

JuniorAkademie Adelsheim

21. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2024



Astronomie



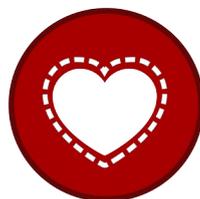
Literatur/Philosophie



Mathematik/Informatik



Mathematik/Physik



Medizin



Meteorologie/Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2024**

**21. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim:

Regierungspräsidium Karlsruhe
Abteilung 7 –Schule und Bildung–
Hebelstr. 2

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de

birgit.schillinger@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 21. JuniorAkademie Adelsheim 2024 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2024 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

Vorwort

„Völlig losgelöst ...“

... vom Schulalltag schwebten 76 Jugendliche schwerelos durch den „Kosmos“ – unser diesjähriges Motto – der 21. JuniorAkademie Adelsheim. Wie auch Major Tom im gleichnamigen Sommerhit von Peter Schilling begaben sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der diesjährigen Science Academy auf eine Reise in neue Welten – eine Reise in die Weiten der Wissenschaft. Begleitet von unserem 28köpfigen Leitungsteam sollten sie schon bald neue Interessen entdecken, wissenschaftliche Erfahrungen sammeln und Freundschaften knüpfen.

Der Startschuss für diese Mission fiel Mitte Juni auf dem Gelände des Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim. Am Eröffnungswochenende kam unsere Crew das erste Mal zusammen und lernte sich kennen – alle mit ganz eigenen Vorerfahrungen, Talenten und Erwartungen. Was sie auf ihrem Flug so alles erleben würden, stand zu diesem Zeitpunkt noch in den Sternen.



Im Sommer dann nahm unsere Reise so richtig Fahrt auf. Über zwei Wochen hinweg arbeiteten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den sechs Kursen und entdeckten und gestalteten gemeinsam den Mikrokosmos Akademie.

Der Philosophiekurs verglich dystopische und utopische Welten, im Kurs Mathematik/Informatik wurde der Energiemix der Zukunft analysiert und optimiert, und die Medizinerinnen und Mediziner

fragten sich, was „Gesundheit“ eigentlich bedeutet. Unterdessen schickte der Meteorologiekurs einen Wetterballon in den Himmel, die Astronominnen und Astronomen richteten ihren Blick auf Meteoriden im Weltall und Meteoriten auf der Erde, und der Kurs Mathematik/Physik ging nochmal einen Schritt weiter und erforschte gleich die Unendlichkeit.

Neben der Kurszeit haben sich die Crewmitglieder bei Ausflügen und in den KüAs, beim Morgensport, im Theater oder als Teil des Orchesters, bei Wanderungen und Grillabenden besser kennengelernt und ihre Interessen ausgelebt. So verging die Zeit wie im Flug, und der große Abschlussabend kam viel zu früh.

Am Dokumentationswochenende im Herbst bot sich dann die Möglichkeit, auf die schöne gemeinsame Zeit zurückzublicken und über die Entdeckungen aus dem Trip durch den Akademie-Kosmos zu reflektieren. Zwar war damit nun die Zeit in Adelsheim vorbei, doch unsere Reise ist noch lange nicht zu Ende.

Losgelöst und schwerelos schweben wir weiter, doch anders als Major Tom melden wir uns zurück – hier und heute, mit dieser Dokumentation. Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Eure/Ihre Akademieleitung



Melissa Bauer (Assistenz)



Mathis Bußhoff (Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – LITERATUR/PHILOSOPHIE	33
KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK	53
KURS 4 – MATHEMATIK/PHYSIK	73
KURS 5 – MEDIZIN	97
KURS 6 – METEOROLOGIE/PHYSIK	115
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	135
DANKSAGUNG	151
BILDNACHWEIS	152

Kurs 6 – Wetterkunde und Atmosphärenphysik



Unser Kurs

Anne hatte als Befüllungskordinatorin eine entscheidende Schlüsselrolle am Starttag des Wetterballons. Diese Führungsposition vertrat sie auch im Kurs, sodass sie oft die langwierigen Diskussionen zum Arbeitsplan strukturierte. Darüber hinaus beschäftigte sie sich als Teil der WetterstationGruppe mit den Sensoren und der Programmierung, was nicht nur sie viel Geduld und Nerven kostete.

Ben war als unser Flight Commander sehr strukturiert und fokussiert. Er setzte sich ungemein für unser Team ein und beschäftigte sich mit der nicht immer ganz einfachen Programmierung der Sensoren. Um sich bei diesen beiden schwierigen Aufgaben zu schützen, trug er stets einen Einhornhelm. Und so ganz nebenbei leitete er auch

noch mit viel Engagement die Garten-KüA, sodass wir die Erdbeerpflänzchen am Dokumentationswochenende verteilen konnten.

Clara lockerte durch ihre stets gute Laune den Kurs täglich mit kleinen Scherzen auf. Dank ihrer aufgeschlossenen Art fiel es ihr leicht, auch außerhalb des Kurses schnell neue Freundschaften zu schließen. Auch versorgte sie unseren Kurs mit Frühstück, wenn sich die Hälfte von uns dazu entschlossen hatte, ein paar verlorene Stunden Schlaf nachzuholen. Nicht nur hatte sie im Orchester mit dem Marimbaphon einen Hingucker geschaffen, sondern sie war auch beim Bau der Wetterstation eine Expertin.

Georg brachte uns als stets kritisch denkender Kursleiter zwischendrin ganz schön ins Schwitzen. Jedoch erwies sich im Laufe der

Akademie seine langjährige Erfahrung als sehr hilfreich, und wir haben alle zusammen eine ganze Menge von ihm gelernt. Da er bereits einen Wetterballon hatte starten lassen und wusste, auf was es dabei ankam, war seine Rolle als Knotenmaster wie geschaffen für ihn. Auch von Hornbach ließ er sich nicht die Laune verderben, obwohl sie ihn in gewisser Weise um das Helium betrogen hatten.

Jeannine war für die kleinen Spiele zwischen unseren Kursschienen immer zu haben und hat sich mit großer Begeisterung in die Rolle der Beobachterin gestürzt. Aber auch im Kurs war sie immer für uns da und hat sich um jedes noch so kleine Problem von uns gekümmert. Zudem hatte sie sehr viel Geduld mit uns, wenn es z. B. darum ging, das richtige Programm für den Arduino zu schreiben.

Julia ist ein riesengroßer Taylor-Swift-Fan und besitzt über 200 Armbänder, die sie alle mit viel Liebe selber gemacht hat. Bei unseren täglichen Plenen behielt sie die Übersicht und strukturierte unseren Plan mit kleinen Projektblöcken. Bei Diskussionsrunden brachte sie unseren Kurs sehr viel weiter, indem sie jedes Detail mit einem kritischen Auge betrachtete. Sobald es ans Praktische ging, war sie mit großem Eifer dabei und übernahm die schwierige Aufgabe als Boxkoordinatorin. Und ganz nebenbei spielte sie auch noch im Theater eine der größeren Rollen.

Julius war unser Experte, wenn es um Halbleiter ging. Er brachte seine Themen beim Präsentieren mit viel Überzeugung und mit einer guten Verständlichkeit an sein Publikum heran. Beim Wetterballon setzte er sich immer für das ganze Team ein und hatte die wichtige Aufgabe des GPS-Masters. Er zögerte auch keine Sekunde, seine Eltern anzurufen und diese bei der Suchen der Ballonbox in der Nähe ihres Wohnortes einzubinden.

Leon begeisterte uns mit seiner selbstbewussten und charmanten Art, die ihm auch im Theater zugute kam. Da er auf Partys immer der Letzte war, hatte er einen großen

Bekanntenkreis, weshalb der Job als Pressesprecher für ihn wie gerufen kam. Außerdem war er ein Spezialist, was die Dreitefelprojektion anging.

Leonard hörte man ständig mit Julius über diverse Themen der Mathematik und der Physik diskutieren. Wenn es darauf ankam, wuchs er für unseren Kurs über sich selbst hinaus, was er bei den Präsentationen unter Beweis stellte. Er setzte sich sowohl beim Sportfest für unser Team ein als auch beim Orchester, bei dem er die erste Stimme unter den Geigen spielte.

Nicola trug als unser Schülermentor eine große Verantwortung, was er mit Bravour meisterte. Er setzte sich immer für uns ein und druckte am Ende sogar kleine Einhörner für uns im 3D-Drucker. Seine Freizeit verlegte er dann meist in die späten Stunden des Tages. Wir halfen ihm, indem wir ihm das Aufstehen mit einem kleinen Ständchen erleichterten. Beim Sportfest zeigte er sich motiviert bis in die Haarspitzen und hatte durch seinen Erfahrungsschatz in den letzten Jahren hilfreiche Tipps und Tricks für uns parat. Auch beim abschließenden Lagerschwertkampf war er aus vollem Herzen dabei und wertete unsere Siegerurkunde mit echtem Heldenblut auf.

Rebekka hatte das mit Abstand passendste Hobby der gesamten Akademie: das Segelfliegen. Dadurch brachte sie auch schon ein beachtliches Vorwissen in der Atmosphärenphysik mit. Sie war gemacht für unseren Plan, einen Wetterballon starten zu lassen. Während unserer Kursschienen traf man sie fast nie ohne ihre Kamera an, mit der sie unsere Zeit in tollen Bildern festhielt. Und ging ihr mal die Arbeit als Ballonmasterin aus, schnappte sie sich ihr iPad und fing an, unser Kurs-T-Shirt mit einer überragenden Zeichenkunst zu designen.

Rieke war als Teil des Security-Duos beim Ballonstart für die Sicherheitsmaßnahmen verantwortlich. Darüber hinaus leistete sie einen wichtigen Beitrag beim Löten der Sensoren und beim Bau der Wetterstation. Zudem unterstützte sie unser Team, wo sie nur konnte, und erstellte aus diversen Auf-

nahmen erstklassiges Videomaterial für den Präsentationstag.

Rouven war stets ein aufmerksamer Freund, der immer objektiv an die Aufgaben heranging. Er ist ein analytisch denkender Mensch, der sich vor allem im Bereich 3D-Druck auskennt. Er hat unsere Halterungen für die Box designed und war somit als Boxbestücker bestens geeignet. Sollten wir mal wieder ein paar Überstunden gemacht haben und dadurch später zum Essen kommen, war Rouven stets darauf bedacht, noch einiges an Obst zu ergattern.

Sylvia war eine Expertin, wenn es um unseren Arduino ging. Sie schreckte nie davor zurück, sich stundenlang mit den Programmen rumzuschlagen. Doch ihre Arbeit wurde belohnt, als nach ungefähr einer Woche die Wetterstation ihre ersten Daten aufnehmen konnte. Auch beim Wetterballon besaß sie eine unersetzliche Rolle als Siegelmeisterin. Trotz dieser anstrengenden Aufgaben ließ sie es sich nicht nehmen, jeden Morgen zum Frühsport aufzubrechen.

Umar war durch seine stille Art oft so in seine Aufgaben vertieft, dass er nichts mehr um sich herum mitbekam. Man konnte sich aber immer auf ihn verlassen, da er seine Aufgaben schnell und zuverlässig erledigte. Egal welche Frage man hatte, Umar konnte sie mit Sicherheit beantworten. Als Klebmeister besaß er außerdem eine wichtige Aufgabe im Bereich der Box für den Wetterballon.

Vorwort

NICOLA GRUNWALDT

„Das Wetter verstehen und vorhersagen“. Das war die erste Antwort auf die Einstiegsfrage der Kursleiterin und der Kursleiter: „Was wollt ihr denn überhaupt machen?“. Doch uns wurde schnell klar, in zwei Wochen war dieses Ziel nicht zu schaffen. Daher entschieden wir uns letztendlich dafür, *nur* einen Wetterballon zu bauen, eine Wetterstation in Betrieb zu nehmen und die eigenen Daten auszuwerten.

Gesagt, getan. Wir Teilnehmer fingen bereits am Eröffnungswochenende in zuerst noch zu-

rückhaltenden Diskussionen an, die aber schnell auftauten, Pläne für den Sommer zu schmieden und Einkaufslisten für Georg und Jeanine zu schreiben. Unterbrochen wurden die Diskussionen nur von physikalischem Input, um Fragen wie: „Wieso platzt ein Wetterballon überhaupt?“, zu klären. Schweren Herzens verließen wir Adelsheim nach diesem Wochenende, wir hätten alle am liebsten direkt mit dem Bauen begonnen.

Im Sommer aber war es dann endlich so weit: Wir sahen uns alle wieder! Und zum ersten Mal auch die Teile für unsere Wetterstation und natürlich für den Wetterballon. Jetzt konnten wir endlich mit dem Bauen beginnen! Oder doch nicht? Bald merkten wir, dass so ein großes Projekt ganz schön viel Planung benötigte. So kamen unsere Kursplenen zustande, in denen wir am Anfang jeder Kurseinheit die Zuteilung der Aufgabenpakete besprachen.



Abbildung 1: Startvorbereitungen

Das war auch eine exzellente Übung für das Sportfest, schnell wurden in Blitz-Kursplenen Pläne geschmiedet und alle Aufgaben verteilt. Und so machten wir unserem Schlachtruf „Schneller als der Jetstream“ alle Ehre und flogen auf den ersten Platz. Ständig angetrieben von unserem Kursmaskottchen, dem Wettereinhorn und den gelben METEO-Fahnen, die wir im Vorhinein noch schnell gebastelt hatten. Spätestens nach diesem gemeinsamen Erfolg, der unsere Kursgemeinschaft nochmal stärker zusammenschweißte, war klar, das Wettereinhorn hatte sich den besten Kurs ausgesucht.

Dank Wettereinhorn, ständigem gegenseitigen Motivieren und den ein oder anderen Arbeiten nach dem Abendessen, die wir liebevoll

„Überstunden“ taufte, schafften wir es schließlich, einen startbereiten Wetterballon vor uns stehen zu haben. Daraufhin wurde die ganze Science Academy eingeladen. Aber wie sagt man so schön, es kann ja nicht immer alles glattlaufen. Und so standen wir plötzlich mit einem halb vollen Ballon und einer leeren Heliumflasche da. Doch nachdem schnell noch ein paar Partyballon-Flaschen gekauft worden waren, konnte es endlich losgehen und der Ballon stieg in die Lüfte. Nur leider lief nicht alles wie geplant.

Bevor ich mich jedoch in unserer Kursgeschichte verirre, genauso wie der Wetterballon in den Höhen unserer Atmosphäre, wünsche ich Ihnen erst einmal viel Spaß mit dieser Dokumentation, die Ihnen hoffentlich einen kleinen Einblick in unsere wundervolle Zeit in Adelsheim bietet.

Überblick

REBEKKA TRÖSTER

Das Wetter beeinflusst unseren Alltag maßgeblich. Bei dem morgendlichen Blick aus dem Fenster fragt man sich, ob es bei den kleinen Wolken bleibt oder ob es regnen wird. Muss man sich auf ein schwüles Klima einstellen oder auf eisigen Wind? Und jeder, der schon einmal in den Bergen war, weiß, wie vorsichtig man auch im kalten Winter bezüglich der UV-Strahlung sein muss. Wir, die Kursteilnehmer und Kursteilnehmerinnen des Meteorologie-Kurses, beschäftigten uns in den zwei Wochen mit der Wetterdatenaufnahme und mit dem Wetter vor Ort, aber auch bis zu einer Höhe von 31 Kilometern. Das führte zu zwei Projekten, die gleichzeitig abliefen.

Das erste Projekt beschäftigte sich mit dem Verständnis des Wetters vor Ort. Dafür planten und bauten wir eine Wetterstation, betrieben diese und werteten anschließend die Messdaten aus. Für das Programmieren der Sensoren der Wetterstation nutzten wir Arduino. Dieses System besteht aus einem Arduino-Board, mit dem man Sensoren oder Aktoren verbinden kann, und einem dazu passenden Programm, um die Elemente des Boards zu programmieren.

Im zweiten Projekt ging es um die Datenaufnahme in der Atmosphäre. Wir planten ein

Wetterballonexperiment, um Daten in der Höhe aufzunehmen und diese auszuwerten.

Projektplanung

BEN MARX

Für unser gesamtes Meteo-Projekt brauchten wir einen guten Plan, der vor allem SMART sein musste, was die einzige Vorgabe war. SMART steht dabei für **S**pezifisch, **M**essbar, **A**kzeptiert, **R**ealisierbar und **T**erminiert.

Spezifisch meint hier genau. So konnten wir z. B. *Programmieren* oder *Box bauen* nicht als Arbeitspakete wählen, da sie zu unspezifisch wären. *Raumeinteilung für die Ballonbox festlegen* wäre hingegen sehr spezifisch.

Messbar steht für ein Ergebnis, dass man auf einen Wert überprüfen kann. Beim Arbeitspaket *Fallschirm an Box knoten* können wir beispielsweise testen, ob die Knoten fest genug sind.

Akzeptiert bedeutet, dass alle mit dem Arbeitspaket und seinem Umfang einverstanden sind, da jeder hinterher in der Lage sein muss, jedes Arbeitspaket erledigen zu können.

Realisierbar heißt, dass man umsetzbare Arbeitspakete erstellt. Wir können mit unserem Ballon z. B. maximal 1,6 kg heben, und auch der Platz in der Kapsel ist begrenzt.

Terminiert bedeutet, dass wir unserem Arbeitspaket einen Termin geben, an dem es erledigt sein muss, um z. B. mit dem nächsten, von diesem Arbeitspaket abhängenden Arbeitspaket anzufangen.

In einem Projektstrukturplan fassten wir die SMARTen Arbeitspakete zusammen und ordneten sie zu, sodass alle zusammengehörigen Arbeitspakete beieinander lagen.

Im Projektablaufplan mussten wir anschließend den genauen zeitlichen Ablauf für die einzelnen Arbeitspakete festlegen, damit das Projekt seine endgültige Struktur erhielt. Da wir den Zeitaufwand von einigen Arbeitspaketen nicht immer exakt einschätzen konnten, war es notwendig, den Ablaufplan in den Folgetagen immer wieder anzupassen.

Um mit dieser SMART-Methode arbeiten zu können, haben wir uns einen ganzen Tag damit beschäftigt, unseren Strukturplan für die beiden Teilprojekte und unseren Ablaufplan zu erstellen. Jetzt konnte es losgehen.

Physikalische Größen

UMAR FAROOQ, LEON JAHNZ

Die Temperatur

Für die Beschreibung des „Wetters“ benötigen wir ein paar grundlegende physikalische Größen: die Temperatur, den Druck und die Luftfeuchtigkeit.

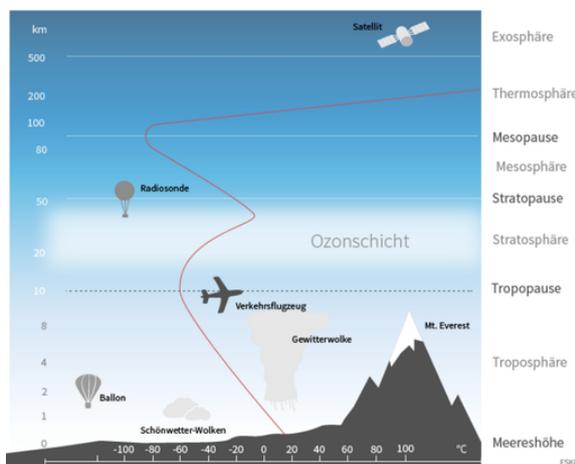


Abbildung 2: Temperaturverlauf in unserer Atmosphäre¹

Temperatur ist eine physikalische Größe, die den thermischen Zustand eines Objektes beschreibt. Sie stellt ein Maß für die durchschnittliche kinetische Energie der Teilchen dar. Die Luftdichte beeinflusst ebenfalls die Bewegung der Luftmoleküle. Je mehr Strahlung die Teilchen von der Sonne bekommen, desto schneller bewegen sie sich, was zu einer Erhöhung der kinetischen Energie führt.

Weil der Druck mit zunehmender Höhe geringer wird und die kinetische Energie der Teilchen somit zunimmt, sollte es sich, falls man sich dort oben aufhielte, sehr warm anfühlen. Doch tatsächlich ist es für uns sehr kalt.

In der Troposphäre, die vom Erdboden bis in etwa 8–15 km Höhe reicht, beträgt die Dichte der

Luft etwa $2,5 \cdot 10^{19}$ Moleküle pro Kubikzentimeter. Weiter oben, etwa in der Thermosphäre, die bis etwa 85 km Höhe geht, fällt dieser Wert drastisch auf wenige Tausend Moleküle pro Kubikzentimeter ab. Das bedeutet, dass sich in der Thermosphäre zwar die einzelnen Moleküle schneller bewegen, aber die große Leere zwischen ihnen dafür sorgt, dass kaum kinetische Energie zwischen diesen wenigen Teilchen übertragen wird. Deshalb fühlt es sich in höheren Schichten trotz einer hohen Teilchenbewegung kalt an.

Der Druck

Druck ist im Allgemeinen Kraft pro Fläche $p = \frac{F}{A}$. Der Normaldruck auf Meereshöhe liegt bei 1013 hPa oder 1,013 bar. Der mathematische Zusammenhang dieser Einheiten ist wie folgt: 1 bar = 1000 hPa = 100000 Pa. Dabei steht h in diesem Fall für die Vorsilbe hekto, was 100 bedeutet. Bei unserem Projekt verwenden wir immer Hektopascal.

Ein Pascal ist definiert als $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Ein Pascal entspricht beispielsweise dem Druck, der entsteht, wenn sich die Gewichtskraft einer Tafel Schokolade gleichmäßig auf der Fläche eines Quadratmeters verteilt.

Um den Luftdruck zu berechnen, muss man wissen, mit welcher Kraft F die Luft auf eine bestimmte Fläche A wirkt. Dabei entspricht die Kraft F dem Produkt aus der Masse m der Luft und dem Ortsfaktor $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Es gilt also: $F = m \cdot g$. Wenn man nun alles in die ursprüngliche Gleichung einsetzt, dann erhält man:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$$

Die Luftfeuchtigkeit

Eine weitere wichtige physikalische Größe ist die Luftfeuchtigkeit. Man unterscheidet relative und absolute Feuchtigkeit. Die absolute Luftfeuchte gibt den Gewichtsanteil des gasförmigen Wasserdampfes in Gramm pro Kubikmeter Luft an. Mit steigender Temperatur kann Luft solange mehr Wasser aufnehmen, bis der Maximalwert erreicht ist. Man spricht dann

¹Abbildung: Wissensplattform eskp.de (CC BY 4.0)

von Sättigung. Die Temperatur, zu der die Sättigung erreicht wird, nennt man Taupunkt.

Die relative Luftfeuchtigkeit gibt das Verhältnis zwischen dem Gewichtsanteil des gasförmigen Wasserdampfes und dem Sättigungswert an. Sie wird in der Regel in Prozent angegeben. 100 % relative Luftfeuchtigkeit entspricht also dem Sättigungswert. Eine hohe relative Luftfeuchte empfinden wir als schwül.

Bau der Wetterstation

CLARA FRECKMANN

Eine Wetterstation – was ist das überhaupt?

Eine Wetterstation beinhaltet unterschiedliche Sensoren, mit deren Hilfe man verschiedene physikalische Größen messen kann. Anhand dieser Daten entsteht dann zum Beispiel der Wetterbericht. Doch die Messwerte können nicht nur für die aktuelle Wettervorhersage benutzt werden, sondern spielen auch bei der Wetterbeobachtung und Wetterforschung eine erhebliche Rolle.

Wir, der Meteorologiekurs, haben es uns zur Aufgabe gemacht, selber eine solche Wetterstation zu entwerfen und zu bauen. Dadurch konnten wir selbst Daten aufnehmen, sie auswerten und Erkenntnis über das Wetter erlangen.

Doch beim Bau einer Wetterstation muss man auf einiges achten, damit man weltweit Messdaten vergleichen kann. Diesen internationalen Standard für Wetterstationen hat die World Meteorological Organisation (WMO) festgelegt. Schon bei der Suche eines geeigneten Standortes mussten wir auf einige wichtige Aspekte achten. Die Wetterstation muss laut Vorgaben auf einer flachen Fläche aufgestellt werden, fernab von Häusern und Waldgebieten. Des Weiteren darf nicht in Großstädten oder lokalen Kältelöchern gemessen werden. Auch der Untergrund spielt bei einem geeigneten Standort eine große Rolle. Pflastersteine oder Asphalt stellen zum Beispiel schlechte Bedingungen dar, da sich diese bei hohen Temperaturen stark aufheizen und somit die Temperaturmessungen verfälschen.

Daher bietet sich eher ein für die Region natürlicher Untergrund an. In Deutschland sind

dies Grasflächen. Außerdem gibt es genaue Vorschriften, in welcher Höhe über dem Erdboden die Messdaten aufgenommen werden müssen. So müssen sich alle Messgeräte zwei Meter über dem Boden befinden. Nur die Bodentemperatur, die Windrichtung und Windstärke wird nicht in zwei Meter Höhe gemessen. Die Bodentemperatur wird natürlich näher am Boden gemessen, genauer gesagt fünf Zentimeter über der Oberfläche. Die Windrichtung und Windstärke wird in 10 Meter Höhe gemessen. Zudem mussten wir bei der Standortsuche berücksichtigen, dass unsere Wetterstation durchgängig an den Strom angeschlossen werden musste. Die Sensoren sowie der Laptop müssen permanent am Strom angeschlossen sein, damit eine durchgängige Verbindung zum Arduino besteht und die Messdaten ausgelesen werden können.

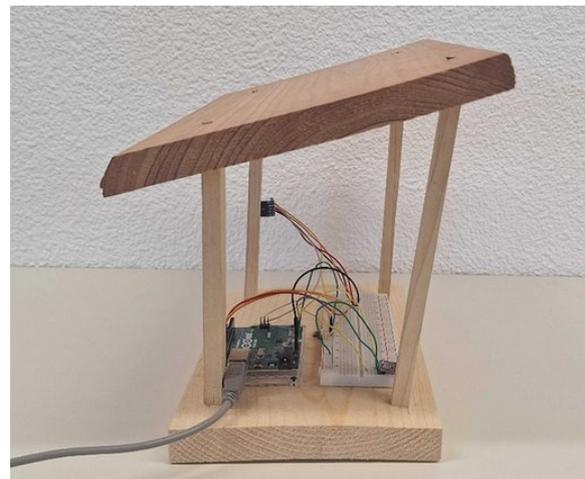


Abbildung 3: Die fertig montierte Wetterstation

All diese Kriterien zu 100 % zu berücksichtigen war für uns nicht möglich, da es auf dem Campus keinen Ort gibt, wo nicht direkt ein Baum oder ein Gebäude im Weg ist. Wir hatten uns dazu entschieden, die Wetterstation auf einem Steinprofil aufzubauen. Leider hat sich nach einem Testlauf gezeigt, dass der Standort aufgrund des fehlenden Stromanschlusses für längere Messungen nicht geeignet ist. Deshalb haben wir den Standort gewechselt und die Wetterstation auf einen Tisch gestellt. Um den Laptop vor Sonne, Regen und Tau zu schützen, haben wir noch einen Regenschirm aufgebaut.

Bevor wir anfangen konnten, unsere Wetterstation zu bauen, mussten wir uns passende Mate-

rialien suchen und den Aufbau anhand einiger Komponenten gut planen. Die Wetterstation musste aus Materialien bestehen, die wir selber gut verarbeiten und bearbeiten konnten. Holz stellte sich als ein gut geeignetes Material heraus, welches nur den Nachteil hat, dass es bei Nässe durchweichen kann. Doch dieses Problem lösten wir, indem wir das Dach schräg anbrachten, damit Regenwasser abfließen kann und sich nicht staut.

Des Weiteren darf sich die Luft in der Wetterstation nicht stauen, damit Messwerte wie Temperatur und Luftdruck nicht verfälscht werden können. Daher bot es sich an, das Dach der Wetterstation auf Stelzen zu bauen. Dies war auch hilfreich, da die Helligkeit außen an der Wetterstation gemessen werden muss und wir somit den Sensor außen an einer Stelze anbringen konnten. Damit die Kabel des Helligkeitssensors bei Regen nicht nass werden, mussten wir das Dach überstehend anbringen. Unter Berücksichtigung aller Faktoren konnten wir eine detaillierte Skizze anfertigen, damit alle zusammen eine genaue Vorstellung von der Wetterstation hatten.

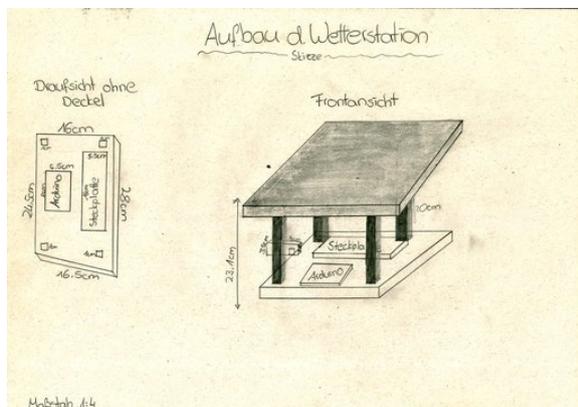


Abbildung 4: Skizzen der Wetterstation

Eine weitere vorbereitende Aufgabe bestand darin, die Sensoren zu löten. Beim Löten von Sensoren muss man darauf achten, dass man die einzelnen Stifte der Stiftableiste nicht durch Lötzinn miteinander verbindet, um keinen Kurzschluss zu erzeugen. Außerdem muss man darauf achten, dass der LötKolben nicht zu lange mit dem Sensor in Kontakt ist, da dieser beim Löten sehr schnell heiß wird. Durch die große Hitze können Bauteile im Sensor beschädigt werden oder im schlimmsten Fall kaputtgehen.

Daher war beim Löten der Sensoren eine hohe Konzentration gefragt.



Abbildung 5: Unsere fertige Wetterstation

Programmierung und Sensorik

ANNE REINHARDT

Unser Ziel war es, mit der Wetterstation vier physikalische Größen in einem bestimmten Zeitintervall zu messen: Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Helligkeit und Temperatur. Um diese Größen in Adelsheim zu messen, brauchten wir Sensoren. Das sind elektrotechnische Bauteile, die über physikalische Größen aus der Umwelt informieren und sie in elektrische Signale umwandeln. Dadurch werden die Informationen für Computer nutzbar gemacht.

Wir haben für die Wetterstation drei Sensoren benutzt:

- BH1750, der die Helligkeit in Lux misst,
- einen Kombinationssensor aus AHT20, der Temperatur in °C und die relative Luftfeuchtigkeit misst, und
- BMP280, der den Luftdruck in Pascal und ebenfalls die Temperatur misst.

Der AHT20+BMP280 (in der Abbildung in lila) ist auf der Steckplatine festgesteckt, der BMP280 (in blau) ist an einer der Außensäulen festgeschraubt, da der Schatten des Häuschens die Messwerte hätte verfälschen können. Damit die Wetterstation uns Werte ausgeben konnte, schrieben wir ein Programm für die Sensoren der Station.

Angesteuert haben wir die Sensoren mit einem Arduino, einer Plattform für Elektronik- und

Microcontrollerprojekte. Zum Arduino gehören die Hardware-Boards, mit denen unsere Sensoren verbunden wurden und mit denen die Sensoren angesteuert werden. Das Programm erstellen wir mit der Arduino-Software, deren Programmiersprache an C/C++ angelehnt ist.

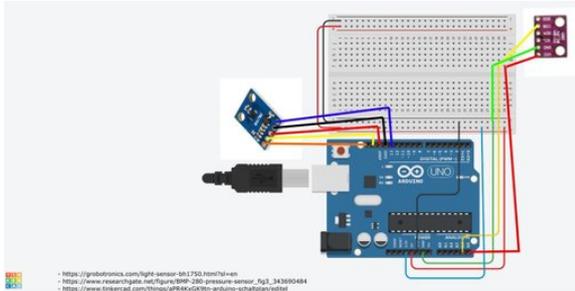


Abbildung 6: Steckplan Wetterstation

Im Internet suchten wir geeignete Code-Bausteine für die einzelnen Sensoren und die benötigten Funktionen und fügten sie in unserem Code zusammen:

Durch `#include` werden die Bibliotheken der Sensoren eingebunden. Das sind vorgefertigte Codepakete, die uns vordefinierte Funktionen zur Verfügung stellen. Die Arduino-Plattform beinhaltet diese Bibliotheken, die wir nur noch ins Programm integrieren mussten. Zudem werden Bibliotheken eingebunden, die wir für die Kommunikation zwischen dem Arduino, dem Programm und den Sensoren brauchen. Danach werden den Sensoren Variablenamen zugewiesen, die im weiteren Code genutzt werden. Im `setup()`, welcher einmalig beim Starten des Programms ausgeführt wird, aktivieren wir alle Sensoren und den seriellen Monitor, auf dem die Werte ausgegeben werden, durch `.begin()` Im `loop()`, der wiederholt ausgeführt wird, werden nacheinander die Messwerte ausgegeben. Durch eine vordefinierte Funktion wird durch `Serial.Print()` ein Wert ausgegeben. Der Übersichtlichkeit halber haben wir die physikalische Größe, den Sensor und die Einheit mit aus-

```

1  #include <Adafruit_AHTX0.h> // Einbindung der Bibliothek für den AHT20
2  #include <SPI.h>
3  #include <Adafruit_BMP280.h> //Einbindung der Bibliothek für den Druck - und Temperatursensor
4  #include <Wire.h>
5  #include <hp_BH1750.h> // Einbindung der Bibliothek für den Helligkeitssensor
6
7  hp_BH1750 sensor; // Sensor definieren
8  Adafruit_BMP280 bmp;
9  Adafruit_AHTX0 aht;
10
11 #define BMP_SCK (13)
12 #define BMP_MISO (12)
13 #define BMP_MOSI (11)
14 #define BMP_CS (10)
15
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600); // Übertragungsgeschwindigkeit auf den seriellen Monitor
18   sensor.begin(BH1750_TO_GROUND); // Adresse setzen und den Sensor einbinden
19   bmp.begin(); // BMP280 starten
20   Wire.begin(); // Funktion Wire starten
21   aht.begin(); // AHT20 starten
22   sensor.calibrateTiming(); // Kalibrierung über 855ms
23 }
24
25 void loop() {
26   sensor.start(); // Start der Messung
27   float lux = sensor.getLux(); // Ergebnis auslesen und in die Variable "lux" einsetzen
28   Serial.print("Helligkeit BH1750 = "); // Ausgabe von "Helligkeit BH1750 = "
29   Serial.print(lux); // Ausgabe der Variable "lux"
30   Serial.println(" lux"); // Angabe der Einheit lux
31
32   Serial.print("Temperature BMP280 = "); // Ausgabe von "Temperature BMP280 = "
33   Serial.print(bmp.readTemperature()); // Temperatur wird ausgelesen und ausgegeben
34   Serial.println(" °C"); // Angabe der Einheit (°C)
35
36   Serial.print(F("Pressure BMP280 = ")); //
37   Serial.print(bmp.readPressure()); // Druck wird ausgelesen und ausgegeben
38   Serial.println(" Pa"); // Angabe der Einheit (Pa)
39
40   sensors_event_t humidity, temp; // Variablen für Temperatur und Luftfeuchtigkeit definieren
41   aht.getEvent(&humidity, &temp); // Werte Temperatur und Luftfeuchtigkeit erfassen und in Variablen speichern
42   Serial.print("Temperatur AHT20 = " ); // Ausgabe von "Temperatur aht20 "
43   Serial.print(temp.temperature); // Ausgabe von in Variable temp gespeicherten Messwert
44   Serial.println(" °C"); // Angabe der Einheit (°C)
45   Serial.print("Feuchtigkeit AHT20 = "); // Ausgabe von "Feuchtigkeit aht20 "
46   Serial.print(humidity.relative_humidity); // Ausgabe von in Variable humidity gespeicherten Messwert
47   Serial.println(" %"); // Angabe der Einheit (%)
48
49   delay(60000); // 1min warten
50 }

```

gegeben. Durch `delay(60000)` bekommen wir jede Minute fünf neue Werte ausgegeben: Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Helligkeit und zweimal die Temperatur.

Datenauswertung der Wetterstation

RIEKE BRÖKELMANN

Nachdem die Wetterstation fertig gebaut und ein geeigneter Platz gefunden war, konnten wir sie aufstellen. Die folgenden Daten beruhen auf der Messung, die am Abend nach dem Ballonstart aufgenommen wurden. Auf diese Daten wollen wir nun genauer eingehen.

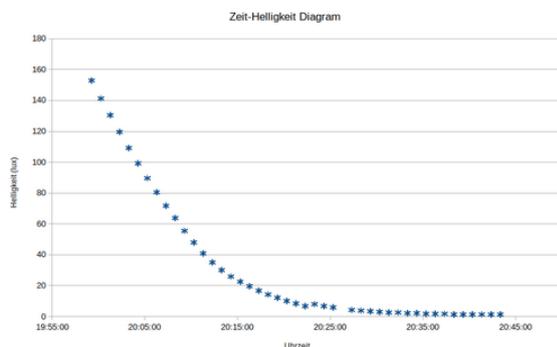


Abbildung 7: Helligkeit bei unserer Wetterstation in Abhängigkeit der Zeit

Auf dem Bild 7 ist die Helligkeit abhängig von der Zeit dargestellt. Der Sensor BH 1750 hat die Helligkeit in Lux gemessen. Wir haben unsere Messung am 1. September um 20:00 Uhr gestartet. Da an diesem Tag die Sonne um 19:52 Uhr unterging, kann man in dem Diagramm eine stetige Abnahme der Helligkeit erkennen. An diesem Tag hatten wir einen klaren, fast wolkenfreien Sommerhimmel, sodass die Helligkeit um die Mittagszeit bei etwa 90 000 Lux lag. Die Messung begann um 20:00 Uhr während der Dämmerung, wodurch der erste Messwert von 153 Lux sinnvoll erscheint. Die Messwerte nehmen nun im Verlauf der 45 Minuten stetig ab, bis wir eine halbe Stunde später nur noch 3 Lux haben. 0 Lux wurden jedoch nicht gemessen, da am Abend die Straßenlaternen angingen und wir somit aus einiger Entfernung immer noch eine kleine Lichtquelle hatten. Unser kleinster Wert liegt somit bei 1,25 Lux um 20:38 Uhr

und hält diesen noch, bis wir die Messreihe um 20:43 Uhr gestoppt haben.

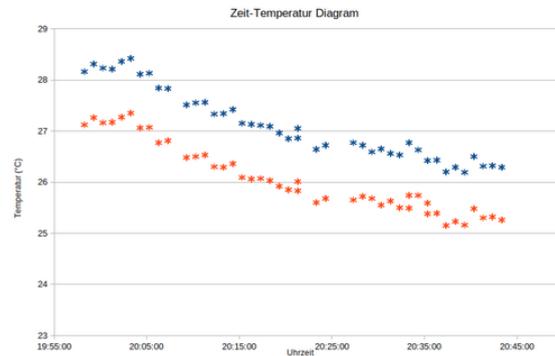


Abbildung 8: Vergleich der beiden Sensoren zur Temperaturmessung

An unserer Wetterstation waren zwei weitere Sensoren angeschlossen. Beide Sensoren (AHT 20 und BMP 280) haben die Temperatur über die Zeit gemessen. Beide Messungen sind im Diagramm 8 im Vergleich dargestellt. Die y-Achse zeigt einen Ausschnitt der Temperatur von 23–29 °C. Dadurch haben wir eine stark vergrößerte Skalierung, weshalb es so aussieht, als ob die Messdaten sehr großen Schwankungen unterliegen. Hierbei handelt es sich jedoch nur um sehr kleine Unterschiede von höchstens 0,5 °C. Insgesamt nimmt die Temperatur im Messzeitraum um 2,5 °C ab. Das liegt vor allem daran, dass es den ganzen Tag über sonnig war und somit die Erde erwärmt wurde. Außerdem stand unsere Wetterstation auf einer Steinsäule. Steine speichern die Wärme aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität besonders gut, sodass selbst innerhalb einer Stunde die Temperatur nur um 2,5 °C gesunken ist.

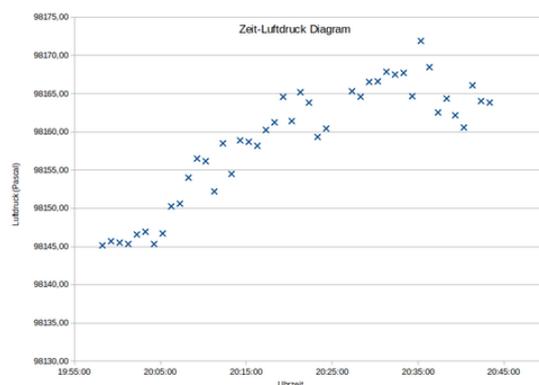


Abbildung 9: Luftdruck im zeitlichen Zusammenhang

Eine weitere wichtige Messgröße ist der Luftdruck, der in Hektopascal (hPa) über die Zeit im Diagramm 9 aufgetragen ist. Der Standardluftdruck von 1013 hPa auf Meereshöhe war in unseren Messungen nicht zu sehen, da sich unsere Messstation in Adelsheim 307 m über dem Meeresspiegel befand. Damit hätten wir nach der barometrischen Höhenformel

$$p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{Mg}{RT} \cdot h}$$

in Adelsheim einen Normalluftdruck von 978,19 hPa (wobei M die molare Masse, R die universelle Gaskonstante, g die Erdbeschleunigung und T die Temperatur darstellt).

Wir starten unsere Messreihe um 19:58 Uhr bei einem Luftdruck von 981,45 hPa. Im Laufe der Messdauer nimmt dieser immer weiter zu, bis er um 20:43 Uhr einen Wert von 981,63 hPa erreicht hat. Damit ist der Luftdruck in 45 Minuten um 0,2 hPa gestiegen. Diese Veränderung lässt sich mit den typischen Druckveränderungen im Laufe des Tagesgangs erklären, welche aufgrund der Luftmassenbewegungen unterschiedlich stark auf den einzelnen Breitengraden ausgeprägt sind. In unseren Breitengraden können diese Schwankungen bei bis zu 1 hPa pro Stunde liegen. Allgemein lässt sich jedoch sagen, dass diese geringe Schwankung auf ein Hochdruckgebiet verweist. Dabei findet man oft ein gleichbleibendes und beständig gutes Wetter.

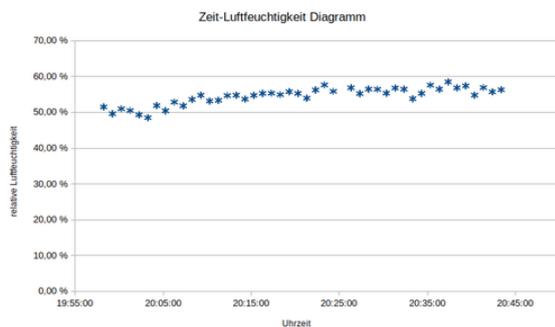


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde als weitere relevante Größe gemessen (s. Abb. 10). Mit dieser Größe können Änderungen der örtlichen Luftmasse festgestellt werden. Unser niedrigster Wert liegt bei 48–49 % und der höchste liegt bei 58,49 %. Auch wenn unsere Messwerte nicht

konstant steigen, sondern kleine Schwankungen innerhalb der Messungen aufweisen, kann man erkennen, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Laufe des Abends zunimmt. In den Abendstunden steigt die Luftfeuchtigkeit mit nachlassender Konvektion und dem Temperaturabfall wieder an.

Mit diesen Erkenntnissen konnten wir schon viel über den Aufbau und die Funktion unseres Wetters sagen. Doch wir wollten noch mehr wissen, weshalb der Wetterballon ins Spiel kam. Allerdings benötigten wir auch für den Wetterballon die entsprechenden Vorkenntnisse.

Der Aufbau der Atmosphäre

REBEKKA TRÖSTER

Die gasförmige Hülle der Erde wird als Atmosphäre bezeichnet. Sie setzt sich aus einem Gasgemisch aus 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 1 % Edelgase und circa 0,03 % Kohlenstoffdioxid zusammen. Die prozentuale Zusammensetzung bleibt bis in etwa 80 km Höhe gleich, danach verändert sich die Zusammensetzung, und die leichten Gase, hauptsächlich Wasserstoff, überwiegen.

Die Atmosphäre kann man in unterschiedliche Schichten aufteilen. Die Schicht am Boden nennt man Troposphäre. An den Polen reicht sie bis in etwa 8 km und am Äquator bis in etwa 16 km Höhe. Die Temperatur nimmt im Mittel mit zunehmender Höhe gleichmäßig ab.

Über der Troposphäre folgt die Stratosphäre, die in etwa bis 50 km Höhe reicht. Die Temperatur bleibt bis etwa 25 km Höhe konstant, danach steigt sie bis zur oberen Grenze der Stratosphäre auf etwa die Temperatur an, welche am Erdboden herrscht. Die Stratosphäre zeichnet sich durch einen hohen Ozongehalt, seltene Wolkenbildung und laminare Luftströmungen aus. Der hohe Ozongehalt schützt den Erdboden vor der gefährlichen UV-Strahlung.

Von etwa 50–80 km Höhe reicht die Mesosphäre. In der Schicht nimmt mit zunehmender Höhe die Temperatur bis -70°C ab, und an der oberen Grenze können leuchtende Nachtwolken beobachtet werden. Die letzte Atmosphärenschicht – die Ionosphäre – reicht von 80

bis 600 km Höhe. In dieser Schicht treten die Nordlichter auf, und schon ab 100 km kreisen Satelliten um die Erde.

Ab 600 km Höhe beginnt die Exosphäre, also der luftleere Raum. Hervorzuheben ist, dass die Grenzen einer Schicht nicht durch die Höhe, sondern durch ihre unterschiedlichen Eigenschaften festgelegt werden.

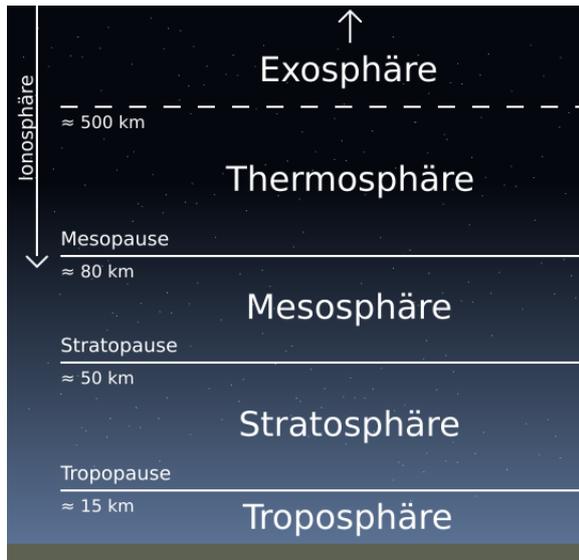


Abbildung 11: Schematischer Aufbau der Erdatmosphäre²

Das Wetter besteht im Wesentlichen aus Wolkenbildung, Niederschlag (Regen, Schneefall, Hagel usw.), Temperatur und Windverhältnissen. Notwendig für die Wolkenbildung ist die Luftfeuchtigkeit. Dadurch kann man die Grenze der Troposphäre bestimmen, denn nur in der Troposphäre befindet sich Wasserdampf, welcher notwendig für Wetterereignisse ist. Ein weiterer Aspekt des Wetters sind die Konvektionsströmungen, welche Wind und Wolken entstehen lassen. Die Konvektionsströmungen entstehen, wenn die Luft am Boden durch die Sonne erwärmt wird. Warme Luft hat eine geringe Dichte und steigt auf. Am Boden strömt von den Seiten Luft nach, welche sich ebenfalls erwärmt und aufsteigt. Die aufgestiegene Luft weicht nun der nachfließenden erwärmten Luft zu den Seiten aus. Dadurch entsteht ein Kreislauf, welcher erst dann zum Stillstand käme, wenn jede Luftschicht dieselbe Tempera-

tur hat. Beim Aufsteigen kommt die erwärmte Luft in Schichten mit geringerem Luftdruck, wodurch die Luftmasse ihr Volumen vergrößert und abkühlt. Außerdem kann die Luft nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf pro Kubikmeter aufnehmen. Mit sinkender Temperatur sinkt auch die Wasserdampfmenge, die aufgenommen werden kann. Wenn die aufsteigende Luft gesättigt ist, also 100 % Luftfeuchtigkeit hat, und dabei die Temperatur sinkt, kann die Luft immer weniger Wasserdampf aufnehmen, deshalb fällt sie als Feuchtigkeit aus. Es bilden sich Wolken.

Wir konnten mit unserem Wetterballon und der Wetterstation die untersten zwei Schichten – die Troposphäre und die Stratosphäre – erforschen. Denn hier konnten wir Daten aufnehmen und auswerten. Die Troposphäre war dabei besonders interessant, denn hier spielt sich das ganze Wettergeschehen ab!

Lichtstreuung in der Atmosphäre

LEONARD LÖRING

Die Sonne und ihr Licht sind allgegenwärtig auf der Erde. Mit ihren Lichtstrahlen erwärmt die Sonne unsere Erde, lässt Wasser verdunsten, Wolken entstehen, Winde auftreten etc. Sie ist der Motor und die Energiequelle für unser Wetter.

Das Licht

Licht ermöglicht uns Menschen zu sehen. Jedoch ist das sichtbare Licht nur ein kleiner Anteil des gesamten Spektrums des Sonnenlichtes. Licht lässt sich mit der Modellvorstellung einer „Welle“ vereinfacht beschreiben. Denn es verhält sich in mancher Hinsicht ähnlich wie Schall- oder Wasserwellen. Wie andere Wellen hat das Licht auch verschiedene Wellenlängen. Zum Beispiel umfasst der Bereich des für uns sichtbaren Lichtes eine Wellenlänge von etwa 380 nm bis 780 nm ($3,8 \cdot 10^{-7}$ m bis $7,8 \cdot 10^{-7}$ m). Sichtbares Licht mit unterschiedlicher Wellenlänge nimmt unser Auge als verschiedenfarbig wahr, die Spektralfarben. Bei einem Regenbogen wird z. B. das weiße Licht in seine Spektralfarben zerlegt. Je kurzwelliger das Licht, desto

²Abbildung: Wikimedia, Niko Lang / Ladyt (CC BY-SA 3.0)

bläulicher, je langwelliger das Licht, desto rötlicher ist es. Kombiniert man alle Spektralfarben, so erhält man weiß.

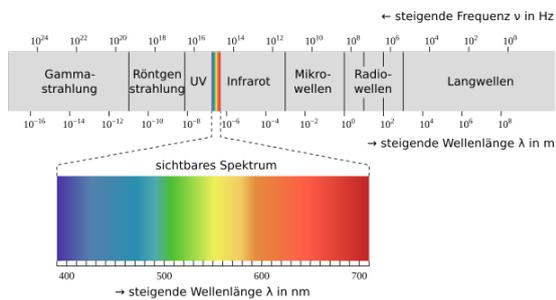


Abbildung 12: Spektrum des Lichts³

Himmelsblau sowie Morgen- und Abendrot

In Abhängigkeit von der Tageszeit und Bewölkung kann der Himmel unterschiedliche Farben annehmen. Der wolkenlose Himmel erscheint uns blau. Bei niedrigem Sonnenstand am Morgen und Abend kann Morgen- und Abendrot auftreten. Die Ursache für die unterschiedlichen Farben ist vor allem die Streuung des Lichtes in der Atmosphäre.

Streuung von Licht bedeutet, dass das Licht durch Wechselwirkung mit Objekten in unterschiedliche Richtungen abgelenkt wird. Beim Weg des Sonnenlichts durch unsere Atmosphäre wird das Licht an den Atomen und Molekülen der Atmosphäre gestreut, insbesondere an Stickstoff- und Sauerstoffmolekülen. Der englische Physiker Rayleigh fand um 1870 heraus, dass die Intensität des gestreuten Lichtes in unserer Atmosphäre stark von der Lichtfarbe, also von der Wellenlänge des Lichtes, abhängt. Rotes langwelliges Licht wird relativ wenig, grünes Licht schon mehr und blaues kurzwelliges Licht sehr stark gestreut. Die Intensität des gestreuten kurzwelligen blauen Lichtes ist ungefähr 16-mal so groß wie die des gestreuten langwelligen roten Lichtes. Bei höherem Sonnenstand ist der Weg des Lichtes durch die Atmosphäre vergleichsweise kurz und somit der Anteil des gestreuten blauen Lichtes groß. Deshalb erscheint uns der Himmel blau.

³Abbildung: Wikimedia, Matthias Matt (CC BY-SA 3.0)

In Abbildung 13 ist vom weißen Licht der Sonne jeweils nur der rote, grüne und blaue Anteil dargestellt. Auf dem Weg zum Beobachter verliert der rote Anteil kaum an Intensität, vom grünen Licht wird wenig, vom blauen sehr viel aus dem ursprünglichen Strahl herausgestreut. Da besonders der blaue Anteil des Sonnenspektrums geschwächt auf der Erde ankommt, ergibt die Überlagerung mit den übrigen Farbanteilen einen gelblichen Eindruck. Die Sonne erscheint uns weiß-gelblich.

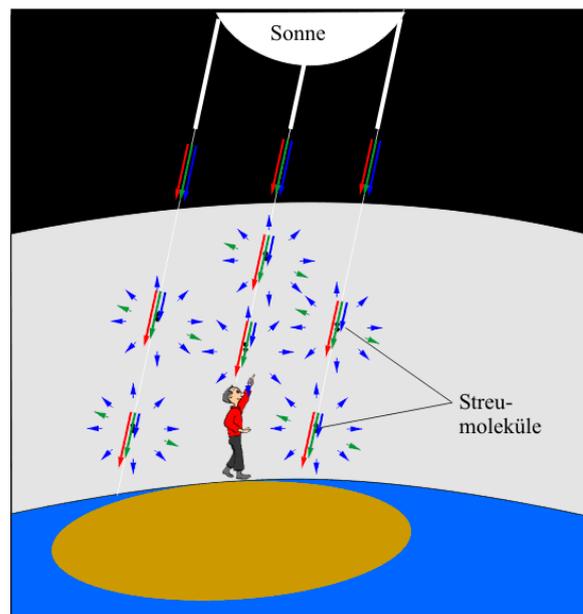


Abbildung 13: Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre⁴

Rayleigh-Streuung tritt auf, wenn die Wellenlänge des einfallenden Lichts groß gegenüber dem Durchmesser der Teilchen ist. Schaut man sich einen wolkenlosen Himmel genauer an, stellt man fest, dass die blaue Färbung nicht überall gleich ist. In Horizontnähe erscheint das Blau wesentlich heller, vor allem an dunstigen Tagen. Dies lässt sich damit erklären, dass in den bodennahen Schichten neben den kleinen Gasatomen und Gasmolekülen auch größere Teilchen, die Aerosole, vorhanden sind. Diese sind z. B. sehr kleine Staubteilchen, Rauch, kleine Wassertröpfchen oder Bakterien. Diese Teilchen streuen das Sonnenlicht ebenfalls. Der deutsche Physiker Mie stellte zu Beginn des 20. Jahrhunderts fest, dass die Intensität der

⁴Abbildung: LEIFiPhysik – mit freundlicher Genehmigung

Streuung von Licht an Teilchen unabhängig von der Wellenlänge ist, wenn der Durchmesser der streuenden Teilchen ungefähr der Wellenlänge des Lichts entspricht oder größer ist. Dies trifft auf Aerosole zu. Weißes Sonnenlicht bleibt weiß. Es überlagert sich allerdings mit dem Blau des an den kleineren Gasteilchen gestreuten Lichtes. Da die Konzentration der Aerosole in Erdbodennähe deutlich größer ist als in der Höhe, kann man das weißlich-blaue Licht vor allem in Horizontnähe beobachten.

Steht die Sonne sehr niedrig über dem Horizont, kann man gelegentlich eine starke Rotfärbung des Himmels beobachten. Der Grund dafür ist, dass das Sonnenlicht am Morgen bzw. Abend einen deutlichen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen muss als beim hohen Sonnenstand am Mittag. (Die Luftmenge, die vom Sonnenlicht morgens und abends durchquert wird, ist bis zu 30-mal größer.) Da der blaue Anteil des Sonnenlichtes an den Gasatomen und Gasmolekülen deutlich stärker als der rote Anteil gestreut wird (vgl. Rayleigh-Streuung), wird das blaue Licht herausgefiltert. Die Sonne erscheint uns rötlich. Die Streuung an den Aerosolen (Mie-Streuung) sorgt für die rötliche Färbung des Lichtes in der Sonnenumgebung.

Aufbau der Daten-Box

LEON JAHNZ

Eine Herausforderung war, die Sensoren und das Equipment auf der ca. zweihundertsiebzig Quadratcentimeter großen Grundfläche der Styroporbox zu platzieren. Dabei mussten folgende Kriterien beachtet werden:

1. Der Schwerpunkt sollte möglichst mittig liegen, um eine waagerechte Kameraführung zu ermöglichen.
2. Jedes elektrische Gerät, das aufgrund seiner begrenzten Akkukapazität eine kontinuierliche Stromversorgung benötigte, musste so platziert werden, dass der Ladevorgang ermöglicht werden konnte.
3. Alle Sensoren, inklusive der Kamera, mussten vor starken magnetischen Feldern geschützt werden, da durch Induktion hervorgerufene Magnetisierungseffekte Schäden

hätten entstehen lassen. Glücklicherweise gab es jedoch kein starkes Magnetfeld, so dass dieser Punkt für uns irrelevant wurde.

4. Alle Sensoren, die Werte außerhalb der Box messen sollten, mussten außen angebracht werden (unter viel Stress, den wir definitiv hatten, vergisst man die einfachsten Dinge oft am ehesten).

Projektionszeichnung als Hilfe zur Raumeinteilung

Die Projektionszeichnung war ein essenzieller Bestandteil für die Raumaufteilung, da wir ohne sie nicht exakt planen konnten. Um diese Zeichnungen anzufertigen, wurden zunächst alle Bauteile genau vermessen und überlegt, wo welches Element platziert werden sollte. Unsere Ideen hielten wir in einer Dreitafelprojektion fest, die aus Vorder-, Drauf- und Seitenansicht bestand.

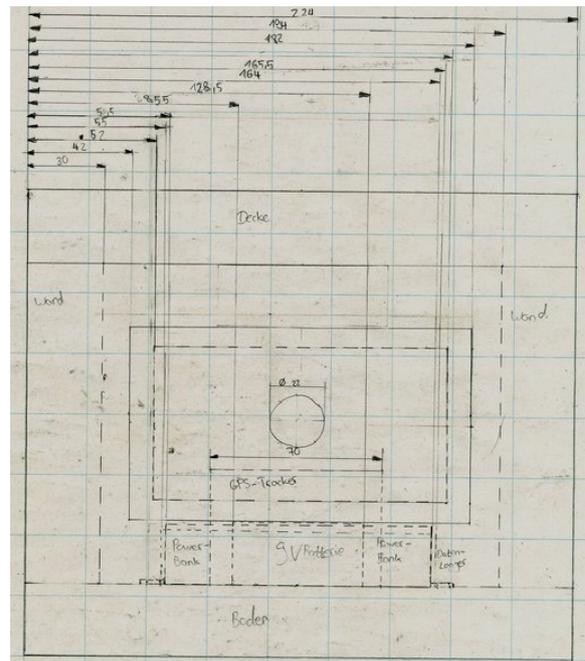


Abbildung 14: Vorderansicht der Dreitafelprojektion

Unter Beachtung dieser Kriterien und mit Hilfe der Dreitafelprojektionen sind wir zu der in Abbildung 15 gezeigten Raumeinteilung gekommen.

Am oberen Ende der Styroporbox ist die in die Wand eingebaute Kamera in ihrem Gehäuse zu erkennen, welche horizontal filmte. Sie

Der Start

Am Samstagmorgen war es dann soweit – der Ballon konnte gestartet werden. Jeder hatte eine zugewiesene Rolle. Der Pressesprecher Leon war dafür verantwortlich, den Zuschauern die Abläufe zu erklären und für gute Stimmung zu sorgen. Der Sportplatz wurde von Clara und Rieke, unserer Security, abgesperrt, und Planen wurden zum Schutz der empfindlichen Ballonhülle ausgelegt. Die Heliumbeauftragte Jeannine befüllte den Ballon mit Helium, der vom Ballonmaster Rebekka festgehalten wurde. Parallel wurde die Box vorbereitet. Der GPS-Master Julius und der Datamaster Leonard bauten Tracker und Datenlogger in die Box ein.



Abbildung 17: Startvorbereitungen

Als die zuvor berechnete Füllmenge erreicht war, wurde der Ballon von dem Ventilbeauftragten Nicola und dem Siegelmaster Sylvia verschlossen, obwohl er noch nicht sehr voll aussah und wir Zweifel hatten, ob er überhaupt fliegen würde. Trotzdem gab die Ballonkordinatorin Anne ein Signal an die Boxkordinatorin Julia, und der Kameramann Rouven schaltete die Kamera ein. Dies konnte erst kurz vor den Start gemacht werden, da die Kamera sonst überhitzen würde. Anschließend wurde die Box vom Klebmeister Umar verschlossen.

Nach der Freigabe durch den Flight Commander Ben wurde der Ballon von dem Knotenmeister Georg mit dem Fallschirm und der Box verbunden und langsam an der Startschnur hochgelassen. Durch starke Böen wurde der Ballon allerdings immer wieder zur Seite gedrückt, und nach wenigen Minuten war klar, dass er nicht fliegen würde. Der Start wurde abgebrochen: Die Auftriebskraft des Ballons war

nicht groß genug, da die Füllmenge zu gering war.

In einer Krisensitzung beschlossen wir, weiteres Ballongas in einem Spielwarengeschäft zu kaufen, und etwa 60 Minuten später konnte der zweite Startversuch unternommen werden. Nachdem der Ballon mit dem zusätzlichen Helium befüllt und wieder verschlossen war, konnte er endlich gestartet werden, und dieses Mal gelang der Start. Der Ballon stieg – jedoch langsamer als erwartet.

Die Suche

Der Ballon flog nach Westen, wie von einem Programm im Voraus berechnet, und wir verloren nach einigen Stunden das Signal. Dies deutete darauf hin, dass er so hoch war, dass der verbaute GPS-Tracker wie geplant kein Signal mehr sendete.

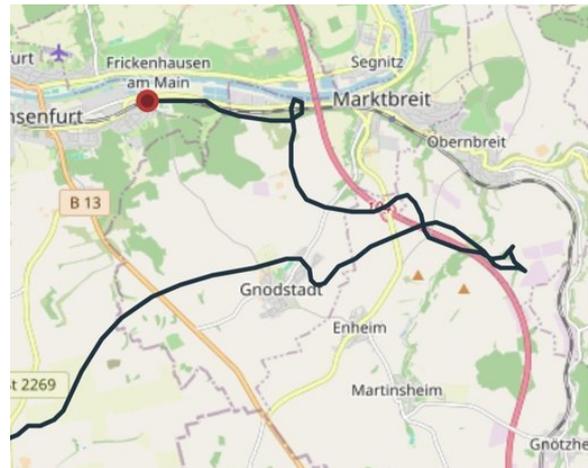


Abbildung 18: Flugroute über Ochsenfurt

Als wir dann gegen 16 Uhr erneut ein Signal aus Ochsenfurt in der Nähe von Würzburg empfangen, gingen wir davon aus, dass der Ballon geplatzt war und jetzt landete. Auch die vielen Schleifen, die er flog, deuteten auf eine Landung hin. Nachdem wir seine Flugroute eine Weile genau beobachtet hatten, fuhren wir in die Richtung des Signals, um die Box wieder einzusammeln. Doch bevor wir dort ankamen, brach das Signal ab. Genau über einem Bahn-gleis!

Dort angekommen suchten wir im Gebüsch neben den Gleisen und in einer Kleingartenanlage – unter der Mithilfe vieler netter Anwohner –

alles ab. Doch nach über einer Stunde intensiven Suchens mussten wir uns geschlagen geben, und wir fuhren zurück nach Adelsheim.



Abbildung 19: Suche im Dickicht

Es konnte viele Gründe für das Abbrechen des Signales geben, weshalb wir die Hoffnung, die Box noch zu finden, nicht aufgaben.

Eine Möglichkeit, die wir in Betracht zogen, war, dass der Ballon noch gar nicht gelandet war. Deshalb recherchierten wir am nächsten Tag, was passiert sein könnte, riefen die Deutsche Flugsicherung und in der Nähe liegende Flugplätze an, um nachzufragen, ob irgendjemand etwas gesehen hatte. Nichts!



Abbildung 20: Suche am Bahndamm

Als wir auch am nächsten Abend noch keine neuen Informationen hatten, gaben wir die

Hoffnung, den Ballon doch noch zu finden, endgültig auf. Die Chance, in Deutschland genau auf den Gleisen zu landen, lag zwar bei 0,01 %, doch wir hatten es geschafft – dachten wir!

Der Fund und die Bergung

Am Montag um kurz nach 7 Uhr schickte Umar einen Screenshot in unsere Signal-Gruppe: Wir hatten ein neues Signal aus Wyhl am Kaiserstuhl, circa 180 km Luftlinie entfernt.

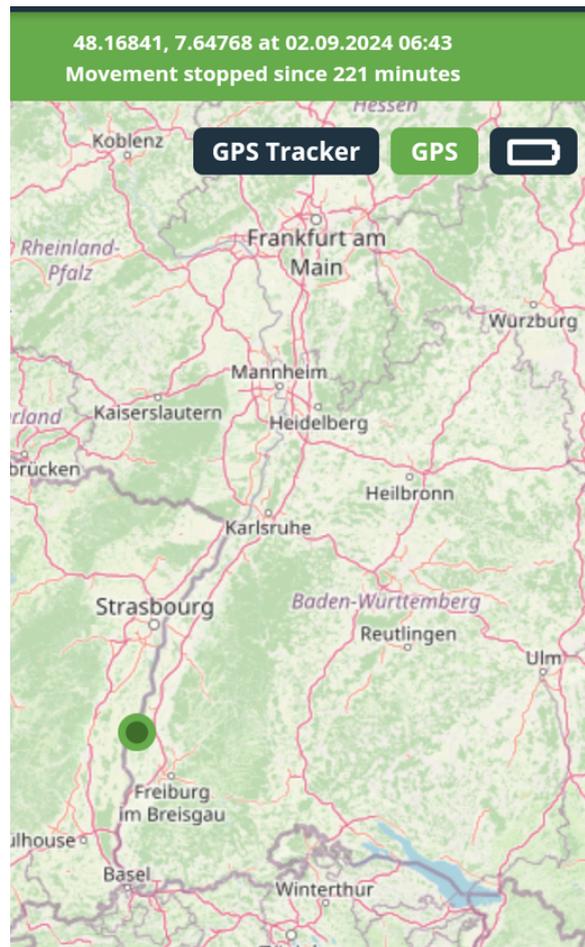


Abbildung 21: Signal aus Wyhl am Kaiserstuhl

Nachdem wir uns sicher waren, dass wir wirklich ein aktuelles Signal unseres GPS-Trackers empfangen, riefen wir die Eltern von Julius an, die erfreulicherweise nicht weit von Wyhl wohnen, und baten sie, am möglichen Fundort vorbeizufahren und herauszufinden, ob die Sensorbox dort tatsächlich lag.

So stellte sich heraus, dass unsere Ballonbox auf einem Hausdach gelandet war. Die Freude war überwältigend. Doch schnell gab es ein

anderes Problem: wie sollten wir die Box vom Dach herunterholen? Die Hauseigentümer waren nicht da, und auch die Feuerwehr konnte nicht helfen. Die Leiter der örtlichen Feuerwehr reichte nicht bis ans Dach, und ein Einsatz der Drehleiter aus dem Nachbarort wäre sehr teuer gewesen. Was nun?

Glücklicherweise hatten wir noch weitere Bekannte in dieser Gegend. Über den Vater unseres AL-Assistenten Mathis wurde ein Dachdecker vor Ort kontaktiert, der gegen Abend mit seinem Hubsteiger auf das Dach kletterte und unsere Box unentgeltlich herunterholte. Ein Freund von Mathis legte schließlich noch eine Nachtschicht ein, um uns die Daten der Kamera und des Datenloggers digital zu schicken. So konnten wir am Morgen des folgenden Tages bereits die Daten auswerten.



Abbildung 22: Bergung unserer Daten-Box von einem Wyhler Hausdach

Die Box wurde am Präsentationstag von Julius' Eltern nach Adelsheim gebracht. Und so fand die Odyssee unseres Wetterballons schließlich mit viel Glück und dank vieler hilfsbereiter Menschen doch noch ein glückliches Ende.

Analyse des Heliumdefizits

SYLVIA JOCHUM

Zwei der letzten Schritte vor dem Ballonstart waren die Berechnung der Füllmenge sowie der Flugroute des Ballons. Dafür verwendeten wir eine App der Firma Stratoflights. Die Heliummenge ist dabei abhängig von der Größe des Wetterballons, der Traglast und der gewünschten Aufstiegs geschwindigkeit. Es gilt: Je mehr

Helium eingefüllt wird, desto schneller steigt der Ballon und desto früher platzt er. Bei unserer Traglast von 960 g und einer gewünschten Steiggeschwindigkeit von 5 m/s verwendeten wir Helium in einer 20 l-Flasche mit 220 bar Fülldruck – so dachten wir jedenfalls.

Der erste Startversuch schlug jedoch fehl. Verantwortlich dafür war ein Heliummangel, obwohl die verwendete Ballongasflasche die gewünschte Menge hätte enthalten sollen. Warum sie das nicht tat, diese Frage bereitete uns in den nächsten Tagen großes Kopfzerbrechen. Für am wahrscheinlichsten hielten wir ein Leck, aber belegen konnte wir weder diese noch eine unserer anderen Vermutungen. Den zweiten Startversuch starteten wir mit einer zusätzlichen Ladung Helium aus einem Geschäft in Osterburken. Der Start gelang, die fehlende Füllmenge konnte das zusätzliche Helium aber nicht ausgleichen. Statt mit den gewünschten 5 m/s stieg der Ballon mit circa 1,3 m/s. Aus den vom Start vorhandenen Bildern berechneten wir seine Füllmenge, die 2–3 m³ betrug. Geplant waren 4 m³.

Die Frage bezüglich des Heliummangels blieb bis zum Dokuwochenende unbeantwortet. Bei der Rückgabe der leeren Heliumflasche im Baumarkt stellte sich heraus, dass der Hersteller die Flasche falsch etikettiert hatte und es sich nur um eine 10 l-Flasche handelte. Dies war die Hälfte der von uns eigentlich bestellten Menge. Weder im Lager noch beim Kauf wurde der Fehler bemerkt. Der Lagerchef konnte es sich nicht erklären und entschuldigte sich vielmals. Mit dieser Information konnten wir die Füllmenge beim zweiten Startversuch auf 2,6 m³ berechnen.

Die Flugroute

SYLVIA JOCHUM

Beim ersten Startversuch rechneten wir mit einem circa 3-stündigen Flug Richtung Nordosten. Die Landung sollte in der Nähe von Tauberbischofsheim erfolgen. Diese Route hatte die Voraussetzung, mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s aufzusteigen.

Durch den Mangel an Helium beim Start hat sich die Aufstiegs geschwindigkeit deutlich ver-



Abbildung 23: Mittels Stratoflight-App vorausberechnete Flugroute für eine Steiggeschwindigkeit von 4,5 m/s

ringert. Aus den Beobachtungen schätzten wir sie auf 1–2 m/s, woraus wir eine neue, ungefähre Flugroute berechneten, die eine Landung nach 10 h ergab. Tatsächlich flog der Ballon zu Beginn auch Richtung Nordosten. Über Ochsenfurt wechselte er nach 4 h Flug die Richtung nach Südwesten und flog einige Schleifen, was wir zu diesem Zeitpunkt als Hinweis auf die Landung deuteten und in die Richtung zur Ballonsuche führen, die jedoch erfolglos war.

Eineinhalb Tage später landete der Ballon, und wir konnten aus den GPS-Daten des Datenloggers die restliche Flugroute nachvollziehen. Nach der Auswertung wussten wir, dass der Wetterballon sich in Ochsenfurt auf einer Höhe von 21 km befunden hatte. Da die Reichweite des GPS-Trackers nur 8–10 km in die Höhe beträgt, hätten wir kein Signal empfangen sollen. Möglicherweise war ein Flugzeug etwas tiefer vorbeigeflogen, welches das Signal weiterleitete. Die Schleifen und der Flugrichtungswechsel in Ochsenfurt lassen sich vielleicht durch eine Warmfront aus Richtung von Würzburg erklären, belegen können wir dies aber nicht. Am Starttag hatten wir diese Information jedoch noch nicht und nahmen an, dass sich der Ballon im Landeanflug befand.

Der Datenlogger speicherte die Daten bis Künzelsau, das der Ballon nach 10 h Flug erreichte.

Kurz vor Künzelsau war der der Ballon auf eine Höhe von 31 km gestiegen. Nach 10 h fiel der Akku aufgrund der niedrigen Temperatur in der Box schließlich aus. Fast 40 h nachdem der Wetterballon gestartet war, erreichte uns ein Signal des GPS-Trackers aus Wyhl am Kaiserstuhl bei der Grenze zu Frankreich.

Vermutlich war der Grund, warum der Wetterballon nicht zwischen Ochsenfurt und Künzelsau geplatzt war, dass der Ballon mit zu wenig Helium gefüllt war. So erreichte er in der Höhe nicht die maximale Ausdehnung. Es kann sein, dass der Ballon ab Künzelsau solange weiterflog, bis die Latexhülle durch Materialermüdung platzte und die Box am Fallschirm bei Wyhl landete.

Somit haben wir von Künzelsau bis Wyhl leider keine Daten.

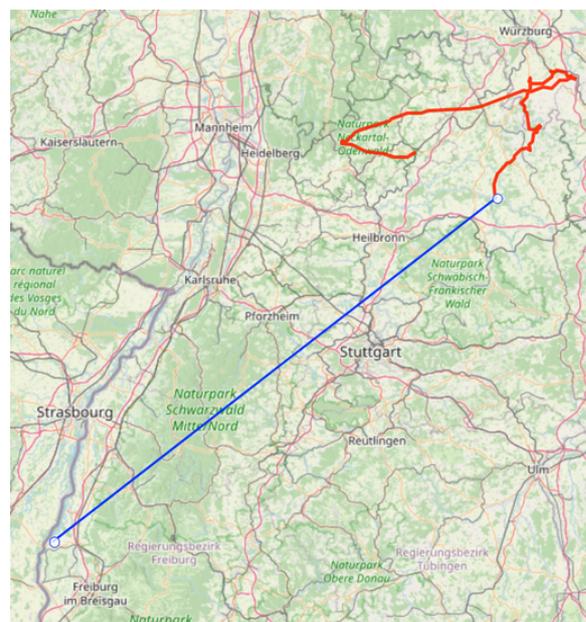


Abbildung 24: Rot: dokumentierte Flugroute, blau: Verbindungslinie zwischen letztem Signal und Fundort

Auswertung der Flugdaten

JULIUS VON DER MARK

Nachdem wir die Daten unseres Wetterballons übermittelt bekommen hatten, ging es sofort an die Arbeit. Da der Datenlogger alle zwei Sekunden einen Wert aufgezeichnet hatte, enthielt unsere Tabelle über 18202 Zeilen. Diese

Daten wurden zunächst bearbeitet. So wurde beispielsweise die Zeit vom UTC-Format (UTC: koordinierte Weltzeit) in das Format der mitteleuropäischen Sommerzeit umgerechnet und der Mittelwert der beiden äußeren Temperaturmesswerte gebildet.

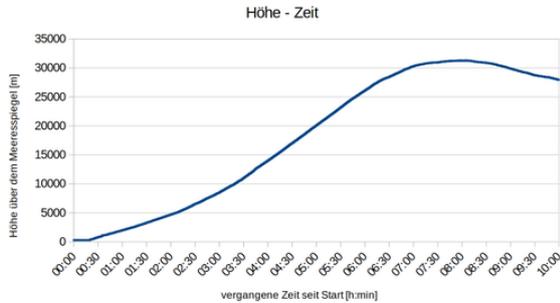


Abbildung 25: Höhenverlauf unseres Fluges

Im Diagramm 25 ist die Höhe der Kapsel bezogen auf die Zeit nach dem Start dargestellt. Zu sehen ist, dass die Kapsel im Beobachtungszeitraum ihre Maximalhöhe nach etwa acht Stunden und neun Minuten bei ungefähr 31338 m über dem Meeresspiegel erreichte.

Im Zeitraum zwischen drei Stunden und 15 Minuten und sechs Stunden und 15 Minuten stieg die Kapsel annähernd linear an. Wenn man die Steigung berechnet, kommt man in diesem Zeitraum auf eine durchschnittliche Steiggeschwindigkeit von etwa 1,65 m/s. Somit stieg unser Ballon weitaus langsamer als die 5 m/s, die wir eigentlich erreichen wollten.

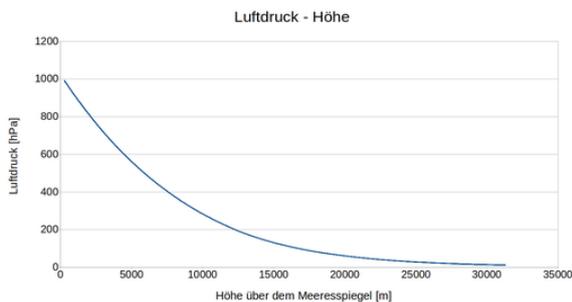


Abbildung 26: Luftdruck in Abhängigkeit von der Höhe

Im Diagramm 26 ist zu erkennen, dass der Luftdruck mit der Höhe exponentiell abnimmt. Diese Abnahme kann man näherungsweise mit der barometrischen Höhenformel berechnen:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$$

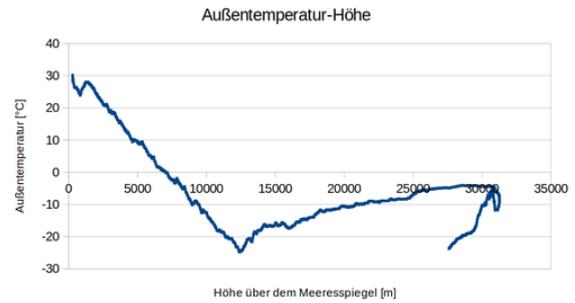


Abbildung 27: Außentemperatur in Abhängigkeit der Höhe

Diagramm 27 zeigt den Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und der Höhe. Unsere Temperaturkurve zeigt, dass die Temperatur bis zur Tropopause (in 6–18 km Höhe) hin abnahm und dann in der Stratosphäre wieder anstieg. Es ist erkennbar, dass die Temperatur in einer Höhe von 30 000 m wieder abnahm. Das lag daran, dass der Ballon bei dieser Höhe seine Maximalhöhe erreichte und danach wieder sank. Im Vergleich von unseren Temperaturmesswerten mit Messwerten von Wetterballons, die der deutsche Wetterdienst im selben Zeitraum startete, zeigt sich, dass unsere Messwerte 25–30 K zu hoch waren.

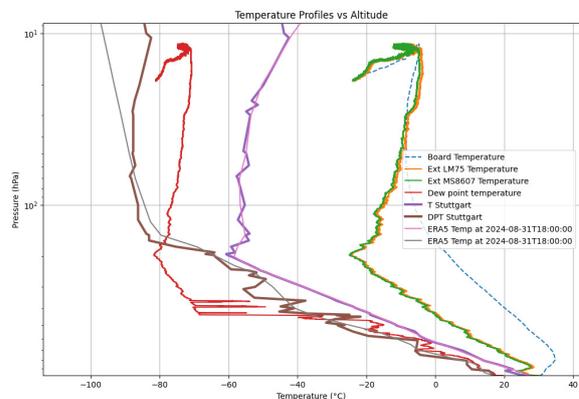


Abbildung 28: Unsere Temperaturmesswerte im Vergleich mit Daten anderer Sonden des gleichen Tages⁶

In Grafik 28 wird dies verdeutlicht. Der grüne und der orange Graph beschreiben den Verlauf unserer Temperaturmesswerte, die anderen Graphen zeigen den Verlauf von Ballon-

⁶Abbildung: Dr. Tobias Kerzenmacher, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung am KIT (Karlsruhe Institute of Technology) – mit freundlicher Genehmigung

Messwerten des Deutschen Wetterdienstes. Es ist möglich, dass Fehler im Sensor (z. B. bei der Produktion) oder die Nähe des Akkus zu den Sensoren diese Verschiebung bewirkt haben könnten, die Analyse ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

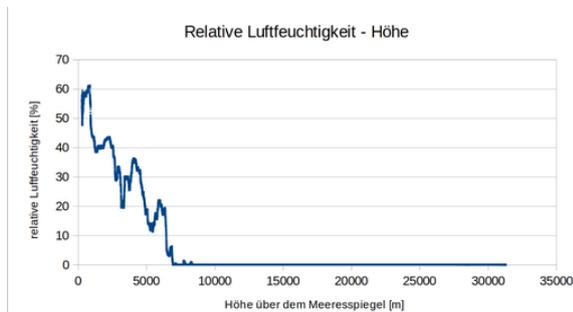


Abbildung 29: Abhängigkeit der Luftfeuchte von der Höhe

Im Diagramm 29 wird der Zusammenhang zwischen der relativen Luftfeuchtigkeit und der Höhe aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass sich bis in etwa 8 500 m Höhe Wasserdampf in der Luft befand. Die unregelmäßige Kurve mit den Ausreißern ist auf Wolken zurückzuführen, welche aus Wasserdampf und Wassertropfen bestehen.

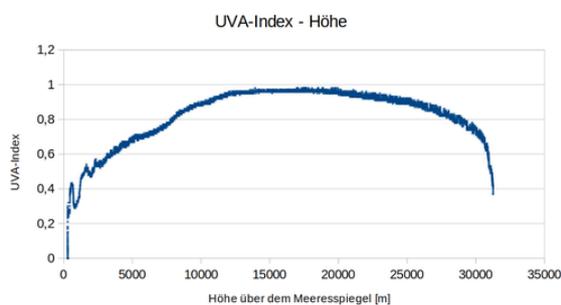


Abbildung 30: UVA-Index in Anhängigkeit der Höhe

Das Diagramm 30 erklärt, wieso die UV-Strahlung auf Bergen intensiver ist als im Tal. Die ultraviolette Strahlung vom Typ A (UVA-Strahlung) ist eine energiereiche, elektromagnetische Strahlung außerhalb des sichtbaren Spektrums, die zu Hautalterung führt und Krebs verursachen kann. Im Diagramm ist der Zusammenhang zwischen dem UVA-Index und der Höhe verdeutlicht. Zu erkennen ist, dass der UVA-Index schon bei geringer Höhe stark ansteigt, da die UVA-Strahlung immer weniger absorbiert wird. Die sehr starke Abnahme am Ende der Kurve ist darauf zurückzuführen,

dass die Dämmerung einsetzte und die gesamte Sonneneinstrahlung abnahm.

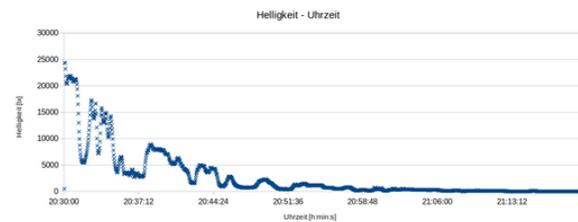


Abbildung 31: Helligkeit in Abhängigkeit der Zeit

Im Diagramm 31 ist der Verlauf der Helligkeit über den Abend dargestellt. Die Helligkeit nahm von etwa 21 000 lx um 20:30 Uhr auf etwa 400 lx um 21:00 Uhr ab. Dabei handelt es sich annähernd um eine exponentielle Abnahme. Unsere Box drehte sich während des Flugs, sodass sich der Helligkeitssensor zur Sonne hin- und wieder wegdrehte. Dies erklärt den schwankenden Kurvenverlauf.

Zitate

- Immer höher, immer weiter – Meteo, wir sind die Fighter! (Schlachtruf beim Sportfest)
- Schneller als der Jetstream! (Schlachtruf Sportfest)
- Relativ ist ein anderes Wort für eigentlich. (Georg)
- Der Ballon denkt sich: No risk, no fun! (Ben)
- Vorne drücken, hinten ziehen. (Clara darüber, wie man ein Auto den Berg hochbekommt)
- Wir können mit Druck umgehen!
- Der Letzte kommt zum Schluss. (Ben)

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 21. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt erst möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics und den Förderverein der Science Academy unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 „Schule und Bildung“ des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 „Allgemein bildende Gymnasien“, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, und Herrn Jan Wohlgemuth, Regierungsschuldirektor und Stellvertretender Leiter des Referats 35 „Allgemein bildende Gymnasien“ am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Leiterin des Bereichs Akademien Frau Dr. Ulrike Leikhof, der Referentin für die Deutschen JuniorAkademien und die Deutschen SchülerAkademien Dr. Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Wir waren wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU). Für die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaißer sowie dem Leiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger, Leiterin des Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, und Herrn Oberstudiendirektor Stefan Ade, Leiter des Schwetzingen Hebel-Gymnasiums, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit dem Schülermentorenteam und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

Diejenigen aber, die die Akademie in jedem Jahr einzigartig werden lassen und sie zum Leben erwecken, sind die Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Deshalb möchten wir uns bei ihnen und ihren Eltern für ihr Engagement und Vertrauen ganz herzlich bedanken.

Bildnachweis

Seite 9, Abbildung Asteroid (Ausschnitt des Originalbildes):

NASA, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00135>
NASA/JPL

Seite 9, Abbildung Meteor:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteor,_8.5.2016.jpg
Wikimedia-User Michael Eberth
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 9, Abbildung Meteorit Knyahinya:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steinmeteoriten_NHM_Wien.JPG
Wikimedia-User Dr. Bernd Gross
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Kirkwood Gaps:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AsteroidIncAu.png>
Wikimedia-User Dreg743, Piotr Deuar
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Mikrometeoriten unter dem Lichtmikroskop:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_microscope_images_of_stony_cosmic_spherules.png
Wikimedia-User Shaw Street
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 13, Abbildung Genese von Mikrometeoriten:

urbane Mikrometeorite, <https://www.micrometeorites.org/einfuehrung>
Dr. Thilo Hasse, mit freundlicher Genehmigung

Seite 14, Abbildung Azimutsystem:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HorSys.svg>
Wikimedia-User S. Wetzel
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 15, Abbildung Äquatorsystem:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg?lang=de
Wikimedia-User Cmglee
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 17, Abbildung Funktion des großen Wagens als Polarsternzeiger:

Wikimedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:PolarsternFinden.svg>
Wikimedianutzer Flups

Der Urheber erteilte ein unentgeltliches, bedingungsloses Nutzungsrecht für jedermann ohne zeitliche, räumliche und inhaltliche Beschränkung (gemeinfrei-artige Nutzungslizenz).

Seite 23, Abbildung Ionentriebwerk:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia04247-deep-space-1s-ion-engine>
NASA/JPL

Seite 25, Abbildung Messeinheit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_IMU_at_Draper_Hack_the_Moon_exhibit.agr.jpg
Wikimedia-User ArnoldReinhold
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 26, Abbildung Testflug Starship:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch_\(crop_2-3\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch_(crop_2-3).jpg)
Wikimedianutzer Osunpokeh
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 33, Kursbild:

Foto des Literatur/Philosophie-Kurses
Isabella Flick

- Seite 34, Utopiebegriff:
Darstellung der Utopiebegriffe
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 35, Thomas Morus:
Bildnis des Thomas Morus, UB Leipzig
openverse, <https://openverse.org/image/a00ea616-6192-4377-91c4-60710389e7ff>
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 36, Hermeneutische Spirale:
Darstellung der Hermeneutik als Methode
Laura Treptow
- Seite 37, Grundkonzept des Kursaufbaus:
Schaubild der grundlegenden Überlegungen zum Kursaufbau, angelehnt an ein Schaubild aus: Susann Vollert:
Utopien – nicht hier, nicht jetzt, nicht möglich?, Beitrag 33 aus: RAAbits Ethik/Philosophie Nr. 37, Raabe
Verlag, Dezember 2013.
- Seite 38, Kursarbeit:
Henriette Neuschwander
- Seite 39, Portrait von Hobbes, Künstler John Michael Wright, ca. 1670
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas_Hobbes_by_John_Michael_Wright.jpg
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 41, George Orwell (1940)
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Orwell,_c._1940_\(41928180381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Orwell,_c._1940_(41928180381).jpg)
Cassowary Colorizations
CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>)
- Seite 42, Vereinfachte Darstellung des idealen Staatsaufbaus nach Platons Idee des Philosophenkönigs
Antonia Schneider
- Seite 42, Platon:
Ausschnitt aus dem Fresko „Philosophenschule von Athen“, Künstler Raffael, ca 1510
Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Platon.png>
Wikimedia-User RaphaelQS
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 43, Immanuel Kant:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
Johann Gottlieb Becker, 1768
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Bildnis des Gotthold Ephraim Lessing, UB Leipzig
openverse, <https://openverse.org/image/c311d14c-7e57-4b62-83b1-c0eb5bf45350>
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Die Ebenen der Ringparabel:
Schaubild der Text- und Bedeutungsebene von Lessings Ringparabel in seinem Werk „Nathan der Weise“
Letitia Bindert
- Seite 46, Hans Jonas an der Universität St. Gallen (1983):
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Jonas_an_der_Universität_St._Gallen_\(1983\)_H_SGH_022-001945.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Jonas_an_der_Universität_St._Gallen_(1983)_H_SGH_022-001945.jpg)
Universitätsarchiv St.Gallen, Regina Kühne, HSGH 022/001945
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 47, KI-generierte virtuelle Welt:
Beispielhafte Darstellung einer virtuellen Utopie, angelehnt an Beschreibungen aus dem Buch „Cryptos“ von
Ursula Poznanski
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 48, Der voll digitalisierte Mensch:
Beispielhafte Darstellung eines „gläsernen“ Menschen in einer voll digitalisierten Welt
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 49, Exkursion:
Foto des Kurses bei der „experimenta“ in Heilbronn
Nadia Serotek

Seite 50, Spaß beim Planendreihen:

Kursteilnehmer zwischen Arbeit und Vergnügen
Tobias Flick

Seite 52, Design des Kursshirts:

Gemeinsam im Kurs erstelltes Design für das Kurs-T-Shirt
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet

Seite 111, Abbildung Ernährungspyramide:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plakat_Ern%C3%A4hrungspyramide_7Stufen_ohne_Rand_cutted.png

Wikimedia-User Magnus Manske

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>) Seite 119, Abbildung Temperaturverlauf in der Atmosphäre:

www.eskp.de/en/pollutants/forschungsthema-atmosphaere-935771/#images-1

Wissensplattform eskp.de

CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

Seite 125, Abbildung Schematischer Aufbau der Erdatmosphäre:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphäre_Stufen.svg

Niko Lang, Wikimedia-User Ladyt

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 126, Abbildung Lichtspektrum:

Wikipedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Spektrum.svg>

Matthias Matt

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 126, Abbildung Streuung des Sonnenlichts:

<https://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/himmelsblau-und-abendrot>

LEIFIphysik – mit freundlicher Genehmigung

Seite 133, Abbildung: Vergleich mit Daten anderer Sonden

Dr. Tobias Kerzenmacher, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung am KIT (Karlsruhe Institute of Technology), unter Verwendung der Daten von:

<https://doi.org/10.24381/cds.6860a573>

<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>

Mit freundlicher Genehmigung

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bildern unter einer CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

Abbildungen der Europäischen Weltraumagentur (ESA) werden gemäß der ESA Standard License für Bildungszwecke verwendet: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images

Abbildungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) können für Schulen und Lehrbücher ohne explizite Erlaubnis verwendet werden: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>