

## Projekttitle: Spektralanalyse der Atmosphäre aus der Stratosphäre



Teilnehmer:

Teilnehmer 1 / SORSOLI Yanic (15 Jahre)

Teilnehmer 2 / REINHARDT Leon (15 Jahre)

Erarbeitungsort: Helmholtz-Gymnasium Hilden

Projektbetreuer/in: Herr Koch, Herr Osterwind

Thema des Projekts:

Wir planen mit einer Sonde nachts in die Stratosphäre zu fliegen und kurz vor dem Kulminationspunkt der Flugkurve das Licht des „Stratosphärensonnenaufgangs“ zu dokumentieren. Das Licht nimmt dann den längst möglichen Weg durch die Atmosphäre und dürfte daher besonders ausgeprägte Veränderungen durch Absorption, Streuung und Brechung durch die Atmosphäre aufweisen. Der Start ist für den 25.01.2020 geplant.

Fachgebiet: Geo- und Raumwissenschaft

Wettbewerbssparte: Jugend forscht

Bundesland: Nordrhein-Westfalen

Wettbewerbsjahr: 2020

12.01.2020

## **Spektralanalyse der Atmosphäre aus der Stratosphäre**

### **I Kurzfassung .....1**

Wir planen mit einer Sonde nachts in die Stratosphäre zu fliegen und kurz vor dem Kulminationspunkt der Flugkurve das Licht des „Stratosphärensonnenaufgangs“ zu dokumentieren. Der Auftrieb wird durch einen heliumgefüllten „Wetterballon“ bewerkstelligt. Das Licht nimmt in diesem Moment dann den längst möglichen Weg durch die Atmosphäre und dürfte daher besonders ausgeprägte Veränderungen durch Absorption, Streuung und Brechung durch die Atmosphäre aufweisen.

Wir studieren das wellenlängenabhängige Verhalten des Lichtes beim Durchtritt durch die Atmosphäre und entwickelten ein Funktionsmodell, mit welchem wir unsere Hypothese untermauerten, wie der Sonnenaufgang in der Stratosphäre aussehen wird.

Der Start ist in der Nacht zum 25.01.2020 geplant.

### **II Inhaltsverzeichnis ..... 2**

1. Kurzfassung
2. Inhaltsverzeichnis
3. Einleitung
4. Theoretische Vorüberlegungen
5. Vorbereitende Experimente
6. Modellexperiment
  - 6.1 Der Aufbau des Funktionsmodells
  - 6.2 Die Vermuteten Fehler
  - 6.3 Lösungsansätze
  - 6.4 Ergebnisse der Änderungen
7. Die Konstruktion der Sonde und der „Spektralkamera“.
  - 7.1 Optisches Gitter
  - 7.2 Aufbau der Sonde
8. Ergebnisse
9. Ergebnisdiskussion
10. Quellen und Literaturverzeichnis
11. Unterstützungsleistungen

### 3 Einleitung

Im Rahmen des sogenannten „Apfelfestes“ an unserer Schule, das alljährlich als Schulfest im Oktober stattfindet, haben wir 2018 unseren ersten Stratosphärenflug durchgeführt.

In einem schulinternen Wettbewerb konnte die Schülerschaft Vorschläge für Jugend forscht Projekte „Am Rande des Weltalls“ machen. Im Rahmen dieses Fluges wurde u.a. ein Jugend forscht Projekt zum Thema „Leben im All“ durchgeführt.

Der Flug wurde von vielen verschiedenen Schülergruppen vom Physik-Leistungskurs, dem Kurs Praktische Naturwissenschaften bis zum Literaturkurs vorbereitet, begleitet und ausgewertet.

Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Altersstufen besetzten z.B. auch das Kontrollzentrum zur Flugüberwachung. Wettervorhersage, Countdown, GPS-Ortung, Voraussage des Landegebietes, Luftraumüberwachung, Responder für Bergungsteams: alles lag in Schülerhand. Nur die Moderation hatten Lehrer, alle Ereignisse wurden in die Aula und ins Internet live übertragen.

Unser Beitrag war es, zu versuchen, Livebilder aus der startenden Sonde und der landenden Sonde beizusteuern, sowie der Aufbau des Kontrollzentrums und „Mischung“ der Bilder in der Liveübertragung des Fluges.

Wir haben in die Sonde ein Smartphone eingebaut, um bei Wiedereintritt in das Mobilfunknetz ein Livebild von der Landung zu erhalten.

Wir haben vorher mehrfach im Labor von Vodafone (Düsseldorf) die Reaktion von verschiedenen Handys auf den simulierten Eintritt in überlappende Mobilfunkzellen getestet.

2018 bekamen wir erst Livebilder, als die Sonde bereits im Baum hing.

Die Stimmung im Kontrollzentrum und in der Aula hat ein WDR Bericht der Lokalzeit sehr gut eingefangen<sup>1</sup>. Auch unser Literaturkurs hat das Ereignis als Video<sup>2</sup> dokumentiert.

Wir hatten vorher mit Periskope erfolgreiche Tests gefahren, indem wir in den Keller der Schule gingen (kein Netz) und das Wiedereintauchen in die Wabe simulierten, indem wir nach einer Pause wieder aus dem Keller herauskamen. Beim Start hat Periskope auch tatsächlich gute Livevideos geliefert, beim Wiedereintritt in das Mobilfunknetz funktionierte Periskope jedoch nicht. Leider hatte sich Periskope „aufgehängt“.

Da es schwer ist, den Betriebszustand des Handys in der Stratosphäre zu simulieren (Außentemperaturen kleiner als  $-50^{\circ}\text{C}$ , kaum Luftdruck, keine



Bild 1 WDR Lokalzeit berichtet von der Mission 2018

---

<sup>1</sup> Kann während des Wettbewerbes kurz eingespielt werden. Der Beitrag ist im Internet nicht mehr abrufbar.

<sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=zBr6t1D3NvM>  
12.01.2020

Luftfeuchtigkeit) können wir den partiellen Systemausfall von Periskope nicht reproduzieren.

Einen Hoffnungsschimmer gab es jedoch. Eine unserer Backup Lösungen war das Remote-Programm AirDroid. Doch dieses Programm funktioniert leider erst, wenn man es „manuell“ aktiviert.

Dieses brauchte uns dann 2018 tatsächlich Livebilder: Aus der im Baum hängenden Sonde. Immerhin konnten wir so die Bemühungen der Bergungsmannschaft aus dem Blick der Sonde verfolgen.

Schlüssel zum Erfolg ist die rechtzeitige „Zündung“ von AirDroid, was natürlich nur möglich ist, wenn das Handy sich selbstständig ins Netz eingeloggt hat.

Signalgeber waren für uns die GPS Daten, welche, wie wir durch Test vor dem Flug 2019 feststellten, nicht wirklich „live“ eintreffen. Der Sender sendet in Intervallen über Satelliten die Positions- und Höhendaten im Bereich bis ca. 20 000 Höhenmeter. Dadurch kommt es zu Zeitverzögerungen von 6 bis 8 Minuten.

Da die Sinkrate der Sonde berechnet werden kann, muss man also quasi 8 Minuten vor den tatsächlich eintreffenden GPS Daten vorausrechnen. Wir kalkulieren die durchschnittliche Höhe der Wabe über Sender in der Größenordnung von 2500 m. Das macht bis zur Landung also eine theoretische Sendezeit von fast 6 Minuten (wir flogen mit einer Soll- Sinkrate von 7m/sec).

Falls das Bergungsteam im vorausberechneten Landegebiet also rechtzeitig vor Ort ist, kann die Landung nicht nur verfolgt, die Bergung einfacher gestaltet werden, eine Landung an gefährlichem Ort (Straße) kann evtl. vorhergesehen werden und z.B. Autofahrer gewarnt werden und die Sonde mit Fallschirm frühzeitig von der Fahrbahn gezogen werden.

Das Handy kann auch dazu benutzt werden, um z.B. akustische und optische Signale während und nach der Landung abzugeben, ja sogar aus der Sonde einen eventuellen Finder (der in der Kamers erfasst wird) anzusprechen. Wir hoffen, er erschreckt sich nicht zu sehr, wenn unsere Sonde „sprechen“ kann.



Bild 2 Sonde Sendet Livebild aus dem Baum



Bild 3 Der verdrillte Fallschirm der Mission 2 2019

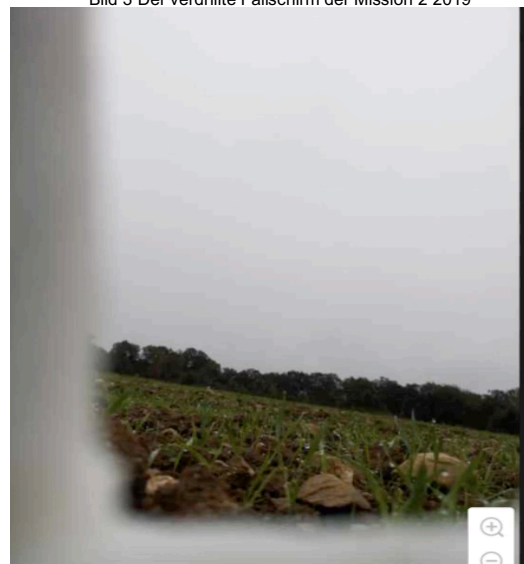


Bild 4 Livebild vom Acker (2019)

Da wir also, nun besser vorbereitet, die Vermutung hatten, dass wir, wenn wir das Remote-Programm nur früher aktivieren, ein Livebild aus der Sonde erhalten, waren wir alle sehr motiviert 2019 einen neuen Versuch zu starten. Im Oktober starteten wir einen neuen Versuch.

Leider sollte auch dieser keinen Erfolg bringen, immerhin aber neue Erkenntnisse.

Im Nachhinein stellte sich heraus, dass leider der Druckminderer, mit dem der Wetterballon mit Helium befüllt wird, defekt war. Daher stieg der Ballon aufgrund der zu hohen Gasfüllung viel zu schnell auf und platzte zu früh. Aufgrund der überhöhten Steiggeschwindigkeit überschlug sich das komplette Gefährt beim Bersten des Ballons in der Stratosphäre. Die Sonde „überholte“ den Fallschirm, schlug das Trageil über den Fallschirm, sodass sich dieser nur zu einem Bruchteil öffnete. Eine wenig stabile Fluglage am Rande des Totalabsturzes ergab sich. Bei einer Sinkgeschwindigkeit in der oberen Troposphäre von 160 km/h erreichte die Sonde im Jetstream (an dem Tag 270 km/h) eine resultierende Geschwindigkeit von bis zu 400 km/h.

Zwar gelang der Konstruktion eine Art „Notlandung“, aber unsere komplette Kalkulation für den Livestream war bei viel zu hohen Sinkgeschwindigkeiten über den Haufen geworfen. Alle technischen Geräte waren noch intakt und wieder kam das Livebild erst nach der Landung vom Ackerboden.

Nach diesem Flug war uns klar, dass wir noch ein drittes Mal fliegen müssen. Vor dem Jugend forscht Wettbewerb!

Ein weiteres Schulfest war nicht in Sicht, Wochenenden sind familiär bei einer so großen Mannschaft oft verplant, also muss das Abenteuer Nachtstart her.

Bei diesem Flug wollen wir die Chancen eines Nachtfluges in die Stratosphäre nutzen.

Wenn wir schon in der Nacht fliegen, so wollen wir den Stratosphären-Sonnen-  
aufgang filmen. Wir sehen hier im Gegensatz zur Erde das Sonnenlicht, welches nicht nur in flachem Winkel in die Atmosphäre eindringt, sondern sie auch wieder komplett wieder verlässt. Wir sehen also den längst möglichen Weg des Lichtes durch die Atmosphäre. Das sind bei flachem Lichteinfall ca. 1340 km zuzüglich des höhenbedingten Lichtweges.

Wir erhoffen uns mithilfe eines optischen Gitters eine Spektralanalyse durchführen zu können und so die Zusammensetzung unserer Atmosphäre mit einfachen Mitteln zu analysieren.

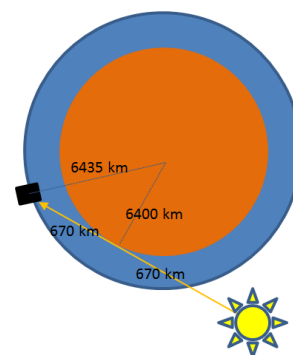


Bild 4b Weg durch die Atmosphäre (Berechnung)

## 4 Theoretische Vorüberlegungen



Die Atmosphäre besteht aus mehreren Schichten, die Grenze zum All ist nicht scharf abgrenzbar, da die Gashölle auch in größeren Höhen noch ein paar Moleküle, wegen der „harten“ Strahlung als Ionen aufweist.

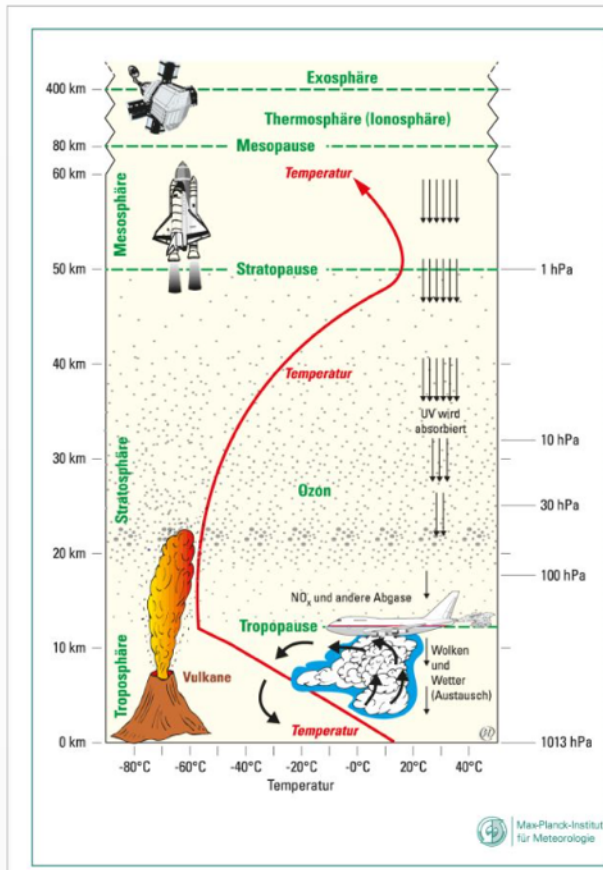


Abbildung 5 Der Stockwerksaufbau der Atmosphäre Quelle: Quelle: Norbert Noreiks, Max-Planck-Institut für Meteorologie In

In der Troposphäre, in der wir leben, sind ca. 80 Prozent der gesamten Luftmasse und fast der gesamte Wasserdampf der Atmosphäre enthalten. Sie reicht bei uns bis in eine Höhe von ungefähr 15 Kilometern. Mit zunehmender Höhe wird es in der Troposphäre immer kälter, weil der größte Teil der Sonnenenergie am Erdboden absorbiert wird und von dort auch an die Atmosphäre abgegeben wird. Pro 1km wird es etwa 6,5 Grad Celsius kälter. In der Stratosphäre (15 bis 50km Höhe) wird es nach oben hin wieder wärmer. Grund dafür ist die Ozonschicht (20 bis 45km Höhe), diese absorbiert die UV-Strahlung des Sonnenlichtes und wandelt diese in Wärme um. Zudem befindet sich in der Stratosphäre fast kein Wasserdampf mehr. Der Luftdruck sinkt in den beiden Lufthüllen exponentiell von 1013 hPa auf unter 1 hPa.

Wir müssen also beim Durchgang durch die Atmosphäre mit der Absorption und Streuung durch folgende Gase rechnen (Tabelle rechts).

|                                             |         |
|---------------------------------------------|---------|
| Stickstoff                                  | 78 %    |
| Sauerstoff                                  | 21 %    |
| Argon                                       | 0,9 %   |
| Kohlendioxid                                | 380 ppm |
| Neon                                        | 18 ppm  |
| Helium                                      | 5 ppm   |
| Methan                                      | 1,8 ppm |
| Wasserstoff                                 | 500 ppb |
| Lachgas                                     | 310 ppb |
| Kohlenmonoxid                               | 100 ppb |
| Ozon                                        | 30 ppb  |
| andere                                      |         |
| Tabelle 1 Gaszusammensetzung der Atmosphäre |         |

Die Summe der Absorption durch diese Gase verbunden mit der Wärmestrahlung der Erde ergibt das sogenannte „atmosphärische Fenster“, also jene Wellenlängen, welche die Atmosphäre passieren können.

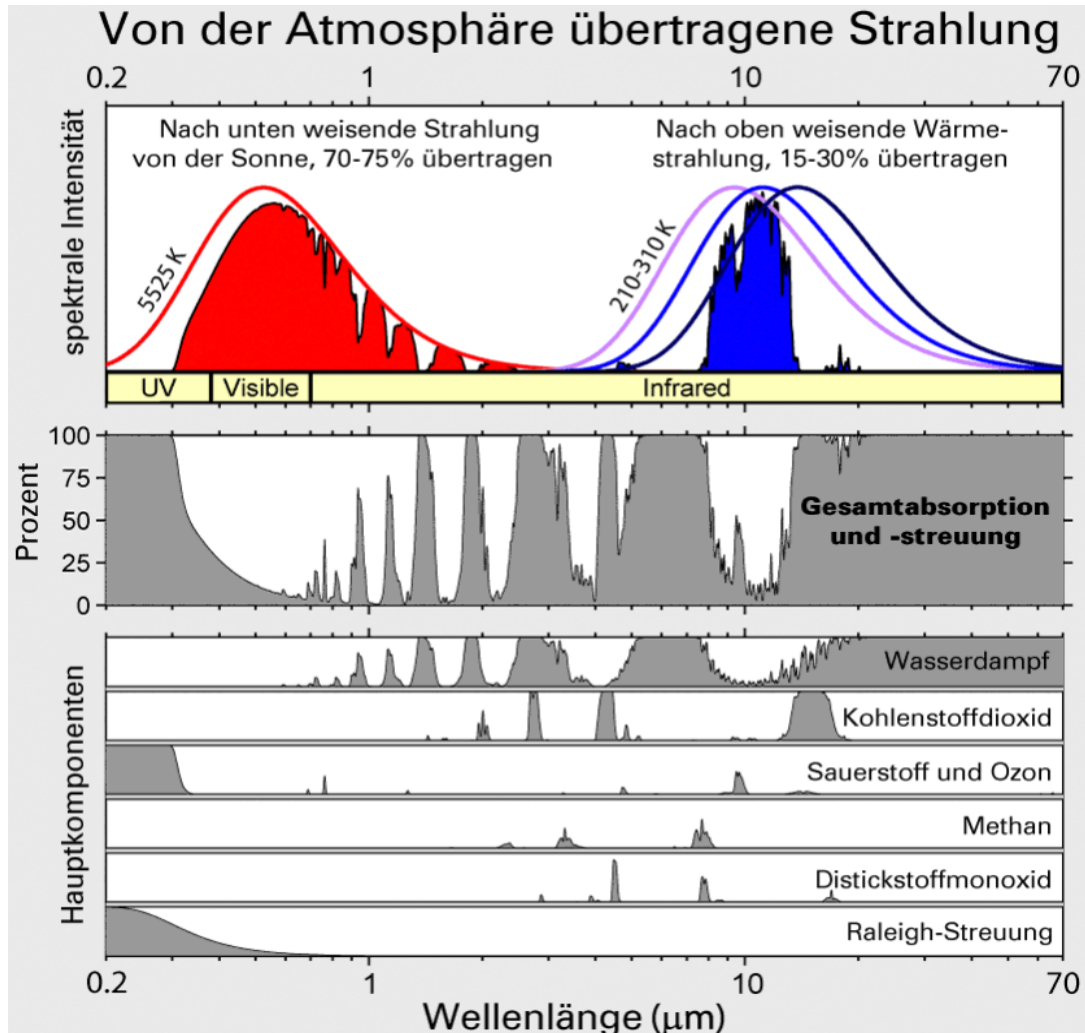


Abb.: 6 Das atmosphärische Fenster

Quelle [https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches\\_Fenster](https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches_Fenster)

Das Lichtspektrum, also die Wellenlängen des für Menschen sichtbaren Lichts, liegt zwischen 380 Nanometer und 780 nm. Wirksam ist hier besonders die Raleigh-Streuung, das ist die Streuung von Licht an Teilchen die selber kleiner sind als die Wellenlänge des Lichtes.

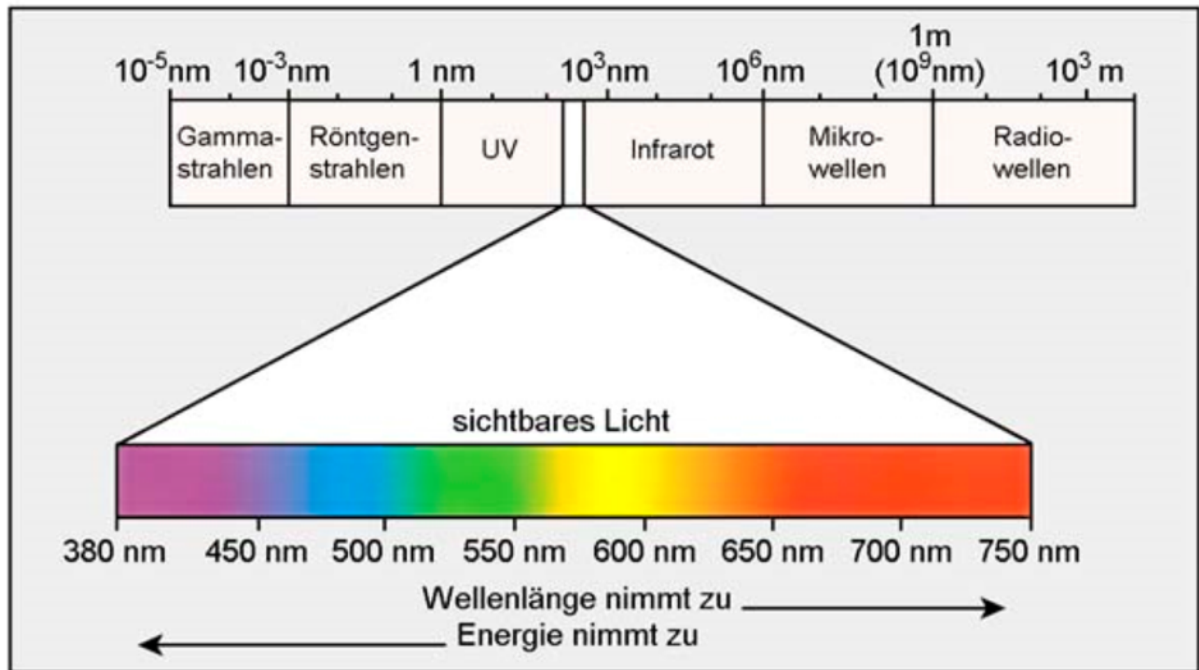


Bild 7 Spektrum des Lichts besonderes Merkmal auf das Sichtbare Licht

[http://3.bp.blogspot.com/-Ea\\_ti0AHyJA/UIPAXKoTFbI/AAAAAAAAARU/dHtK-Raiyb-0/s1600/licht.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-Ea_ti0AHyJA/UIPAXKoTFbI/AAAAAAAAARU/dHtK-Raiyb-0/s1600/licht.jpg)

Sehen wir die aufgehende Sonne nur wenige Grad über dem Horizont, so ist sie also rötlich, was an dem besonders langen Weg durch die Atmosphäre von über 200 km liegt.

Im Fall unseres Fluges müssten wir also höhenbedingt diese Weglänge deutlich überschreiten, denn mit „aufgehender“ Sonne tritt der Lichtstrahl nicht nur in flachem Winkel in die Atmosphäre ein, sondern bis zur Stratosphäre auch wieder heraus.

Zusätzlich zur Streuung müsste auch die von der Wellenlänge abhängige Brechung des Lichtes bei flachem Eintrittswinkel das rote Licht bei Sonnenaufgang zuerst aufscheinen lassen.

Die Hypothese lautet also, dass wir einen Sonnenaufgang sehen, der einen auf der Erdoberfläche niemals erreichbaren Rotanteil erreicht.



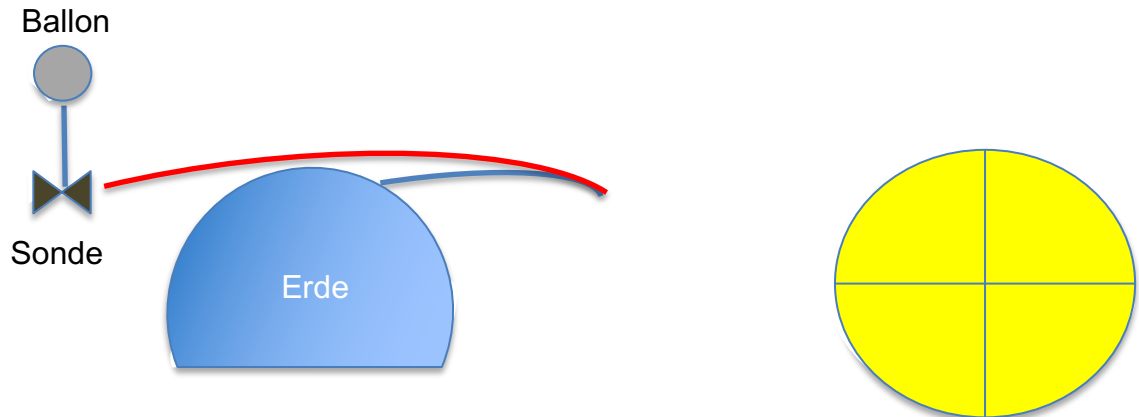


Bild 8 Frequenzverschiebung durch Lichtbrechung: Rot passiert die Erde Blau wird so gebrochen, dass es von der Erdoberfläche absorbiert wird.

## 5 Vorbereitende Experimente

Für unser Vorhaben musste der experimentelle Aufbau sorgfältig geplant werden, zumal in der Sonde nur begrenzt Platz vorhanden ist. Dazu entwarfen wir ein Modellexperiment, bei dem das Licht einer Glühlampe mit einem Gitter spektral zerlegt wird. Bei diesem werden farbige Bilder eines Beleuchtungsspaltes auf einen Schirm projiziert.

Wir variierten die Gitterkonstante des Beugungsgitters, die Gegenstands- und die Bildweite. Es zeigte sich, dass ein Gitter mit 1000 Linien pro mm auch bei kleinen Bildweiten ein gutes Spektrum erzeugt.

Im Weiteren ersetzen wir Projektionslinse und Schirm durch eine Kamera.

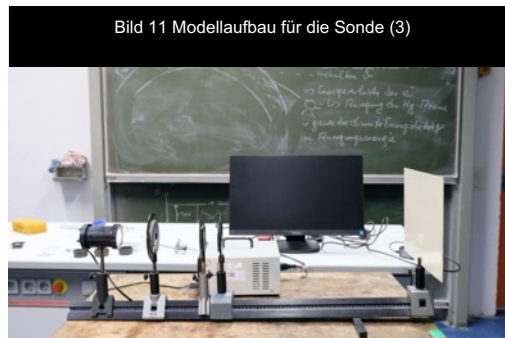


Bild 11 Modellaufbau für die Sonde (3)



Bild 12 Modellaufbau für die Sonde mit Kamera (1)



Bild 9 Modelaufbau für die Sonde (1)

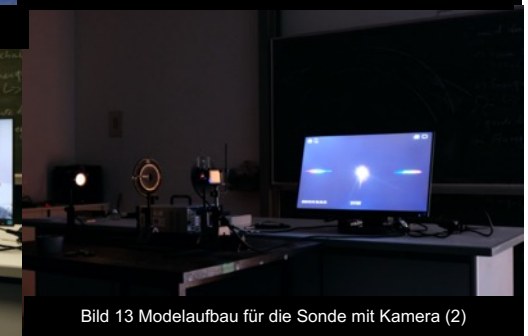


Bild 10 Modelaufbau für die Sonde (2)

Bild 13 Modelaufbau für die Sonde mit Kamera (2)

Aus diesen Vorexperimenten konnten wir schließen, dass der Abstand zwischen Kamera und Linse möglichst gering sein muss, um ein optimales Bild zu erhalten. Daher werden wir in unserem Aufbau das Gitter direkt vor der Kameralinse platzieren. Der Abstand zwischen Blende und Gitter sollte für eine optimal breite Zerlegung bei ca. 10cm liegen. Die Blende kann aufgrund der Lichtintensität der Sonne möglichst schmal eingestellt werden. Rechts das Ergebnis beim Halten in die Sonne an einem wolkenfreien Tag gegen 13 Uhr. Hier ist die Blende bei ca. einem Millimeter Öffnung und man sieht deutlich eine Überbelichtung des Bildes welches es schwieriger macht das Spektrum zu deuten und richtig abzulesen.



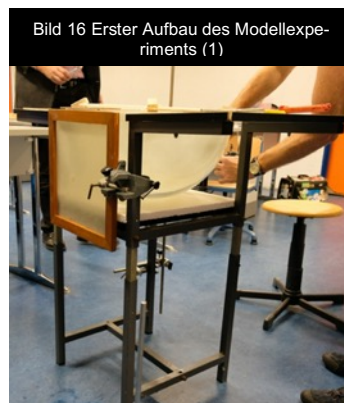
Bild 15 Bild des Aufbaus bei 1 mm Blende

## 6.1 Unser Modellexperiment

Aus den Vorüberlegungen ergab sich ebenfalls der Plan, ein Funktionsmodell zu bauen, um die Hypothesenbildung, welches Bild wir denn überhaupt erwarten, zu unterstützen.

### Der Aufbau des Funktionsmodells

Die Grundidee besteht darin, den Eintritt des Lichtes ins optisch dichtere Medium durch eine Wasserkugel zu simulieren. Als Lichtquellen dienen ein grüner und ein roter Laser. Entsprechend der unterschiedlichen Brechung werden trotz paralleler Anordnung die Lichtwege und auch die Auftreffpunkte auf einem Schirm getrennt wahrgenommen.



Der Aufbau, wie in den Abbildungen gezeigt, besteht aus einem Metallrahmen, einer durchsichtigen Plexiglaskugel, die mit Wasser gefüllt ist und einer undurchsichtigen, kleineren, zunächst weißen Plexiglaskugel.

Analog zu unserer Ausgangshypothese hatten wir die Vermutung, dass auch in unserem Funktionsmodell das rote Licht bei sehr flachem Winkel weniger stark gebrochen, also quasi „um“ „unsere“ Erdkugel herumgeführt werden kann, während unser grüner Laser bei gleichem Winkel bereits von „unsere“ Erde absorbiert wird.

Wir stellten fest, dass wir das Experiment technisch verbessern müssen:

Zwar konnten wir darstellen, dass der rote, scharf abgebildete Laserpunkt bei geeignetem flachen Winkel die Wasser-

hülle (unsere Atmosphäre) durchdringt, der grüne Laser wurde jedoch nicht vollständig von der inneren weißen Kugel absorbiert, was zu einer Art „Zerfaserung“ des grünen Lasers führte.

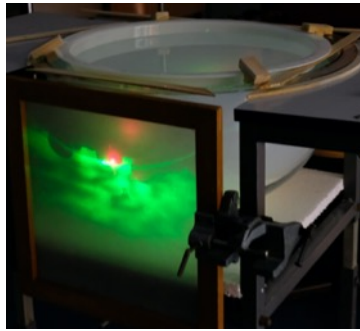


Bild 17 Erste Ergebnisse des Modellexperiments (2)

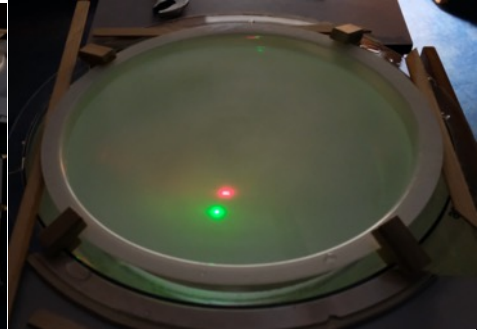


Bild 18 Erste Ergebnisse des Modellexperiments (2)

## **6.2 Die vermuteten Ursachen für den Fehler:**

Im Maßstab unseres Modellexperimentes sind die Abweichungen der jeweiligen Lichtwege nur minimal.

Insbesondere scheint aber das grüne Licht auf und in der weißen Innenkugel nicht nur absorbiert, sondern auch reflektiert, zum Teil in der Plexiglashülle durch vielfache Reflektion und letztendlich Austritt aus der Plexiglashülle „zerfasert“ zu werden.

Auch ist es möglich, dass das weiße Styropor, welches wir als Unterlage verwendet haben, ebenfalls einen Teil des Lichtes reflektiert.

## **6.3 Lösungsansätze:**

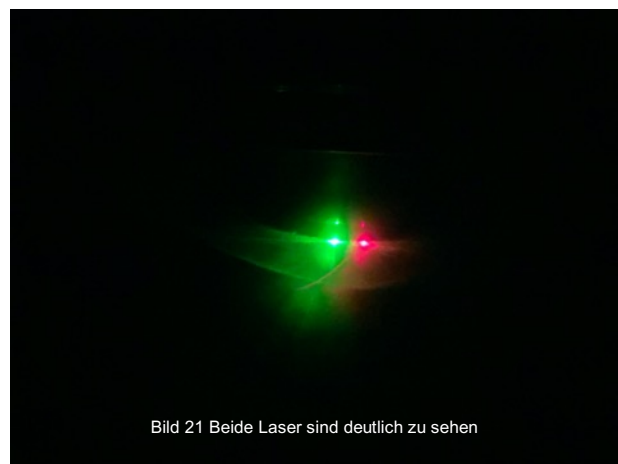
Wir müssen technisch das Problem lösen, die beiden Laser exakt parallel zu führen.

Bevor unser nächster Versuch stattfindet, werden wir die innere Kugel zusätzlich mit einem schwarzen Lack überziehen, um die Absorption zu stärken.

Außerdem wird auf das Styropor eine Schwarze Pappe gelegt, um auch hier Reflektionen zu vermeiden.

## 6.3 Ergebnis dieser Änderungen

Als Ergebnis zeigten sich drei Zustände, die man auf dem Schirm beobachten konnte. Im ersten Zustand (oben rechts) sah man auf dem Schirm hinter dem Modell nur die Streuung der beiden Laser. Im zweiten Zustand sah man ausschließlich den roten Laser deutlich (mittleres Bild). Im dritten Zustand waren beide Laser gut zu sehen (Bild unten rechts). Unsere Hypothese ist also, dass die langwelligeren Anteile des sichtbaren Lichtes früher sichtbar werden. Wir erwarten in der Stratosphäre bei Sonnenaufgang zunächst rotes und danach gelbes Licht.



## 7 Die Konstruktion der Sonde und der „Spektralkamera“.

Jegliche Konstruktion hat sich dem Diktat der Gewichtseinsparung zu beugen. Deswegen schieden z.B. Prismen zur Lichtzerlegung von vorne herein aus.

### 7.1 Optisches Gitter

Ein optisches Gitter ist eine Reihe von Spalten mit gleicher Spaltbreite und gleichem Abstand zueinander. Wie bei einem Einzel- oder Doppelspalt wird auch bei einem optischen Gitter das Licht gebeugt. Es kommt zur Interferenz und man kann das dabei entstehende Muster auf einem Schirm abbilden. Licht, welches aus einer Mischung von unterschiedlichen Farben besteht, (z.B. weißes Licht) wird wie bei einem Prisma in seine einzelnen „Farben“ = Wellenlängen „zerlegt“.

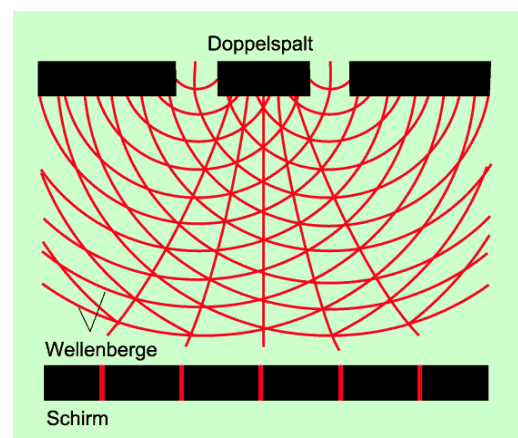


Bild 22 Lichtverhalten am Doppelspalt



## 7.2 Aufbau der Sonde

Beim Aufbau der Sonde war dieses Mal zu beachten, dass wir 2 Kameras installieren müssen, welche in dieselbe Richtung zeigen, da wir eine Kamera für unseren Versuch brauchen und eine, um Vergleichswerte zu haben, mit der wir unsern Versuch abgleichen können. Da wir für unser Experiment einen Aufbau wie oben erklärt, installieren müssen ergeben sich zusätzliche Schwierigkeiten. Hinzukommt, dass wir die ganze Konstruktion in einem Winkel von ca. 5 Grad Installieren müssen, um eine optimale Sicht auf den Sonnenaufgang bei 35km zu haben. Außerdem müssen wir den Ballon zusätzlich beleuchten, um ihn für Flugzeuge und andere Gefährte im Luftraum sichtbar zu machen. Aus diesen Punkten haben wir folgende Konstruktion gebaut (hier rechts abgebildet). Auf der einen Seite der Konstruktion sehen Sie die zwei Kameras: Eine ist nur durch ein Loch zu erkennen, die andere deutlicher durch ihren Aufbau. Auf dem Deckel der Box sehen Sie eine einfache Stirnlampe, die wir zur Beleuchtung des Ballons verwenden. Direkt dahinter ist der GPS Sender montiert, den wir verwenden, um jederzeit die aktuelle Position bestimmen zu können. Im vorderen Bereich sehen Sie außerdem noch den Außentemperatur Sensor des Datenloggers, den wir verwenden, um alle relevanten Daten des Fluges, wie Innen Temperatur, Außen Temperatur, Höhe und Geschwindigkeit in X und Y Richtung zu erfassen. Diese Daten verwenden wir später, um die genaue Position zu bestimmen, in der unsere Bilder aufgenommen wurden. Alle wesentlichen während des Sondenflugs gewonnenen Daten und Bilder werden wir Ihnen am Wettbewerbstag inklusive der Ergebnisse präsentieren.

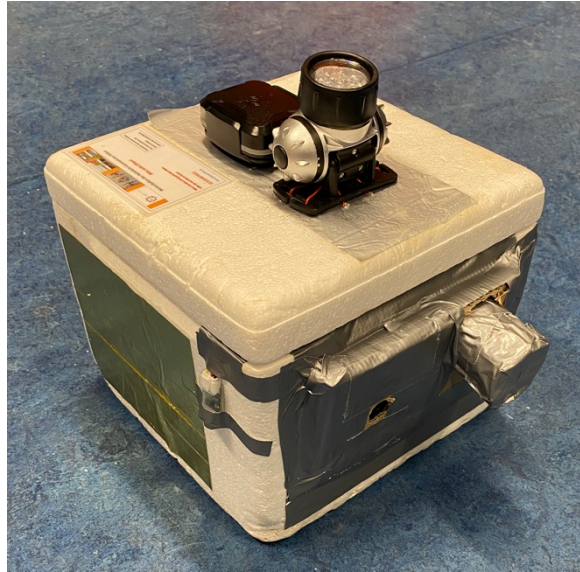


Bild 23 Sonde Vorne Links und Oben



Bild 24 Sonde Vorne Rechts und oben



Bild 24 Sonde Winkel der Kameras



Bild 25 Sonde oben

## 8 Ergebnisse



In unserm Modellexperiment haben wir herausgefunden, dass erwartungsgemäß das grüne Licht in unserm Modell stärker gebrochen wird. Es gilt nun diese Erkenntnisse auch bezogen auf die „echte Welt“ zu überprüfen. Wir erwarten ein „Morgenrot“ welches jedes Morgenrot auf der Erde übertrifft, wenn man mal von Farbeffekten durch Luftverschmutzung (Schwefelverbindungen in der Luft) absieht.

Schließlich gibt es ja auch erhebliche Unterschiede in unserem Modellexperiment: Wir haben es in unserem Modell mit einem scharf definierten „Dichtesprung“ zu tun, während die Atmosphäre ja ganz langsam an Konzentration zunimmt und die Brechung also eher „kurvenförmig“ ausfallen wird. Der „Dichtesprung von Weltall / Luft ist auch ein anderer als von Luft/Wasser wie in unserem Modell.

Die Ergebnisse der Messungen während des Fluges können wegen der aktuellen Terminlage naturgemäß erst am Tag des Wettbewerbes präsentiert werden.

## **9 Ergebnisdiskussion**

Bei unseren bisherigen Versuchen hatten wir schon eine Vielzahl technischer Probleme, wie oben geschildert. Das größte Risiko in unserem Projekt besteht aber in dem Flug selbst, bei dem nicht abzusehen ist, ob der Start glückt, die Höhe tatsächlich erreicht, alle elektrischen Geräte über den ganzen Zeitraum funktionieren werden und das Gespann sicher landet und die Datenspeicher aus den Kameras geborgen werden können.

Langzeitmessungen auf der besonders langen Strecke durch die Stratosphäre könnten z.B. zeigen, ob aufgrund des Klimawandels eine Änderung des Lichtes auftritt. Da Kohlendioxid auch im mittleren Bereich der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes absorbiert, dürfte das zu einer leichten Abschwächung der am Boden auftreffenden Lichtmenge, aber auch einer durch Absorption verstärkten „direkten“ Erwärmung der Atmosphäre führen. Da insgesamt die Konzentration des Kohlendioxids selbst bei weiterem Anstieg relativ gering ist, dürfte dieser Effekt weniger dramatisch sein. Abzuschätzen ist wie die durch den Treibhauseffekt veränderte Reflektion z.B. durch Wolken und höhere Luftfeuchte künftig einzuordnen sind. Mit den vorhandenen Messmöglichkeiten aus dem Orbit kann man bei Langzeitmessungen dazu einige Hinweise bekommen, aber möglicherweise ist das auch mit der „low budget“ Methode der „Wetterballonfahrt“ besser als von der Erdoberfläche möglich.

## **10 Quellen- und Literaturverzeichnis**

Susanne Decker, Aufbau der Erdatmosphäre, <https://www.planet-wissen.de/natur/klima/erdatmosferaere/pwieaufbaudererdatmosferaere100.html>, besucht am 16.12.2019.

Dieter Kasang, Charakteristische Eigenschaften der Stratosphäre, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Stratosph%C3%A4re>, besucht am 16.12.2019

Dieter Kasang auf Hamburger Bildungsserver, Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre <https://bildungsserver.hamburg.de/atmosphaere-und-treibhauseffekt/2068640/atmosphaere-aufbau-artikel/> besucht am 16.12.2019

Verena Wilkes als Leitung des Literaturkurses: Stratosphärenflug am Helmholtz-Gymnasium Hilden 2018 06.10. 2019 <https://www.youtube.com/watch?v=zBr6t1D3NvM>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches\\_Fenster#/media/Datei:AtmosphericTransmission\\_de.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches_Fenster#/media/Datei:AtmosphericTransmission_de.png)

Wikipedia: Atmosphärisches Fenster [https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches\\_Fenster](https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A4risches_Fenster) besucht am 16.12.2019

Wikipedia Rayleigh-Streuung

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Streuung> besucht am 16.12.2019

## **11 Unterstützungsleistungen**

Unterstützt wurden wir von 3M (Finanzen), vom VFF an unserer Schule (Finanzen), Gewerbepark Süd Hilden (Finanzen) von Vodafone (Bereitstellung von Handy und Hochfrequenzlabor).