaktor und Luftdruckwerten der Radiosondenmessung zu erkennen. Der Faktor wird in größeren Höhen also offensichtlich immer niedriger.

Wir führten eine lineare Regression für verschiedene vergleichbare Radiosonden-Messungen durch. Da der Anstieg des Korrekturfaktors

sehr flach war, gab das genutzte Tabellenkalkulationsprogramm für den Anstieg stets Werte von 0,0001 oder 0,0002 zurück. Die Genauigkeit ist bei diesem Programm offensichtlich begrenzt. Also wurde die Regression durch schrittweises Probieren optimiert, wobei mit dem Anstieg des Programms begonnen wurde und dieser dann systematisch geändert wurde. Dabei wurde als Gütekriterium wieder die Änderung der prozentualen Abweichungen zwischen Formelwert und tatsächlichem Messwert betrachtet. Je nach betrachteter Messreihe erhielt man einen anderen optimalen Funktionsterm, wobei die Anstiege dabei immer zwischen den Berechnungen des Tabellenkalkulationsprogramms 0,0001 und 0,0002 lagen. Durch den Gesamtvergleich der Abweichungen mit allen betrachteten Messreihen wurden für den Startzeitraum bei Höhen unter 10 km folgender optimaler Korrekturterm ermittelt:  **$f(p) = 0,0001235 \cdot p + 0,942$**

Dieser Korrekturterm konnte nun an die Stelle der ursprünglichen Konstanten 0,939 gesetzt werden, was dann sogar die Ergebnisse der barometrischen Höhenformel signifikant verbessern konnte.

Um die Stelle für einen stetigen Übergang zwischen beiden optimierten Formeln zu ermitteln, musste man nun beide Formeln gleichsetzen und die Schnittstelle ermitteln. Die berechnete Übergangsstelle lag bei etwa 386 hPa. Es ergab sich also für den ersten Abschnitt unseres Fluges bis zu einem Luftdruck von 386 hPa die Formel

$$H(p) = (-8000 \cdot \ln(P/StartP)) \cdot (0,0001235 \cdot P + 0,942)$$

Für geringere Druckwerte unter wurde 386 hPa dann die oben optimierte Formel genutzt.

$$H(p) = -6508,3 \cdot \ln(p) + 46480 \quad (p \text{ in hPa; } H \text{ in m})$$

Diese ermittelten Formeln lieferten bei unserer konkreten Mission die Möglichkeit, die tatsächlichen Flughöhen aus unseren Druckmesswerten sehr genau zu berechnen.

## 5. Auswertung unserer Temperaturmessung

### 5.1. Einleitung

Da die Temperatur ein äußerst wichtiges Merkmal unserer Atmosphäre ist, sollte sie auch in unserer Mission nicht zu kurz kommen. Deshalb war unsere Nutzlast mit mehreren Temperatursensoren ausgestattet, um das große Spektrum der Temperatur mit ansteigender Höhe möglichst gut messen zu können.

### 5.2. Hypothesen

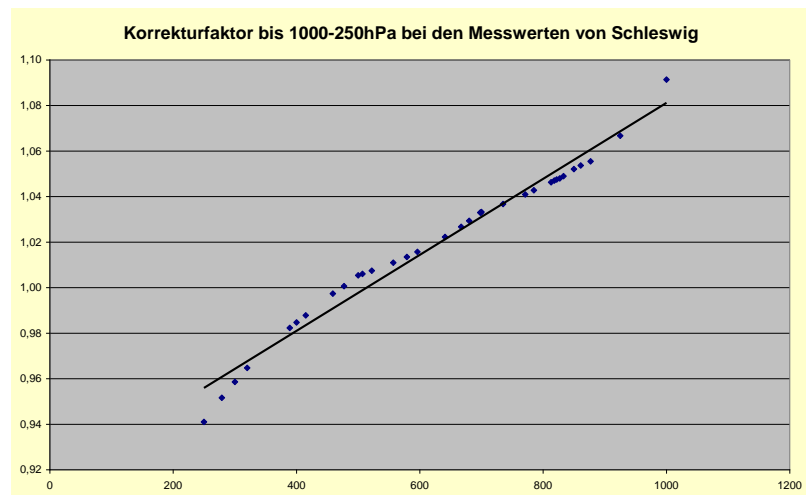
Im Vorfeld des Versuches stellten wir folgende Hypothesen bezüglich des Temperaturverlaufes auf:

1. *Mit ansteigender Höhe sinkt die Temperatur, bis sie zu einem Wendepunkt kommt, nach dem sie wieder ansteigt.*

Dies kommt daher, dass in niedrigen Höhen die Luft von der Erde erwärmt wird. Dieser Einfluss sinkt aber mit ansteigender Höhe, sodass es kälter wird – bis dann in der Stratosphäre Ozon vorhanden ist, das durch Reaktion mit UV-Licht Wärme erzeugt, sodass es wieder wärmer wird.

2. *Die Temperaturabnahme verläuft nicht konstant/proportional.*

Aufgrund der genannten Faktoren ist davon auszugehen, dass die Veränderung nicht konstant verläuft, da beide so ineinandergreifen, dass zum Wendepunkt die Veränderungsrate geringer sein müsste als auf der halben Strecke oder anfangs.

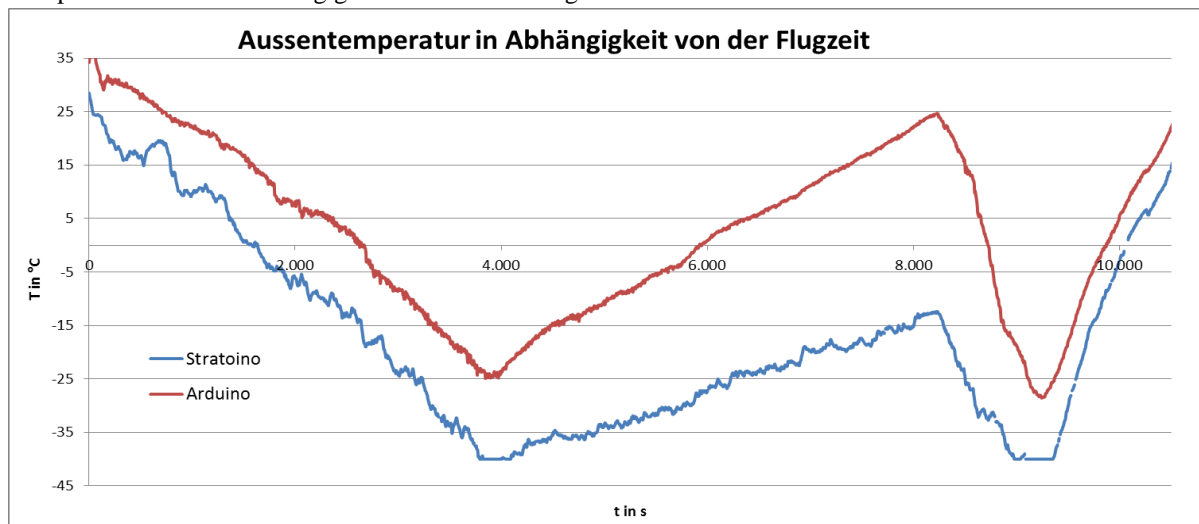


3. In den unteren Schichten sollte die Temperaturabnahme durchschnittlich  $0,65\text{ K je }100\text{m}$  betragen.

Dies ist eine allseits bekannte Faustregel, die aus dem Erdkunde-Unterricht bekannt ist.

### 5.3. Gesamtverlauf der Temperatur

Unsere Nutzlast wurde mit zwei Temperatursensoren für die Messung der Außentemperatur und einem Sensor zur Kontrolle der Innentemperatur ausgestattet. Der auf dem Arduino-Board befestigte Sensor wurde uns von der SenseBox-Arbeitsgruppe des Instituts für Geoinformatik der Uni Münster zur Verfügung gestellt. Der auf dem StratoIno befestigte Sensor wurde von der LMU München für das Projekt zur Verfügung gestellt. Alle Sensoren haben den ganzen Flug über (2h 54min) durchgehend gemessen und ihre Werte wurden in 5-Sekunden-Abständen auf die SD-Karte gespeichert. Es wurden zwei Sensoren für die Außentemperatur gewählt, um eigene Referenzwerte zu haben und eine Redundanz aufweisen zu können. Im folgenden Diagramm ist der Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt:

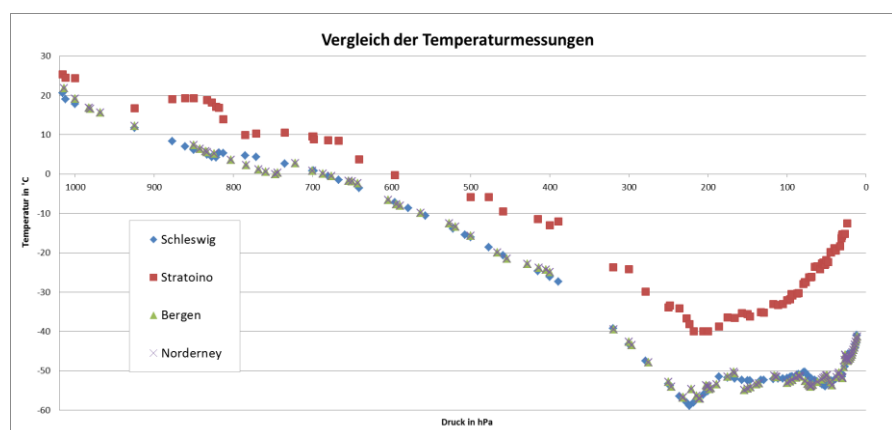


Es ist schnell ersichtlich, dass es nur wenige Fehlspeicherungen gab. Es liegt bei beiden auch der gleiche generelle Verlauf vor. Der Graph des Arduinos liegt anfangs immer ca.  $10^{\circ}\text{C}$  über dem des Stratoinos, da dessen Sensor keine Abdeckung hatte, die ihn vor der Sonneneinstrahlung schützte. Der Temperaturunterschied steigt im Verlauf ab 4000s stark an, bis er nach ca. 8000s einen Höhepunkt erreicht. In dieser Höhe ist die Sonneneinstrahlung offensichtlich viel intensiver. Es ist auszumachen, dass bei ca. 8240s der Ballon geplatzt ist, da sich danach die Intervalle in umgekehrter Reihenfolge in kürzerer Zeit wiederholen.

Zunächst wollten wir die Qualität unserer Stratoino-Messwerte genauer einschätzen. Dies taten wir, indem wir unsere Werte mit denen von drei Wetterballonflügen verglichen, die zu fast gleicher Zeit (12:00 Uhr) in Norddeutschland starteten, wie rechts zu sehen ist.

Unsere Messungen des Stratoino liegen dauerhaft

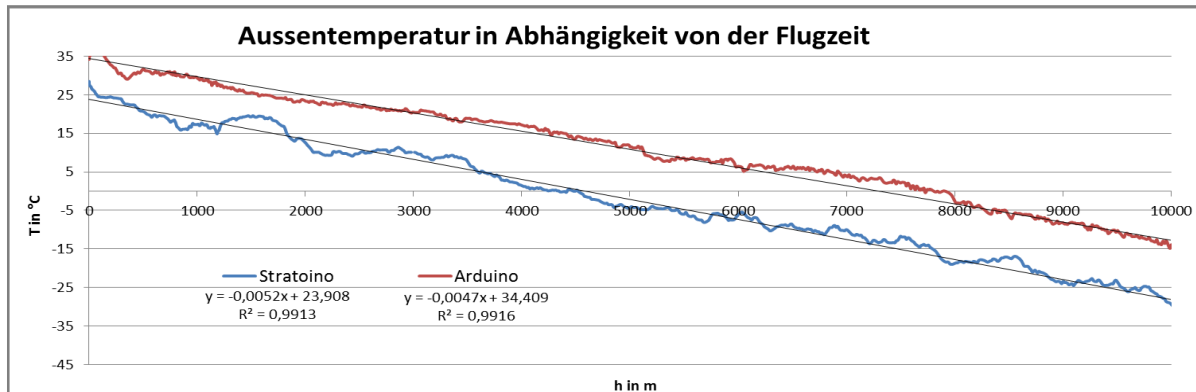
über denen der professionellen Wetterballon-Messdaten. Während die Wetterstationen mit professionellen Sensoren messen, nutzten wir nur einfache Sensoren, die eigentlich nicht dafür gedacht sind, in solchen Höhen- und Druckbereichen zu arbeiten. Zudem könnte Abwärme der technischen Komponenten ein Grund für die Werte sein, da in der Box die Temperatur nie unter  $20^{\circ}\text{C}$  fiel, was auf eine hohe Abwärme der Komponenten hinweist. Der Sensor hat laut Datenblatt außerdem eine Limitierung bei  $-40^{\circ}\text{C}$ , was sich darin äußerte, dass die Werte der Wetterballons zwar weiter sanken, unser Sensor jedoch für kurze Zeit nur exakt  $-40^{\circ}\text{C}$  loggte, was nicht sein kann und daher auf die Funktionsgrenze des Sensors zurückzuführen ist.



Dennoch ist klar der gleiche Verlauf zu erkennen, so dass wir unsere Stratoino-Daten weiter auswerteten. Man sollte aber immer im Hinterkopf behalten, dass man bei unseren Daten ein paar Grad abziehen muss, wenn man die reale Temperatur betrachten möchte.

#### 5.4. Temperaturverlauf

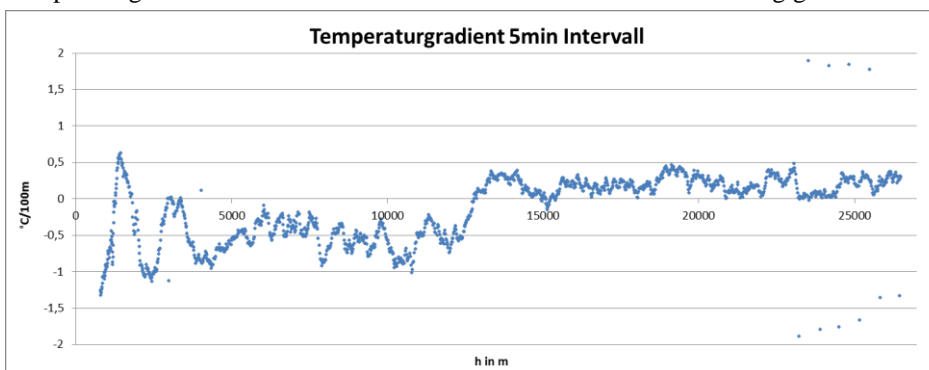
Das Intervall der ersten Flugstunde nach dem Start lässt sich in die Troposphäre einordnen. Der Temperaturabfall entsteht durch die Entfernung zur Erde und den geringer werdenden Luftdruck, bei dem durch Reibung der Luftmassen Wärme erzeugt wird. Da dieser allerdings geringer wird, sinkt auch die Temperatur. Wenn man die Schwankungen vernachlässigt, kann man in grober Näherung einen linearen Verlauf erkennen. Im folgenden Diagramm sind die Temperaturen in Abhängigkeit von der Flughöhe und ihre linearen Ausgleichsgeraden dargestellt:



Die Regressionsgeraden sind durchaus sinnvoll, was auch das Bestimmtheitsmaß „R<sup>2</sup>“ zeigt, da es fast "1" ist. Die erhaltenen Formeln sind nach dem Schema  $y = m \cdot x + b$  aufgebaut. "y" stellt dabei die Temperatur dar, die durch die Höhe (hier "x") errechnet werden kann. Die Steigung oder speziell die Temperatur-Veränderung je Höhenmeter wird durch "m" angegeben.

Es ergibt sich also bei dem Stratoino eine Veränderung von  $-0,0052^{\circ}\text{C}$  pro Meter und beim Arduino von  $-0,0047^{\circ}\text{C}$  pro Meter. Diese Werte decken sich kaum mit dem Literaturwert von  $-0,65^{\circ}\text{C}$  pro 100 Meter, was uns dazu veranlasste, den Gradienten genauer zu betrachten.

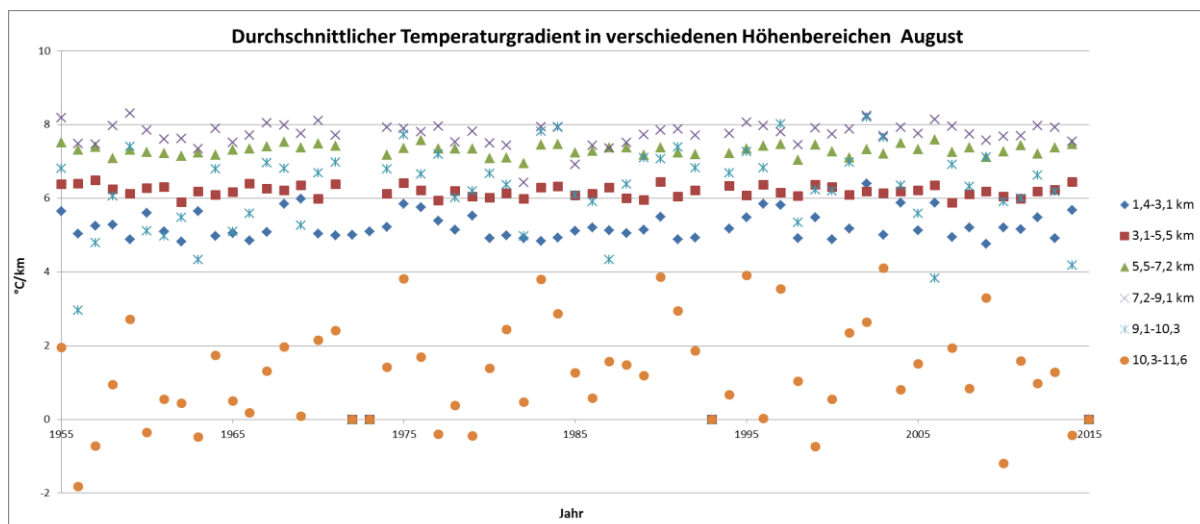
Es werden beträchtliche Schwankungen der Temperaturgradienten während des Aufstiegs deutlich, wenn man die Temperaturabnahmen in kleinen Zeitintervallen berechnet. Im folgenden Diagramm sind die Temperaturgradienten in 5 Minuten-Intervallen berechnet und in Abhängigkeit von der Höhe dargestellt:



Zwischen 1000m und 2000m gibt es sogar eine Inversionsschicht in der die Temperatur steigt. Man erkennt auch in dieser Darstellung den Wendepunkt zwischen Sinken und Steigen der Temperatur, wobei die Temperaturabnahme

pro 100m bereits vor dem Wendepunkt von der jeweiligen Höhe abzuhängen scheint.

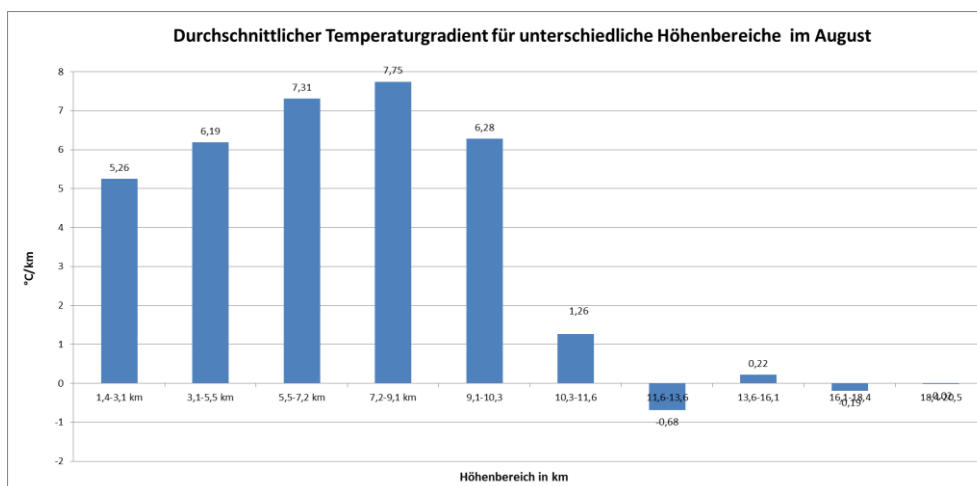
Das Ergebnis ist aber nicht verwunderlich, sondern passt in die Betrachtungen der Wettersondendaten der Jahre 1955 bis 2015. Die Temperatur-Messwerte und auch die Temperaturgradienten sind dabei durchaus von der Jahreszeit abhängig. Daher werden hier nur einige Ergebnisse der Wetterstation Schleswig für den Monat August, dem Startmonat unserer Mission, vorgestellt. Die Wetterstation Schleswig wurde gewählt, da sich diese in der Nähe befindet. Im folgenden Diagramm erkennt man die Unterschiede bei den Temperaturgradienten in unterschiedlichen Höhenbereichen in den Jahren 1955-2015:



Positive Werte bedeuten in diesem Diagramm eine Temperaturabnahme. Es zeigt sich, dass es Höhen gibt, in denen die durchschnittliche Veränderung jedes Jahr fast identisch war, aber auch Höhen, bei denen dieser Wert stark schwankt (besonders bei Höhen um 10 km). Es gibt zwar einzelne Höhenbereiche, bei denen der Temperaturgradient mit dem Literaturwert annähernd übereinstimmt, aber in den meisten Schichten sind die Abweichungen beträchtlich.

Betrachtet man den Gesamtdurchschnitt, so ergibt sich für den Monat August folgende Verteilung der Temperaturgradienten:

Man erkennt, dass es große Unterschiede bei den einzelnen Höhenwerten gibt und daher eigentlich kein verallgemeinerter Literaturwert angebracht ist. Dieses Diagramm hat dabei eine ziemlich hohe Aussagekraft, da



es sich aus über 50 Jahren Wettersonden-Daten zusammensetzt. Dieser Fakt, genauso wie die großen Schwankungen, die Durchschnittswerte von über 50 Jahren, unsere eigenen Messergebnisse und auch mögliche Inversionsschichten sprechen dafür, dass der uns bekannte Literaturwert eine Anpassung für die einzelnen Höhenbereiche und dem Gesamtverlauf benötigt. Auch als grober Näherungswert scheint der Literaturwert nur begrenzt zu passen. Zu einer Anpassung ist es unseren Recherchen nach aber noch nicht gekommen.

Aus der oben erwähnten Langzeitstatistik ergaben genauere Untersuchungen, dass die Gradientenverteilung sogar signifikant von der Jahreszeit abhängt.

In der Stratosphäre hingegen wurde anscheinend mit  $0,2^{\circ}\text{C}$  pro 100 m von der World-Meteorological-Organization ein passender Gradient gefunden. Auch eine Regression unserer Daten ergab einen Gradienten von ca.  $0,18^{\circ}\text{C}$  pro 100 m, so dass wir den Wert für die Stratosphäre mit unserer Messreihe annähernd bestätigen konnten.

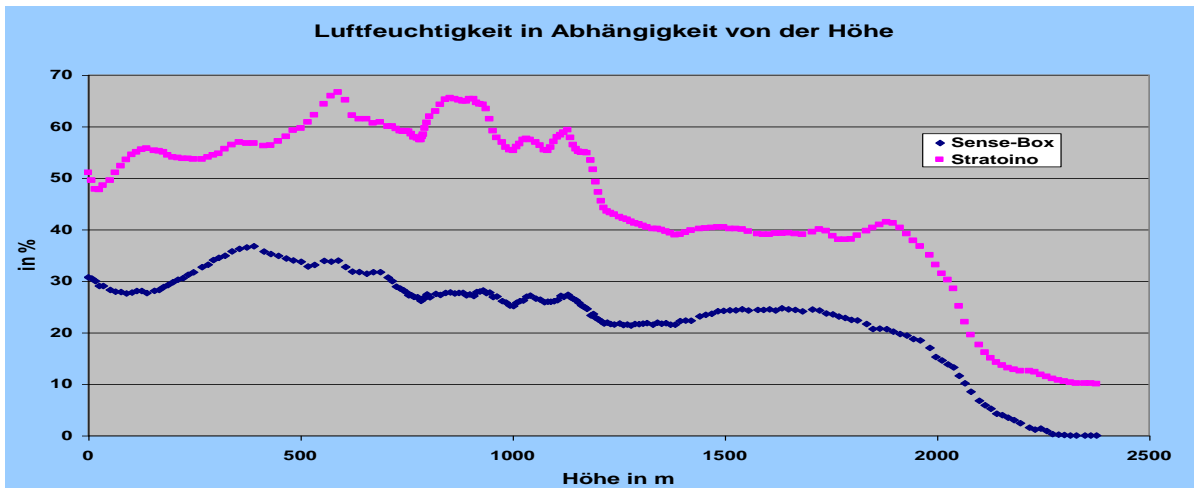
### 5.5. Fazit zum Temperaturverlauf

In jeder Schicht der Erdatmosphäre hat die Temperatur ihren eigenen Verlauf. Die Temperaturänderungen haben immer andere Faktoren als Ursachen: Während es in der Troposphäre an der Erde liegt, ist in der Stratosphäre die Ozonschicht ausschlaggebend. Viele dieser Faktoren wurden nicht in den Hypothesen berücksichtigt und man erhielt andere Ergebnisse als erwartet. Das zeigt auch die erste Hypothese: Der vermutete Verlauf ist zwar

im Bereich der Troposphäre bis zur Stratosphäre ersichtlich, weitere Recherchen haben aber ergeben, dass sich in weiteren Höhen dies noch des Öfteren ändert. Die zweite Hypothese ist sowohl falsch als auch richtig: Die Temperatur nimmt nicht konstant ab, sondern hat in jedem Höhenbereich ihren eigenen Gradienten, allerdings können diese zusammen als idealisierter Durchschnittsverlauf dargestellt werden, der in der Troposphäre annähernd um den Literaturwert von 6,5°C pro Kilometer schwankt. Dieser sollte aber dennoch angepasst werden, da er nicht mehr aktuell zu sein scheint und beispielsweise die Errechnung der Höhe über die Temperatur verfälscht. Die dritte Hypothese kann also eher als falsch angesehen werden.

### 6. Auswertung der Luftfeuchtheitsmessungen

An der Nutzlast wurden zwei Sensoren zur Messung der Feuchte außerhalb der Box angebracht. Im überwiegenden Teil des Fluges war die Luftfeuchte allerdings offensichtlich so gering, dass sie unterhalb der Mess-Schwelle der Sensoren lag.



Im Diagramm sind die Messwerte der Luftfeuchtigkeit des Stratoino-Sensors (pinke Kurve). und die der SenseBox (blaue Kurve) dargestellt (siehe großes Diagramm). Oberhalb von 2500m wurde überwiegend von beiden Sensoren konstant 1% (Stratoino) bzw. 0% (SenseBox) gespeichert, sodass man davon ausgehen kann, dass dort die Luftfeuchte für die Sensoren zu gering war. Daher ist hier nur die

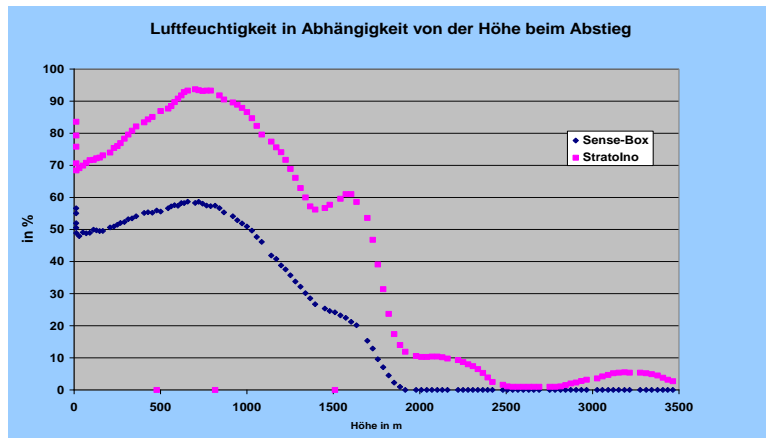


Abbildung 1

erste Flugphase graphisch dargestellt. Auffallend ist, dass der Stratoino-Sensor durchweg höhere Werte während des Aufstiegs und des Abstiegs (Abbildung 1) gemessen hat. Das Ergebnis des Verlaufes der beiden Graphen war zunächst überraschend, aber ein Vergleich mit der Radiosonden-Messung der Station Schleswig (Abbildung 2), die zur gleichen Zeit stattfand, zeigt, dass unsere Messwerte durchaus korrekt waren. Hier ist gut sehen, dass sich alle Kurven in dem gemessenen

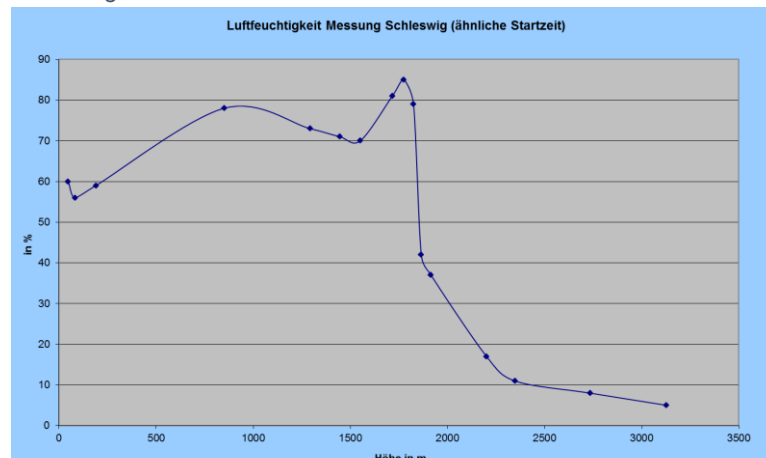


Abbildung 2

Bereich im Verlauf ähneln. Da die Daten von der Wetterstation in einem größeren Intervall gemessen wurden, ist die Kurve etwas ungenauer. Dennoch haben sich dort die Messwerte der Luftfeuchtigkeit oberhalb von 3000m der Null angenähert. Auch beim Abstieg wurden erst bei Höhen unterhalb von 3500m wieder erste Messwerte größer als 0 bzw. 1% registriert (Abbildung 1). Die Luftfeuchtigkeitswerte sind beim Abstieg insgesamt etwas größer, da sich das Wetter am Starttag am Nachmittag etwas verschlechterte und die Luftfeuchtigkeit zunahm. Vergleichswerte der Wettersonden gibt es für den Abstieg nicht, da diese nur in der Aufstiegsphase Werte zur Wetterstation senden.

Abschließend kann man beim Vergleich der Sensoren feststellen, dass die Messfähigkeit bei geringer Feuchte eingeschränkt ist, wobei der Stratoino-Sensor etwas feinfühlicher im Vergleich abschneidet, da er länger (auch in etwas größeren Höhen) noch Messwerte registrieren konnte.

## 7. Wolkenhöhen am Flugtag

In einer ausführlichen Videoanalyse haben wir ermittelt, zu welchem Zeitpunkt wir mit der Nutzlast und den Sensoren durch Wolken geflogen sind. Dabei haben wir die Untergrenze der Wolken bestimmt. Die wichtigsten Ergebnisse sind in folgender Tabelle dargestellt:

Markante Punkte	Flugzeit (in min)	Höhe (in m)
Erste durchflogene Wolke	3:55	728
Untergrenze der Wolkenschicht	8:25	1188
Ende der Wolkenschicht	15:22	2293



Die erste Wolke, welche in der Tabelle auftritt, zählt zu den sogenannten „Cumulus“- (Lat.: Haufen) Wolken. Hierbei handelt sich um keine Wolkenschicht, sondern um Wolken, welche haufenweise auftreten. Diese Wolken verändern ihre Struktur ständig und sehen deswegen meistens zerfetzt aus. Auch diese Wolke besteht wie die meisten Wolken zum größten Teil aus Wassertröpfchen und nur bei kalten Temperaturen entstehen hier Eiskristalle. Bei weiterer Betrachtung der Wolken im Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit

konnte man deutlich feststellen, dass die Luftfeuchtigkeit beim Kontakt mit den Wolken anstieg. Wichtig hierbei ist jedoch, dass wir hier nicht direkt durch Wolken geflogen sind. In unseren Messungen konnten wir trotzdem einen Anstieg der Luftfeuchtigkeit im Bereich der Wolken feststellen.

Anstieg der Luftfeuchtigkeit bei der ersten Wolke:

Luftfeuchtigkeit in %	59,6	64,3	65,9	66,6	65,1	62,1	60,8	59,5
Höhe in m	527,7	591	607,2	623,1	640,9	656,5	722,5	768,6

## 8. Radioaktive Strahlung

### 8.1 Einleitung

Wir sind immer umgeben von ihr und nehmen sie nie wahr. Jedermann hat Angst vor ihrer Ausstrahlung, doch ohne hätte sich das Leben auf der Erde völlig anders entwickelt. Sie ist die böse Kehrseite der Kernspaltung und für uns Menschen schwer im Zaum zu halten. Von wem ist die Rede? – Klar: Radioaktivität. Jeder weiß, dass sie in großen Mengen zu Fehlbildungen beziehungsweise Mutationen in tierischen und pflanzlichen Zellen führt. Wir auf der Erde werden durch unsere Atmosphäre pausenlos vor ihr geschützt, doch wie wäre es ohne diese?

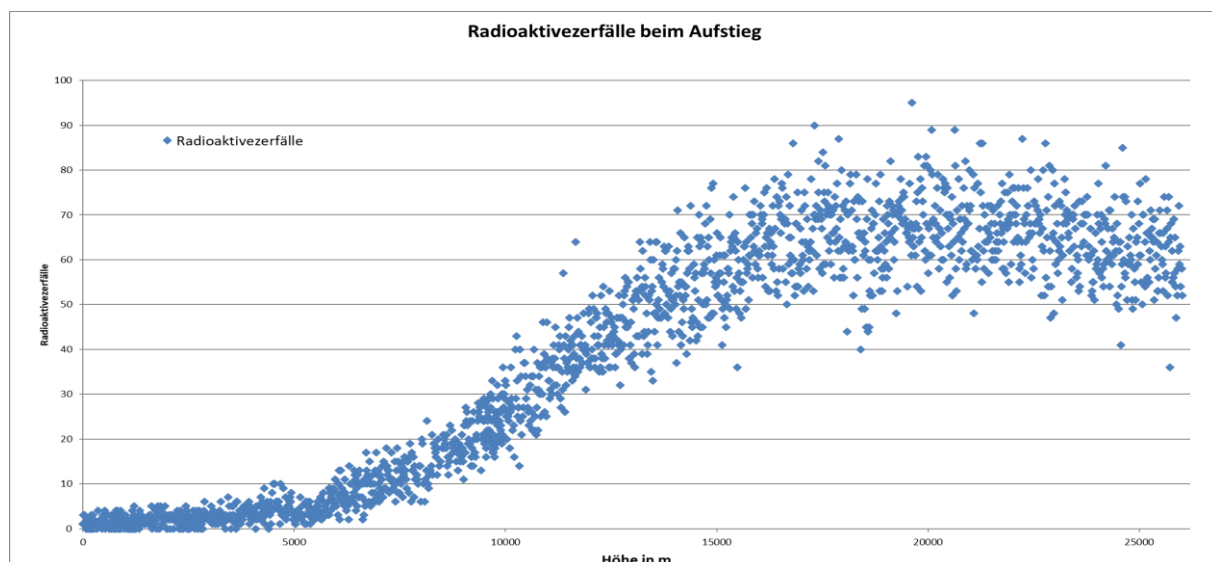
Diese Frage motivierte uns, unseren eigenen Datenlogger zusätzlich mit dem schon erwähnten Geiger-Müller-Zählrohr auszurüsten. Doch bevor wir unsere Daten beurteilt haben, trieben wir Recherche zur Ursache der Strahlung aus dem All.

## 8.2 Kosmische Strahlung

Was würden wir also messen? Kosmische Strahlung ist eine sehr energiereiche Teilchenstrahlung, welche von Sonnen mehr oder weniger regelmäßig abgestrahlt werden. Sie besteht vor allem aus Protonen beziehungsweise Heliumkernen und wird von Gammastrahlen begleitet, zusammen werden sie die primäre Strahlung genannt. Unsere Atmosphäre absorbiert nun allerdings die relativ großen und energiereichen Protonen fast vollständig, wobei durch Kollisionen wiederum neue Atome gespalten oder von ihren Elektronen getrennt werden. Hierbei entstehen eine Vielzahl von Teilchen, welche auch sekundäre Strahlung genannt werden. Der Bereich, in dem diese Ionisierungen stattfinden, weist für uns eine erhöhte Strahlungsintensität auf, da unsere Messung durch unser Messgerät auf Beta- und Gammastrahlung beschränkt ist. Das Glas des Zählrohres ist für Protonen undurchlässig. Die sekundäre Strahlung kann allerdings durch das Glas hindurch, um Ionen zu erzeugen. Dieses Maximum wird auch „Pfozter Hoch“ genannt, allerdings stehen hierzu wenig Informationsmittel zur Verfügung. Auf der Erdoberfläche gibt es noch mehr Quellen für Radioaktivität. Förmlich alles: Gestein, Luft, Wasser und auch Erde enthalten radioaktive Isotope, wenn auch nur in kleinsten Mengen. Die meiste Radioaktivität kommt hier vom radioaktiven Gas Radon und seinen Folgeprodukten. Die letzte Quelle für ionisierende Strahlungen auf unserem Planeten ist menschliche Ignoranz. Neben Atombombentests im Meer und noch lange weiterstrahlenden Atombrennstäben finden wir immer neue Wege, um weitere Quellen zu kreieren. Diese irdischen Quellen erweisen sich allerdings als vernachlässigbar im Verhältnis zur Anzahl an messbaren Zerfällen in der Stratosphäre.

## 8.3 Unsere Daten

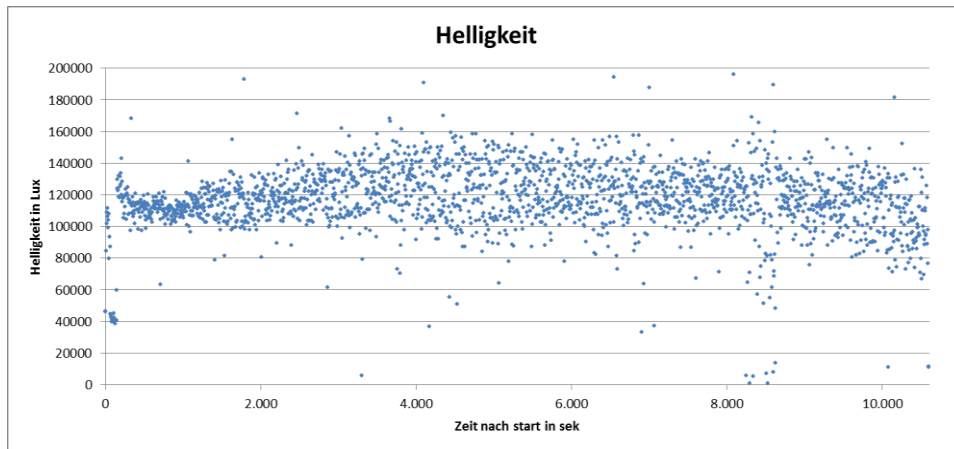
Unser Geiger-Müller-Zählrohr zählt mit Hilfe von einer Operationsspannung von ca. 360 Volt kurze Stromübersprünge, welche durch von der Strahlung ionisierte Gas-Partikel ermöglicht werden. Nach der Bergung unserer Nutzlast konnten wir erfreut feststellen, dass unsere Messung sehr gut funktioniert hat und durchgängige Daten lieferte.



Zu sehen ist im obigen Diagramm eine Zuordnung von Zerfällen pro Zeiteinheit in Relation zur Höhe. Bei Betrachtung des Diagramms ist ein klarer Anstieg der Strahlung zu erkennen, allerdings nur bis zum schon beschriebenen „Pfozter Hoch“. Somit können wir dieses durch unsere Daten als bewiesen ansehen. Tatsächlich sinkt die durchschnittliche Anzahl an Zerfällen nach einer Höhe von ungefähr 20 km (Pfozter Hoch), da hier weniger ionisierende Partikel zur Verfügung stehen. Dies ist so zu begründen, dass die primäre Strahlung über 20 km Höhe noch relativ wenig Interaktion mit den Partikeln in unserer Atmosphäre hatte. Der Hochpunkt bei ca. 20 km ist so zu erklären, dass die Absorption in diesem Höhenbereich am höchsten ist. Dadurch findet sich eine erhöhte Konzentration der für uns messbaren ionisierenden Partikeln.

## 9. Betrachtungen zu weiteren Sensoren

Wie oben schon geschrieben, schickten wir auch einen UV- und Licht-Sensor mit unserer Nutzlast in die Stratosphäre. Der UV-Sensor hat leider vom Start aus keine Daten aufgezeichnet, obwohl er bei den letzten Tests am Vortag ohne Probleme Daten lieferte. Deshalb gehen wir davon aus, dass der Sensor beim Transport zum



Startort beschädigt wurde. Der Helligkeitssensor bestätigt unsere Quellen und pendelt sich mit seinem Durchschnitt etwas über 100.000 Lux ein, für einen normalen schönen Sommertag ist das genau die erwartete Helligkeit. Das breit

gefächerte Feld an Daten erklären wir uns durch die Position der Nutzlast – durch Wolken oder den Ballon selbst kann der Sensor vom prallen Licht in den Schatten kommen und so das Messergebnis verfälschen.

## 10. Fazit der Mission und Ausblick

Das Projekt hat uns sehr viel Spaß gemacht und es war ein unbeschreibliches Gefühl, etwas zu bauen, was höher fliegt, als wir es wahrscheinlich jemals werden. Doch es gab einige Dinge, welche verbessert werden müssten, und wir haben den Ehrgeiz, bei einer eventuellen Folge-Mission mehr neue Ideen einzubringen und neue Fragestellungen anzugehen.

Ein Konstruktionsfehler ist recht offensichtlich: So haben wir bei unserem 3D-Druck ganz bewusst ein Design ohne Abdeckung gewählt, ohne daran zu denken, dass die Sonneneinstrahlung nicht nur auf UV- und Lichtsensor trifft, sondern auch auf den Temperatursensor. Dadurch wurde der Sensor natürlich erhitzt und eine Differenz zwischen den Sensoren des Stratoinos und der Sensebox entstand. Wir konnten dadurch unsere Sensoren nicht miteinander vergleichen, hatten allerdings die Möglichkeit, Schatten- und Sonnentemperatur zu untersuchen.

Für Folge-Missionen haben wir viele neue Ideen: Beispielsweise wollen wir einen Beschleunigungssensor einbauen, um bspw. die Steiggeschwindigkeit direkt zu messen. Diese Messung konnte bei der aktuellen Mission leider aus technischen Gründen noch nicht realisiert werden. Diese Idee würden wir aber auf jeden Fall bei einer nächsten Mission aufgreifen und verwirklichen. Die auftretenden Probleme bei der Bestimmung der Höhe mittels GPS werden wir bei einer Folge-Mission ebenfalls angehen. So hatten wir hier die Idee, durch eine Triangulation vom Boden aus die Position auch in großer Höhe noch akkurat messen zu können. Dies würde allerdings ein extremes Maß an Präzision erfordern, da selbst kleinste Fehler zu großen Abweichungen führen würden. Zudem bräuchten wir mehrere Partner in Niedersachsen, welche die Triangulation überhaupt erst ermöglichen würden. Um auch ohne eine geglückte Bergung die Daten nutzen zu können, streben wir an, eine Live-Funkübertragung in die Mission zu integrieren – dieses Mal hatten wir mit dem Finden der Nutzlast ja großes Glück.

Da die Mission für uns sehr lehrreich war und uns großen Spaß gemacht hat, planen wir zudem, einen Leitfaden für andere Schüler zu entwickeln, um das Durchführen einer vergleichbaren Mission für andere Hobbyforscher zu ermöglichen.



## 11. Quellen

Internetquellen:

<https://www.sensebox.de/> (zuletzt aufgerufen 4.01.2018 20:10)

<https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial> (zuletzt aufgerufen 4.01.2018 20:45)

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega> (zuletzt aufgerufen 4.01.2018 21:00)

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (zuletzt aufgerufen 4.01.2018 21:15)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Lux\\_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lux_(Einheit)) (zuletzt aufgerufen 03.01.2018 18:30)

Zuletzt aufgerufen am: 21.12.17 um 18 Uhr:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosphärischer\\_Temperaturgradient](https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosphärischer_Temperaturgradient)

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php?title=Stratosph%C3%A4re&action=edit>

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Tropopause>

<http://www.kowoma.de/gps/zusatzerklaerungen/atmosphaere.html>

<http://www.diplomet.info/GeometrischerTemperaturgradient.html>

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102672&lv3=102756>

<http://wetter.welt.de/lexikon.asp?nr=14&page=0>

Zuletzt aufgerufen am 28.12.2017 um 19 Uhr:

<https://content.meteoblue.com/de/meteoscool/wetter/wolken/wolkenarten>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Luftfeuchtigkeit>

<http://www.chemie.de/lexikon/Luftfeuchtigkeit.html>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/einflusse-auf-den-menschen/kosmische-strahlung/>

<http://www.kernfragen.de/nat%C3%BCrliche-und-zivilisatorische-quellen>

[http://www.libelium.com/downloads/documentation/radiation\\_board.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/radiation_board.pdf)

<http://www.kernfragen.de/lexikon/betastrahlung>

[http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPCARD-Portal/PDF/FLUGS\\_EPCARD.pdf](http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPCARD-Portal/PDF/FLUGS_EPCARD.pdf)

Buchquellen:

Wilhelm Kuttler: Klimatologie. Schöningh, 2013

Hans Häckel: Meteorologie. Ulmer, 2008

Helmut Kraus: Die Atmosphäre der Erde. Springer-Verlag Berlin, 2004

Foliensätze:

Otto Klemm: Wolken und Niederschlag. Folien zur Vorlesung *Einführung in die Klimatologie*