

JuniorAkademie Adelsheim

19. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2022



Astronomie



Biologie



Mathematik/Informatik



Pharmazie/Chemie



Philosophie/Ethik



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2022**

**19. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2022:

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 19. JuniorAkademie Adelsheim 2022 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2022 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

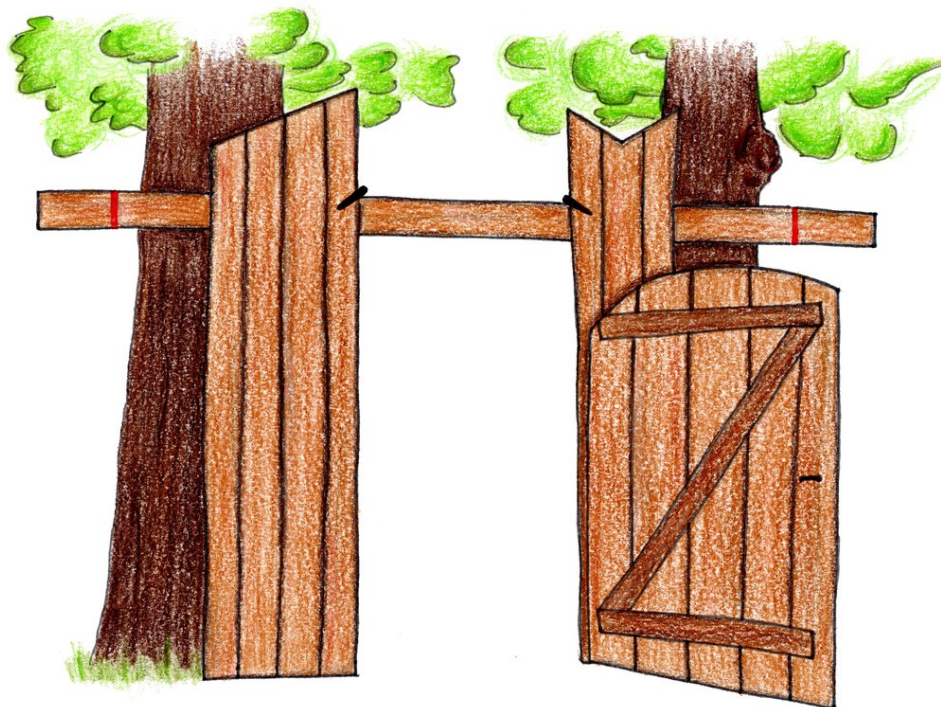
Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

treten Sie ein! Herzlich willkommen zu einem Bericht über die vielseitigen Erlebnisse der diesjährigen 19. Science Academy Baden-Württemberg!

Im Rahmen der Akademie kamen 72 Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Eröffnungswochenende im Juni zunächst online für ein erstes virtuelles Kennenlernen mit dem Leitungsteam zusammen. Damit traten sie über die Schwelle zu neuen Erfahrungen, Freundschaften und Wissenszuwachs. Bei der Akademie im Sommer konnten wir dann unsere physische Akademietür öffnen und uns endlich in Präsenz im Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim begegnen. Dabei blieben lediglich durch Tests, Masken und weitere Maßnahmen ein paar „Schutztüren“ eingebaut.

Ein wichtiger Teil der Akademie ist die Arbeit in den sechs Kursen, die den Jugendlichen einen Einblick in wissenschaftliches Denken und Arbeiten gewährt und eine Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten in Bereichen wie Teamarbeit und Präsentationstechnik ermöglicht. Auch in diesem Jahr hatten die Kursleiter und Kursleiterinnen wieder spannende Themen vorbereitet.



So plante der Astronomiekurs eine fiktive Mission zum Jupitermond Europa, und der Biologiekurs beschäftigte sich damit, wie wir aus unserer Nahrung Energie gewinnen; im Mathematik-/Informatikkurs ging es dagegen um Klimamodelle und Datenanalyse. Außerdem erforschte der Kurs Pharmazie/Chemie, wie Medikamente im Körper richtig wirken, und während der Physikkurs sich mit der optimalen Ausleuchtung von Solarzellen befasste, beleuchtete der Philosophie-/Ethikkurs das Thema Gerechtigkeit.

Auch die Zeit außerhalb der Kurse war durch die Kursübergreifenden Angebote (KüAs) abwechslungsreich gestaltet. In zwei KüA-Schienen täglich konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vielfältige Angebote, die von Debating und PowerPoint-Karaoke über Tanzen und Häkeln bis hin zu einer Physikshow reichten, wahrnehmen oder auch selbst anleiten.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer konnten in den Kursen, KüAs und in der Freizeit viele Kontakte knüpfen, neue Interessen entdecken und alte vertiefen. Da so viele motivierte und interessierte Menschen zusammenkommen, ergeben sich viele spannende Gespräche und Aktivitäten. Dadurch ist die Akademie eine sehr intensive Zeit, in der wir auch in diesem Jahr wieder zu einer starken Gemeinschaft zusammengewachsen sind.

Mit all ihren Angeboten und Möglichkeiten konnte die Akademie daher viele neue Türen öffnen, passend zu unserem Motto „Türen“, das uns vom ersten Plenum beim Eröffnungswochenende bis zur letzten Minute der Akademie mit verschiedenen Aktionen und Denkanstößen begleitete. Bei diesen metaphorischen Türen kann es sich beispielsweise um andere (Zukunfts-)Perspektiven und Sichtweisen, um Erfahrungen wie die Laborarbeit und die einzigartige Akademieatmosphäre oder um neu entdeckte Lieblingsthemen handeln. Sicherlich werden diese nun offenen Türen für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch ein Schlüssel zu vielen weiteren neuen Möglichkeiten und Entdeckungen sein.

Beim Dokumentationswochenende schlossen wir unsere Akademietür wieder und verließen gemeinsam Adelsheim mit vielen neuen Eindrücken und Erinnerungen im Gepäck. Für ein mögliches Wiedersehen halten allen Beteiligten ihre Türkeile die Tür jedoch stets einen Spalt offen!

Vor dem Abschied entstand ein umfangreicher Bericht der fachlichen Ergebnisse und persönlichen Erlebnisse unserer gemeinsamen Akademiezeit, der nun vor Ihnen liegt. Treten Sie ein, liebe Eltern, Freunde, interessierte Leser – und vor allem „liebe Kinder“: Viel Spaß beim Lesen der Dokumentation!

Eure/Ihre Akademieleitung



Merit Neibig
(Assistenz)

Henriette Neuschwander
(Assistenz)

Tobias van Lier
(Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – BIOLOGIE	33
KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK	65
KURS 4 – PHARMAZIE/CHEMIE	83
KURS 5 – PHILOSOPHIE/ETHIK	105
KURS 6 - PHYSIK	131
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	149
DANKSAGUNG	173
BILDNACHWEIS	175

Kurs 6 – Was steckt alles in einer Solarzelle?



Unser Kurs

Clara ist unser Programmiergenie, das immer ruhig und stets freundlich und hilfsbereit ist. Strukturiert geht sie jede Herausforderung an und behält selbst in stressigen Situationen eine entspannte Haltung, was sie uns mit einem höchst professionellen Auftritt bei der Abschlusspräsentation unter Beweis stellte. Um ihre Leidenschaft fürs Schreiben und kreative Denken weiterzugeben, veranstaltete sie die „Kreatives-Schreiben-KüA“ und scheute bei den Geschenken an ihren geheimen Freund keine Mühen.

Hauke ist sehr musikalisch und war mit seinem Cello eine große Bereicherung für die Musik-KüA. Er ist ein begabter Tänzer und war immer sofort da, sobald es um Halbleiter ging. Bei der Abschlusspräsentation

erklärte er die Solarzelle besser, als es das Team kulär-Spekta je könnte. Zu seinem Pech passen Laptop und Regen nicht gut zusammen.

Julius verpasste den Morgensport trotz des „krummen Armes“ nie! Nicht mal ein Schachmatt am Abend zuvor konnte ihn davon abhalten, Stichwort: „Damen Trade“. Bei zahlreichen Teambuilding-Aufgaben übernahm er das Kommando und stützte das Team durch seine ausgeklügelten Strategien. Im Kurs war er bei gemeinsamen Überlegungen immer voll dabei.

Lennox vergisst gerne mal seine Mehrfachsteckdose und ist der einzige, der sich ausgiebig mit Liam über das Apple Ecosystem

unterhalten kann. Er beteiligte sich mit großer Neugier am Kursgeschehen und ging äußerst strukturiert an das Experimentieren heran.

Liam beeindruckte nicht nur mit seinem ausgeprägten Technik-Knowhow, sondern auch mit seinem 200 Zeilen langen Code für den Solartracker. Die Theater-KüA und die Akademielleitung unterstützte er tatkräftig mit diesem Wissen. Er schaut gerne „Joko und Klaas gegen ProSieben“ mit dem ganzen Zimmer und faustet Volleybälle. Eine Frage bleibt: Warum hat er sieben Laptops?

Mara ist kreativ und brachte mit ihren Ideen den Kurs maßgeblich voran. Zimmerintern ist sie dafür bekannt, immer die Schranktür offen zu lassen. Darüber hinaus ist sie immer für ein gutes Gespräch zu haben und nur zusammen mit Ronja und Stefanie aufzufinden. Ihren Ehrgeiz zeigte sie insbesondere in der Jonglage-KüA, in der sie das Jonglieren in kurzer Zeit erlernte.

Patrick liebt Wassermelonen, ist offen und war sehr hilfreich bei den Schuhkartons. Durch seine ruhige und manchmal etwas freundlich-verpeilte Art brachte er täglich Stimmung in den Kurs. Er war derjenige, der immer die Halbleiter präsentieren musste. Außerdem war er der einzige, der alle „Erwischt“-Aufgaben lösen konnte und war somit der unangefochtene Sieger. Die Duplos teilte er zum Glück mit uns!

Rebekka „Guten Morgen, Sonnenschein!“, ist der erste Satz, der einem zu Rebekka einfällt, und der alle Mädels aus dem Physikkurs morgens aufweckte. Durch ihre aufgeschlossene, offene und lockere Art konnte sie sogar außerhalb des Kurses ohne Probleme Freundschaften schließen. Außerdem war sie es, die den größten Teil des Kurses zusammenhielt und immer für einen Spaß zu haben war.

Ronja bringt einen durch ihre lustige Art immer zum Lachen und ist sehr selbstbewusst. Bei der Theater-KüA stellte sie ihr schauspielerisches Talent unter Beweis und offenbarte ihre Streitlust. Außerdem regt sie sich gerne über Busfahrer auf und ist deshalb niemand, mit dem man sich anlegen sollte.

Stefanie ist ruhig, nett und tierlieb und konnte nicht nur durch ihre tiefen Physikkenntnisse, sondern ganz besonders durch ihr Wissen über Vögel, insbesondere Wellensittiche, beeindrucken. Des Weiteren überraschte sie alle mit ihrem zweifachen Sieg im Stifte-Stierkampf. Wenn es ein Experiment zum Ausprobieren gab, war sie immer dabei.

Teresa ist klug, korrekt und wahnsinnig gut in Physik. Zudem ist sie perfektionistisch, auch bei Dingen, die nicht immer Sinn ergeben, und sie strebt stets das beste Ergebnis an. Im Kurs behielt sie immer den Durchblick und führte Leute gerne hinters Licht, um Punkte für das kursinterne Spiel „Erwischt“ zu ergattern. Außerdem stellte sie sich mit großem Mut dem Käfer im Zimmer 2326.

Till kann sehr anschaulich erklären und konnte bei der Abschlusspräsentation durch seine selbstbewusste und besonnene Art einfach alle überzeugen. Seinen Einfallsreichtum bewies er schon beim Eröffnungswochenende. Bei Gruppenaufgaben übernahm er gerne Leitungsaufgaben, spielte auf Lorenz Rücken Tic Tac Toe und gab beim Sportfest alles, auch wenn er am nächsten Tag dezent heiser war.

Isabel: „ENERGIEGELADENER ALS BLAUES LICHT“ – Der Kurs: „GEGEN PHYSIK GEWINNT IHR NICHT!“ Zusätzlich zur großartigen Unterstützung beim Programmieren mit den Arduinos sorgte sie als unsere Schülermentorin lauthals für einen kräftigen Motivationsschub, wenn es an den Schlachtruf ging. Für sie spricht, dass sie die Flasche nur offen weitergeben kann und uns vor Süßigkeiten-Entzug rettete. Seltsame, aber witzige Spielideen zu erfinden ist neben dem Tanzen ihr Spezialgebiet.

Lorenz, unser Tor Kulär, der zusammen mit Doc Spekta ein echtes Dream-Team bildet. Wie Jörg ihn passend beschrieb: „In der Ruhe liegt der Quatsch“. Das bewies er uns mehr als oft genug im Kurs, wenn er nicht gerade dabei war, uns schwierige Sachverhalte zu erklären. Wir hoffen alle, dass der Weg ihn in die richtige Richtung Fiat!

Felix, unser Doc Spekta, brachte uns zusammen mit seinem neuen BFF auf seine wahn-sinnig witzige Weise immer wieder zum Lachen. In freier Wildbahn sah man ihn des Öfteren Lorenz durch das Gelände jagen. Bei den hochspannenden Experimenten sowie bei der beliebten Physikshow vergaß er nie, die Seriosität zu betonen, so zum Beispiel beim Orgelpfeifen und Würstchen braten.

Vorwort

ISABEL

Wie eine Sonnenblume richtete sich unser Kurs stets nach der Sonne aus sowie nach der Frage, was eigentlich alles in einer Solarzelle steckt. Dabei sind zwei Bereiche für uns besonders interessant: Zum einen möchten wir herausfinden, aus welchen Bestandteilen eine Solarzelle besteht, und zum anderen, wie viel Energie in einer Solarzelle „steckt“. Um die Energie, die uns die Sonne freundlicherweise zur Verfügung stellt, bestmöglich mit einer Solarzelle zu nutzen, haben wir im Kurs einen Solartracker geplant, gebaut, programmiert und ausgiebig optimiert. Dabei stellten wir fest, dass das Bild einer Sonnenblume überraschend gut zu unserem Kursthema passt. Ein Solartracker richtet sich nämlich wie die Sonnenblume auch immer nach der Sonne aus.

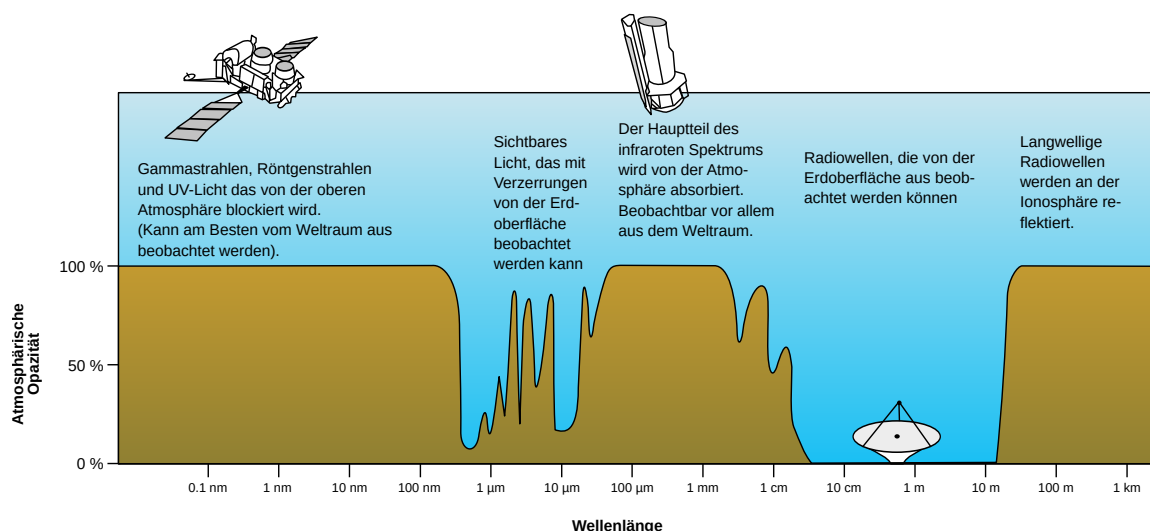
Während unserer Kursarbeit am Eröffnungs-wochenende und in der Sommerakademie in Adelsheim haben wir spannende Experimente durchgeführt und selbst ausgewertet, Kennlinien aufgenommen, spektakuläre Lichtspektren sichtbar gemacht, Photonen entdeckt und an Halbleitern geknobelt. Die Wochen, die wir miteinander verbracht haben, waren gezeichnet von Neugier, Freude und einer einzigartigen Gemeinschaft. Auch über hochspannende Experimente aus dem Bereich der Akustik hinaus hatten wir zusammen Spaß und konnten viel mit- und voneinander lernen.

Sonnenlicht

TERESA UND STEFANIE

Um eine Solarzelle zu betreiben, braucht es Sonnenlicht, das ist den Meisten klar. Doch aus was besteht Sonnenlicht überhaupt? Wie viel kommt davon bei uns an? Und was sind eigentlich Fraunhoferlinien? Diese und weitere Fragen beantworteten wir schon am ersten Kurstag.

Sonnenlicht, also Sonnenstrahlung (auch Solarstrahlung genannt), ist eine elektromagnetische Strahlung. Die drei für uns wichtigsten Bereiche sind ultraviolette, sichtbares und infrarotes Licht, wobei das ultraviolette Licht die kleinste und Infrarotlicht die größte Wellenlänge hat.



Auf der y-Achse ist die Absorption von elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre gegen die Wellenlänge der Strahlung aufgetragen.

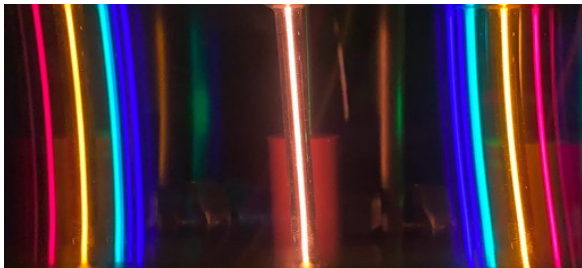
Abbildung: Wikimedia (NASA, Wikimedia-User Mysid/Ariser, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Als sichtbares Licht bezeichnen wir den Bereich der Strahlung, den das menschliche Auge als Farben wahrnimmt. Es hat eine Wellenlänge von 380 nm bis 780 nm (nm steht für Nanometer = Milliardstel Meter). Allerdings kommt nur ein Teil der Sonnenstrahlung ungehindert durch die Atmosphäre, weil ein großer Teil an Luftmolekülen gestreut oder von ihnen absorbiert wird. Ob die Strahlung die Atmosphäre durchdringen kann oder nicht, hängt im Wesentlichen von der Wellenlänge der Strahlung ab. Ultraviolettes Licht wird beispielsweise fast komplett abgeschirmt, Radiowellen dagegen werden so gut wie gar nicht aufgehalten, wie sich in der Abbildung erkennen lässt.

Zusätzlich hängt die Menge der Energie, die schließlich bei uns ankommt, auch noch von der Länge des Laufwegs, den das Licht durch die Luft zurücklegt, und damit vom Sonnenstand ab. Dadurch kommen nur etwa 50 Prozent der Sonnenenergie wirklich auf der Erdoberfläche an.

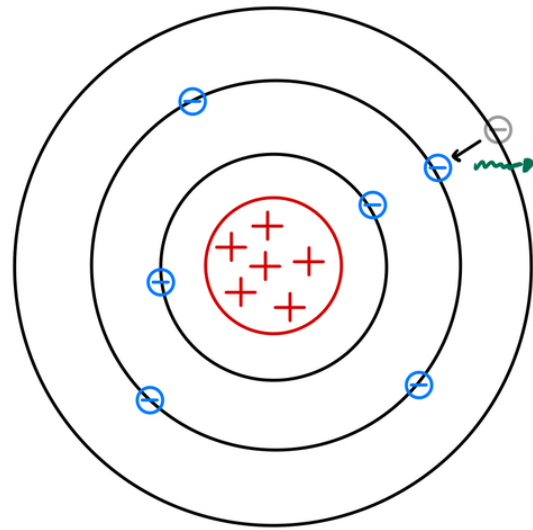
Lichtspektren

Bei einem elektromagnetischen Spektrum (Lichtspektrum) wird die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Wellenlänge betrachtet. Wir unterscheiden bei Lichtspektren grundsätzlich zwischen Absorptions- und Emissionsspektren.



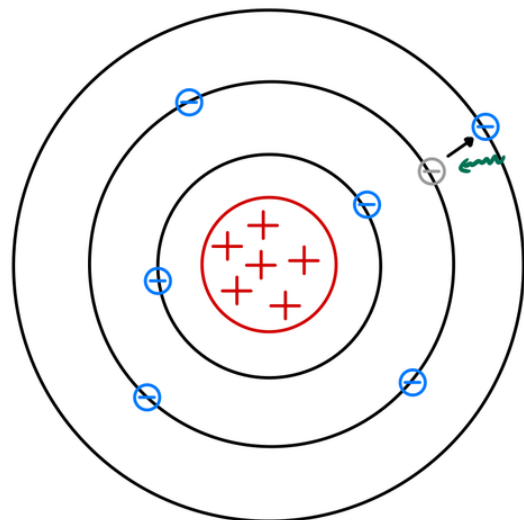
Die bunten Linien beim Emissionsspektrum heißen Emissionslinien. Sie entstehen, wenn negativ geladene Elektronen innerhalb eines Atoms auf eine weiter innen liegende Schale springen, weil sie vom positiven Atomkern angezogen werden. Dabei wird Energie in Form von Licht einer bestimmten Wellenlänge, also mit einer bestimmten Farbe, freigesetzt (emittiert), wodurch die bunten Linien entstehen.

Besonders schön ist das Spektrum einer mit Helium gefüllten Spektrallampe, das wir durch ein sehr feines Gitter beobachten konnten.

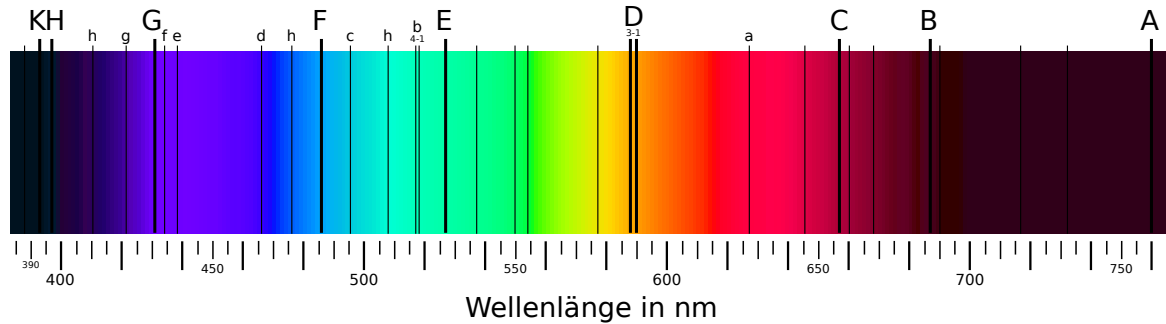


Vereinfachte graphische Darstellung der Emission von Licht mithilfe des Bohrschen Atommodells

Genau anders herum verhält es sich bei Absorptionsspektren wie dem Sonnenspektrum. Bei dieser Art von Spektren entstehen die schwarzen Absorptionslinien dadurch, dass Elektronen innerhalb des Atoms auf eine weiter außen liegende Schale springen. Dafür wird Energie benötigt, da sie sich gegen die Anziehungskraft des Atomkerns bewegen. Die Energie wird in Form von Licht einer bestimmten Wellenlänge absorbiert.



Vereinfachte graphische Darstellung der Absorption von Licht mithilfe des Bohrschen Atommodells



Die Absorptionslinien des Sonnenspektrums werden auch Fraunhoferlinien genannt.

Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Saperaud, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Fraunhoferlinien

Im Spektrum der Sonne erkennt man viele schwarze Absorptionslinien, die sogenannten Fraunhoferlinien. Sie werden von verschiedenen chemischen Elementen verursacht, die wir im Kurs mithilfe einer Simulation bestimmt haben. Dafür haben wir zuerst die Pixelwerte und dazugehörigen Wellenlängen der fünf Quecksilber-Emissionslinien in einem Programm abgelesen, um mit deren Hilfe die Wellenlängen der Fraunhoferlinien auszurechnen.

Quecksilber ist hierfür ein mögliches Vergleichselement, da uns die Wellenlängen der Emissionslinien bekannt waren. Mit diesen Werten konnten wir in Excel eine Gerade erstellen, mit der Geradengleichung: $y = 0,097 \cdot x \text{ nm/Pixel} + 388,954 \text{ nm}$. Setzt man nun für x einen Pixelwert ein, kann man die entsprechende Wellenlänge y zum passenden Element ausrechnen. Anhand einer Tabelle konnten wir nun untersuchen, zu welchem Element die berechnete Wellenlänge einer Fraunhoferlinie gehört. So bestimmten wir nach und nach die Elemente der 20 wichtigsten Fraunhoferlinien.

Nachdem wir uns nun mit dem Sonnenlicht – dem „Treibstoff“ für unsere Solarzelle – auseinandergesetzt hatten, beschäftigten wir uns mit den Vorgängen innerhalb der Solarzellen.

Photoeffekt

JULIUS UND TILL

Um die Energieumwandlung in einer Solarzelle zu verstehen, machten wir uns mit dem Photoeffekt vertraut. Dieser wurde 1887 von Heinrich

Hertz entdeckt und 1905 von Albert Einstein gedeutet, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt.

Um den photoelektrischen Effekt (kurz Photoeffekt) zu erklären, betrachtet man elektromagnetische Strahlung als Strom aus vielen Teilchen, die man sich als viele kleine Energieportionen vorstellen kann, die sogenannten Photonen. Wenn diese auf Halbleiter oder Metalle treffen, können sie Elektronen aus dem Material herauslösen. Dabei unterscheidet man zwischen dem inneren und äußeren Photoeffekt.

Um den inneren Photoeffekt zu verstehen, verwendet man ein Modell bestehend aus Valenzband und Leitungsband. Im Valenzband werden Elektronen herausgelöst, die dann von dort in das Leitungsband übergehen. Der innere Photoeffekt tritt ausschließlich bei Halbleitermaterialien auf, da die durch die Photonen hinzugegebene Energie von den Elektronen verwendet wird, um die Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband zu überwinden.

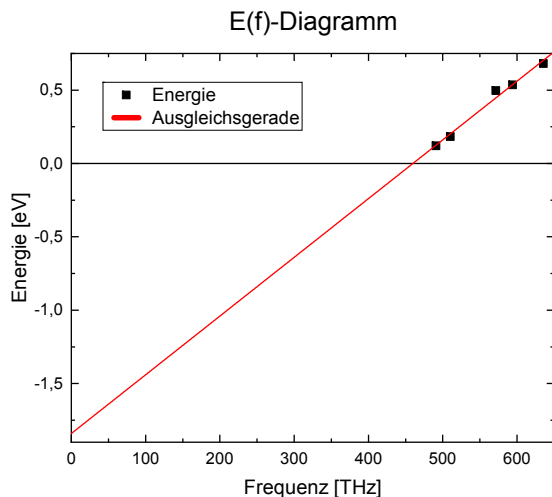
Bei dem äußeren Photoeffekt hingegen werden die Elektronen herausgelöst und verlassen das Metall. Um zu beweisen, dass die Elektronen das Metall verlassen, haben wir den Hallwachs-Versuch im Kurs durchgeführt. Dafür brachten wir eine negativ aufgeladene Zinkplatte auf einem Elektroskop an und bestrahlten sie mit UV-Licht. Wir beobachteten dabei, dass der Zeigerausschlag zurück ging, die Zinkplatte sich also entlud. Wenn wir eine Glasscheibe, die UV-Licht abschirmt, zwischen Lampe und Metallplatte hielten, entlud sich das Elektroskop nicht weiter. Das Licht der UV-Lampe löst folglich die überschüssigen Elektronen aus

der Zinkplatte heraus. Das ist der äußere Photoeffekt.



Versuchsaufbau zum Hallwachs-Versuch

Anschließend beschäftigten wir uns mit der Austrittsarbeit. Das ist die Energie, die ein Photon mindestens haben muss, um ein Elektron aus dem Kathodenmaterial herauszulösen. Um dies zu untersuchen, bauten wir eine Schaltung auf, bei der verschiedenfarbiges Licht auf eine Metallkathode trifft. Durch eine veränderliche Gegenspannung haben wir die Grenzspannung gemessen, bei der keine Elektronen mehr die Anode erreichen. Man bemerkt, dass je höher die Frequenz des Lichts ist, desto höher ist die Energie.



Auf der y -Achse sieht man die Werte für die Energie der herausgelösten Elektronen in der Einheit Elektronenvolt und auf der x -Achse die Frequenz des Lichts in Terahertz.

Wir trugen die Werte in einem Diagramm auf und legten eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte, deren y -Achsenabschnitt angibt,

wie viel Energie ein Photon mindestens haben muss, um ein Elektron aus dem Material herauszulösen. Das ist die sogenannte Austrittsarbeit, sie unterscheidet sich von Material zu Material. In diesem Beispiel liegt sie bei ca. 1,8 eV. Der Schnittpunkt mit der horizontalen Achse gibt die Grenzfrequenz an, ab der es überhaupt erst zum Photoeffekt kommen kann. Als Proportionalitätskonstante, die der Steigung der Geraden entspricht, lässt sich das Plancksche Wirkungsquantum ablesen:

$$h \approx 6,53 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Die Abweichung zum Literaturwert liegt bei etwa 1,4 Prozent.

Halbleiter

HAUKE UND MARA

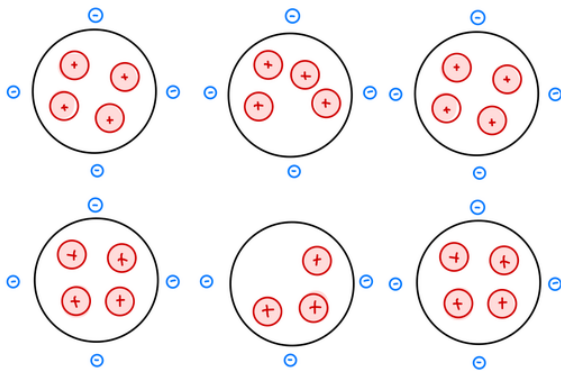
Grundlagen

Um zu verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert, mussten wir erstmal verstehen, woraus sie besteht. Dabei spielen Halbleiter eine wichtige Rolle. Das sind Materialien, die meist aus Halbmetallen bestehen. Bei Solarzellen wird meistens Silizium verwendet, ein Element der 4. Hauptgruppe, da dies ein häufig vorkommender Rohstoff ist.

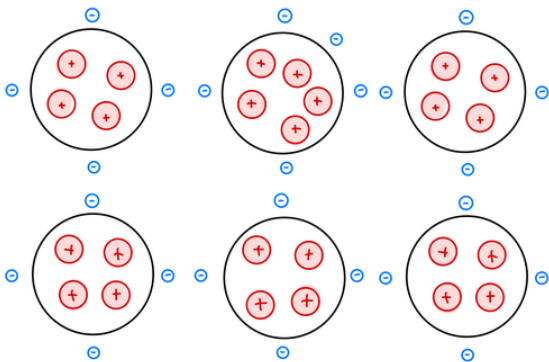
Die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern ist temperaturabhängig, bei steigender Temperatur nimmt ihre Leitfähigkeit zu, bei Raumtemperatur leiten sie allerdings fast gar keinen Strom. Das lässt sich mit dem Atomaufbau erklären: Die Elemente der 4. Hauptgruppe haben vier Außen- bzw. Valenzelektronen, mit denen sie Verbindungen eingehen können. Um die Edelgaskonfiguration zu erreichen, d. h. bei Silizium insgesamt acht Valenzelektronen zu haben, bindet ein Valenzelektron in einem Halbleiter an ein Valenzelektron des Nachbaratoms, wodurch Elektronenpaarbindungen entstehen. Das bedeutet, dass die Atome sich die Elektronen „teilen“. Somit entsteht eine Art „Gitter“ aus stabilen Elektronenpaarbindungen, und es kann fast kein Strom mehr geleitet werden, da nur noch eine geringe Anzahl an freien Elektronen vorliegt.

Dotierung

Um die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern zu erhöhen, können sie dotiert werden. Das heißt, dass Fremdatome der 3. Hauptgruppe (p-Dotierung) oder Fremdatome der 5. Hauptgruppe (n-Dotierung) in das Atomgitter eingesetzt werden. Da Elemente der 3. Hauptgruppe nur drei (anstatt vier) Valenzelektronen haben, entstehen bei der p-Dotierung sogenannte positive Löcher. Das sind Stellen, an denen ein Valenzelektron nicht an ein anderes binden kann. Im Gegensatz dazu bleiben bei der n-Dotierung frei bewegliche überschüssige Elektronen übrig, da Elemente der 5. Hauptgruppe fünf (anstatt vier) Valenzelektronen haben.



Darstellung eines p-dotierten Halbleiters



Darstellung eines n-dotierten Halbleiters

pn-Übergang

Wenn nun ein p-dotierter Halbleiter mit einem n-dotierten Halbleiter (im Fall der Solarzelle eine p- mit einer n-dotierten Schicht Silizium) in Kontakt gebracht wird, entsteht ein elektrisches Feld. Das liegt daran, dass die frei beweglichen

überschüssigen Elektronen der n-Schicht zur p-Schicht diffundieren, d. h. sie bewegen sich, um die Löcher zu füllen (man sagt, sie rekombinieren) und wieder die Edelgaskonfiguration zu erzielen. Dies führt dazu, dass zwischen diesen beiden Seiten eine Zone entsteht, in der sich keine solchen frei beweglichen Ladungen befinden, sondern wieder ein stabiles Atomgitter – wie bei einem undotierten Halbleiter – entsteht.

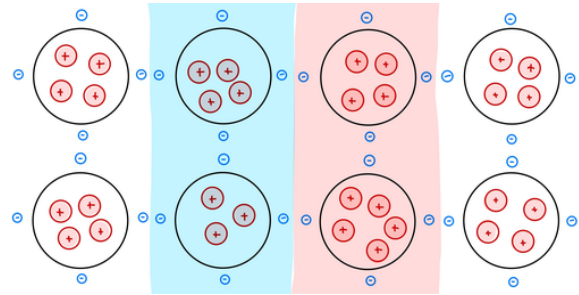


Abbildung eines pn-Übergangs

Diese Zone wird Raumladungszone oder auch Grenzschicht genannt und ist für die Funktionsweise einer Solarzelle entscheidend. Durch das Diffundieren der Elektronen kommt es zu einem Ungleichgewicht der elektrischen Ladungen in der Grenzschicht: Auf der n-dotierten Seite befinden sich nun mehr positiv geladene Protonen im Atomkern als negativ geladene Elektronen in der Hülle, wodurch die n-dotierte Seite insgesamt positiv wird (siehe rot eingefärbte Seite in der Abbildung). Währenddessen befinden sich auf der p-dotierten Seite nun mehr Elektronen als Protonen, weshalb die p-dotierte Seite negativ wird (siehe blau eingefärbte Seite in der Abbildung) und eine Spannung entsteht.

Aufgrund der Tatsache, dass ungleichnamige Ladungen sich anziehen, wird somit verhindert, dass alle Elektronen vollständig zur anderen Seite diffundieren und der Halbleiter wieder einem völlig undotierten gleicht.

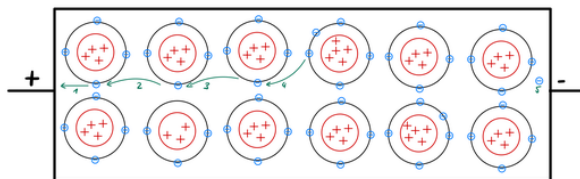
Durchlass- und Sperrrichtung

Wenn man eine Halbleiterdiode, z. B. eine LED, in einen Stromkreis einbauen möchte, muss man aufpassen, dass man sie richtig herum schaltet, da sie ansonsten nicht funktionieren wird. Aber warum leitet die Diode Strom nur in eine Richtung? Um das zu verstehen, müssen

wir uns den Aufbau der Diode anschauen. Damit die Diode den Strom leitet, müssen wir an die p-dotierte Schicht den Pluspol und an die n-dotierte Schicht den Minuspol anschließen. Die Elektronen in der Nähe des Pluspols der p-dotierten Schicht werden von diesem angezogen und abgesaugt, somit entstehen durchgehend neue Löcher, in die Elektronen, die weiter vom Pluspol entfernt sind, rutschen, weil sie durch ein entstehendes elektrisches Feld zum Loch beschleunigt werden. Die Elektronen wandern also durch die Löcher zum Pluspol.

Das passiert fortlaufend, und somit wandert das Loch bis zum Kontakt zwischen p- und n-dotierter Schicht. Dann kann ein überschüssiges Elektron aus der n-dotierten Schicht dieses Loch füllen und ein Zyklus ist beendet. Der Minuspol pumpt dann ein weiteres Elektron in die n-dotierte Schicht. Es ist ein Elektron vom Pluspol abgesaugt worden und ein Elektron wurde in die n-dotierte Schicht gedrückt.

Dieser Prozess läuft fortlaufend und auch parallel in der Diode ab. Es bewegen sich Elektronen, also fließt Strom. Beim Pluspol werden immer wieder Elektronen abgesaugt, und der Minuspol stellt immer wieder neue Elektronen zur Verfügung. Wenn die Pole so an die Diode angeschlossen werden, wurde die Diode in Durchlassrichtung geschaltet.

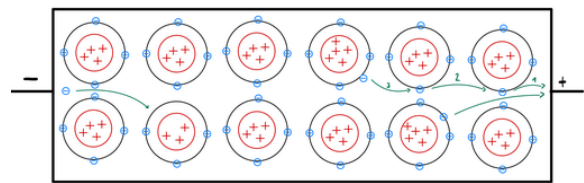


Halbleiterdiode mit angelegter Spannung in Durchlassrichtung mit dem Weg der Elektronen durch die Löcher (zeitlich nummeriert)

Wenn man allerdings den Minuspol an die p-dotierte und den Pluspol an die n-dotierte Schicht anschließt, fließt kein Strom und man hat die Diode in Sperrrichtung geschaltet. Warum die Diode so keinen Strom leitet, können wir uns erneut mit dem Aufbau der Diode erklären: Die überschüssigen Elektronen aus der n-dotierten Schicht werden vom Pluspol, der an die n-dotierte Schicht angeschlossen wurde, angezogen und abgesaugt. Gleichzeitig werden die Löcher

in der p-dotierten Schicht mit Elektronen aus dem Minuspol, der an die p-dotierte Schicht angeschlossen wurde, aufgefüllt. Die vorher bereits beschriebene Grenzschicht erstreckt sich jetzt über die gesamte Diode.

Nun hat das Halbleitermaterial seine bevorzugte Gitterstruktur mit vier Valenzelektronen bei jedem Atom erreicht, d. h. jedes Atom hat die Edelgaskonfiguration erreicht. Das Material hat nun ein geringes Energieniveau und deswegen ist es für das Material energetisch günstig, seinen Zustand beizubehalten, also folglich auch, dass sich Elektronen nicht bewegen. Und wenn sich keine Elektronen bewegen, fließt kein Strom.



Halbleiterdiode bei angelegter Spannung in Sperrrichtung

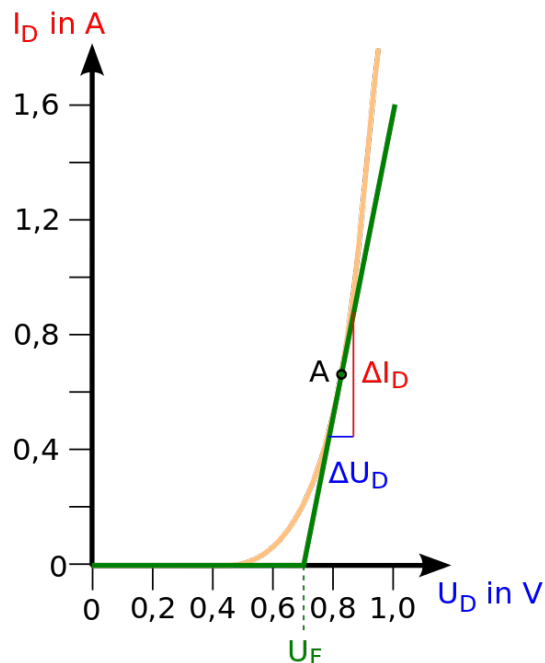
Man kann also zusammenfassend sagen, dass eine Diode wie ein Ventil funktioniert, das Elektronen nur in eine Richtung durchlässt.

Eine Diode kann trotzdem auch in Sperrrichtung Strom leiten, allerdings nur, wenn eine so hohe Spannung angelegt wird, dass die Elektronen wortwörtlich durch die Diode gepresst werden. Dazu muss es für die Elektronen energetisch günstiger sein, das elektrische Feld in der gesamten Diode zu überwinden. Aber nachdem man eine so hohe Spannung angelegt hat, ist die Diode defekt. Es gibt allerdings eine Ausnahme, die sogenannten Sperrdioden, die speziell dafür ausgerichtet sind, in Sperrrichtung angeschlossen zu werden. Aber das führt leider zu weit.

Schwellspannung einer Diode

Eine LED (light emitting diode) ist eine spezielle Diode, die bei Stromfluss Licht emittiert. Wenn man eine LED in Durchlassrichtung schaltet, kann es trotzdem noch sein, dass die LED nicht leuchtet. Dafür ist die sogenannte Schwellspannung U_f verantwortlich. Sie ist

diejenige Spannung, die wir mindestens an eine Diode anlegen müssen, sodass Strom fließt (bei einer Silizium-Diode wäre $U_f \approx 0,7\text{ V}$). Um U_f zu bestimmen, messen wir einfach die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Diode, die in Durchlassrichtung geschaltet wurde. U_f ist diejenige Spannung, die die Verlängerung des vermeintlich geradlinigen Teils der Kennlinie an der U -Achse schneidet.



Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung

Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Stündle, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Aber warum existiert diese Schwellspannung überhaupt? Um uns das zu erklären, schauen wir uns wieder einmal den Aufbau der Diode an, genauer die Grenzschicht zwischen p- und n-dotierter Schicht.

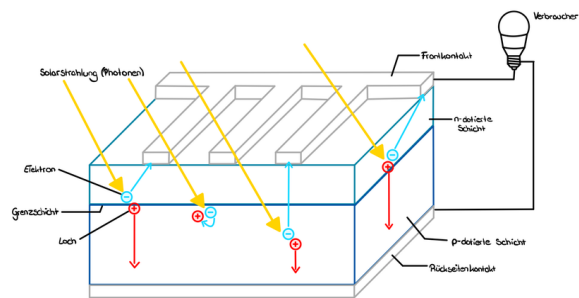
Diese Grenzschicht hat ein elektrisches Feld, wie oben bereits beschrieben. Wenn die Diode in Durchlassrichtung geschaltet wird, können die Elektronen nur fließen, wenn die angelegte Spannung so groß ist, dass es für die Elektronen energetisch günstiger ist, das elektrische Feld in der Grenzschicht zu überwinden und die Löcher zu füllen. Ab der materialabhängigen Schwellspannung ist das der Fall.

Solarzellen

PATRICK UND RONJA

Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle

Als nächstes beschäftigten wir uns im Kurs mit dem Aufbau und der Funktionsweise einer Solarzelle. Dazu nahmen wir uns noch einmal das Bild des dotierten Halbleiters vor Augen und bemerkten, dass der Aufbau einer Solarzelle im Grunde einem pn-Übergang entspricht. Somit konnten wir verstehen, dass die Solarzelle aus einer großen p-dotierten und einer kleinen n-dotierten Schicht Silizium besteht, die zusammen einen pn-Übergang bilden.



Aufbaus einer Solarzelle (Abbildung von Ronja)

Auf der Ober- und Unterseite dieses pn-Übergangs befindet sich jeweils ein Kontakt aus Metall, der wiederum mit einem Kabel mit dem Verbraucher verbunden ist und somit die beiden Kontakte miteinander verbindet. Wie uns bereits durch die Erschließung des Photoeffekts klar war, lösen energiereiche Photonen aus der Sonnenstrahlung Elektronen aus dem Halbleitermaterial heraus, wenn sie auf den pn-Übergang der Solarzelle treffen.

Die überschüssige Energie der Photonen wird den Elektronen, welche sich nun aufgrund des elektrischen Feldes, das sich beim Erstellen des pn-Übergangs gebildet hat, durch die n-Schicht zu dem Kontakt bewegen, als Bewegungsenergie mitgegeben. Vom Kontakt fließen sie nun durch den Verbraucher und wieder zurück in die p-dotierte Schicht der Solarzelle. Dort füllen sie nun die positiv geladenen Löcher und bewegen sich von Loch zu Loch bis hin zum pn-Übergang, wo sie wieder von neuen Photonen aus ihrem Atom herausgelöst werden können.

Dadurch entsteht ein Stromfluss, und die Energie des Sonnenlichts wird in elektrische Energie umgewandelt.

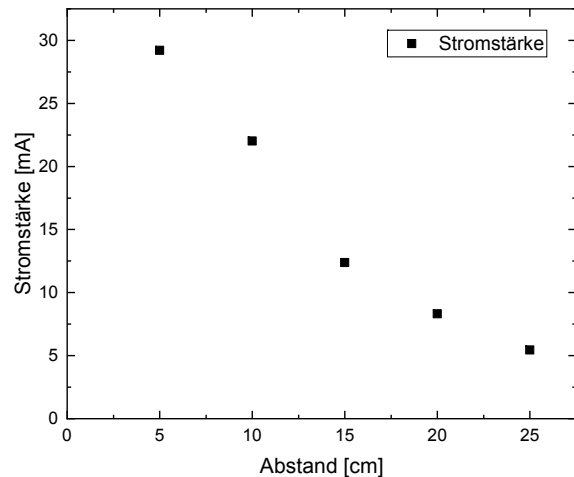
Wie können wir eine Solarzelle bestmöglich nutzen?

Nachdem wir den Aufbau der Solarzelle geklärt hatten, stellten sich uns viele Fragen über deren Eigenschaften und wie wir diese am besten nutzen können. Der für uns effektivste Weg hierfür war es, einen Faktor zu verändern, alle anderen möglichst gleich zu belassen und dann die resultierende Veränderung, die sich in der Leistung der Solarzelle widerspiegelt, zu vergleichen. Die Leistung der Solarzelle gibt dabei an, welche Energie in einer Zeitspanne von ihr umgesetzt werden kann, und somit, wie viel Ertrag sie uns liefert. Dazu sammelten wir zunächst einige Faktoren, die einen Einfluss auf die Leistung der Solarzelle haben könnten, und anschließend testeten wir unsere Theorien. Der erste Faktor, den wir veränderten, war die Temperatur der Solarzelle. Dazu kühlten wir sie mit nassen Tüchern ab und erwärmten sie mit einem Föhn. Wir konnten feststellen, dass bei höherer Temperatur ein Leistungsabfall und bei sinkender Temperatur ein Anstieg der Leistung auftrat.

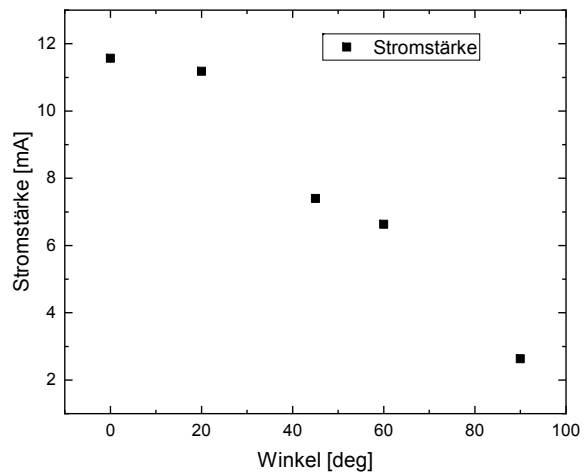
Als nächster Faktor haben wir die Entfernung zwischen der Lichtquelle und der Solarzelle variiert. Dabei beobachteten wir, dass die Intensität mit zunehmender Entfernung abnahm. Dieses Ergebnis war wenig überraschend, da bei einem größeren Abstand der Lampe nur die Strahlung, die in einen kleineren Raumbe- reich abgestrahlt wird, auf die Solarzelle trifft. Dazu kommt, dass die Distanz, die das Licht zurücklegen muss, größer ist und es dadurch mehr an den Luftmolekülen gestreut wird.

Ein nächstes Experiment, bei dem wir den Einfallswinkel des Lichts auf die Solarzelle verändert haben, ergab, dass die Leistung geringer ist, je flacher die Strahlen auf die Solarzelle fallen. Unter einem Einfallswinkel von 0° ist die Stromstärke maximal.

In beiden Experimenten haben wir nicht die Leistung direkt, sondern den Kurzschlussstrom der Solarzelle gemessen. Über die uns bekann-



Auf der x -Achse sieht man den Abstand der Lichtquelle von der Solarzelle und auf der y -Achse die gemessene Stromstärke



Auf der x -Achse sieht man den Einfallswinkel der Strahlung auf die Solarzelle und auf der y -Achse die gemessene Stromstärke

te Kennlinienschar konnten wir daraus auf die Leistung schließen. Je höher der Kurzschlussstrom ist, desto höher ist auch die von der Solarzelle abgegebene Leistung.

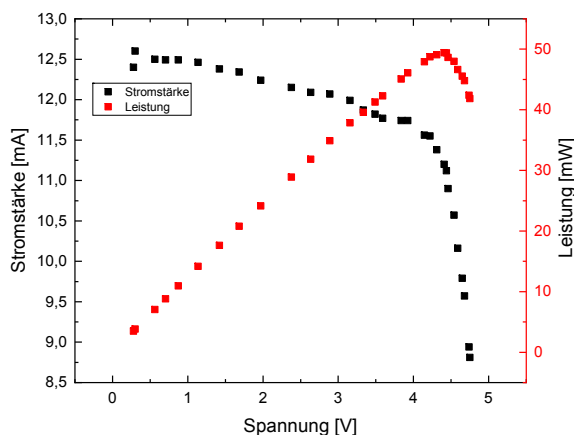
Als letztes Experiment dieser Versuchsreihe untersuchten wir die Teilverschattung, bei welcher große Leistungsverluste zu sehen waren, wenn Teile der Solarzelle verschattet wurden, welche noch in der Höhe der Leistungsverluste variierten. Dies ist mit dem Aufbau des Solarmoduls zu erklären, da ein Solarmodul aus einzelnen in Reihe geschalteten Zellen besteht, die einen starken Spannungsabfall und somit auch Leistungsabfall zeigen, wenn ein Teil dieser Reihenschaltung verschattet ist. Je nachdem, ob

die Solarzelle längs oder quer verschattet ist, sind mehr oder weniger dieser Zellen betroffen und somit kommt es zu den unterschiedlichen Leistungsmesswerten.

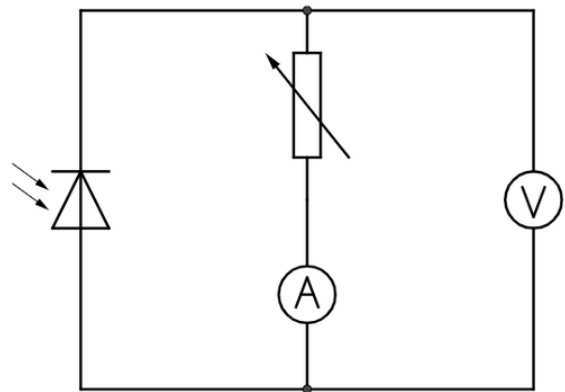
Diese Experimente haben uns die optimalen Bedingungen für eine Solarzelle gezeigt, nur war es uns leider nicht möglich, die Entfernung zur Sonne und die Temperatur der Solarzelle zu verändern, wenn diese tatsächlich zur Energiegewinnung verwendet wird. Welche Faktoren wir verändern konnten, sind der Einfallswinkel und die Verschattung, da es möglich ist, die Solarzelle jederzeit so zur Sonne auszurichten, dass ihr Licht unter dem Winkel von 0° auf die Solarzelle trifft. Die Verschattung ist bis zu einem gewissen Grad hin beeinflussbar, da man Schattenquellen wie beispielsweise Bäume oder Schornsteine weglassen kann, aber die Wolkenbildung am Himmel und deren Verschattung ist nicht beeinflussbar.

Die Kennlinie unserer Solarzelle

Die Auswertung einer weiteren Versuchsreihe zeigte uns, welchen Lastwiderstand wir an die Solarzelle anlegen müssen, um die optimale Spannung und somit die höchstmögliche Leistung der Solarzelle zu erreichen. Dies mussten wir testen, da die Leistung das Produkt von zwei Faktoren ist, der Spannung und der Stromstärke. Somit ist der Punkt der maximalen Leistung, auf Englisch „Maximum Power Point“, der Punkt, bei welchem das Produkt der beiden Werte am größten ist.



Stromstärke (schwarz) und Leistung (rot) in Abhängigkeit von der Spannung



Schaltplan zum Bestimmen der Kennlinie (Abbildung von Patrick)

Um dieses Experiment zu visualisieren, haben wir mithilfe einer Kennlinie den Zusammenhang zwischen den zwei Faktoren Stromstärke und Spannung grafisch dargestellt. Am höchsten Punkt der roten Kennlinie bzw. an der rechten oberen Ecke des größten Rechtecks, welches man unter der schwarzen Kennlinie einzeichnen kann, liegt der Maximum Power Point.

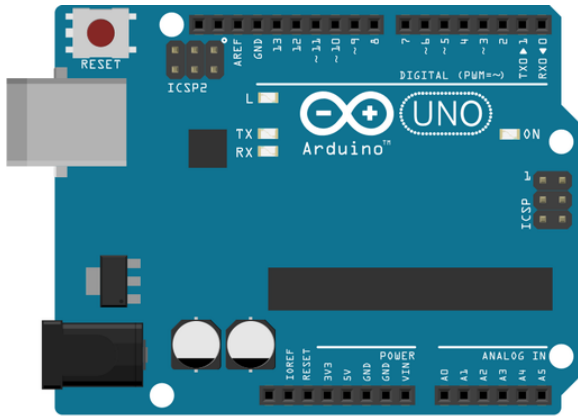
Arduino

CLARA

Um die Energie der Sonne mithilfe einer Solarzelle bestmöglich zu nutzen, wollen wir die Solarzelle automatisch der Sonne nachführen. Damit unsere Solartracker überhaupt wissen, wo sich die Sonne befindet und wohin sie sich bewegen müssen, verwendeten wir einen Mikrokontroller, um verschiedene Bauteile, wie z. B. einen Servo-Motor, mithilfe der Programmiersprache C++ in der Arduino IDE anzusteuern.

Der verwendete Mikrokontroller ist ein Arduino, der in alltäglichen automatisch funktionierenden Geräten vorkommt, und der externe Signale erkennen und darauf reagieren kann. Somit stellt er die „Steuerzentrale“ in den jeweiligen Geräten dar. So auch in unserem Solartracker. Im Wesentlichen besteht er aus einer Platine, auf der verschiedene Bauteile angeordnet sind:

Auffallend ist der rote Reset-Knopf oben links, der beim Betätigen den Neustart des Programms bewirkt. Darunter befinden sich zwei



Arduino UNO mit verschiedenen Pins, zwei Anschlüssen und einem Reset-Knopf

Anschlüsse: der USB-Anschluss in grau und ein weiterer Anschluss für z. B. eine Batterie oder ein Netzteil.

Außerdem besitzt der Arduino verschiedene Pins. Pins sind Anschlüsse, mit denen z. B. eine kleine LED mit Strom versorgt werden kann. Die Pins, die dafür verwendet werden können, die sogenannten Power Pins, befinden sich unten links auf der Platine. Daneben sind noch die analogen Pins, mit denen Spannungen gemessen werden. Rechts neben dem Reset-Knopf befinden sich außerdem die digitalen Pins, die Strom ausgeben.

Um unsere Solartracker richtig ausrichten zu können, verwendeten wir jeweils zwei Servo-Motoren. Das sind positionsansteuerbare Elektromotoren, die wir vom Arduino aus gezielt auf einen Winkel einstellen konnten, der zwischen 0 und 180 Grad liegt. Dafür besitzt der Motor eine eingebaute Elektronik, welche den eingestellten Winkel mit dem gewünschten Winkel vergleicht und den Motor anschließend entsprechend dreht.

Der Servo verfügt außerdem über drei verschiedenfarbige Kabel, die wir wie folgt anschließen mussten: rot an 5 V, schwarz an die Erdung GND und gelb an einen PWM-Pin. Ein PWM (Pulsweitenmodulations)-Pin wird im Millisekundenbereich zwischen HIGH (an) und LOW (aus) hin und her geschaltet. Dies wird dazu genutzt, dem Motor alle 20 Millisekunden die Information über den gewünschten Winkel zu übermitteln. So kann zum Beispiel ein HIGH-Signal einer Länge von 544 Mikrosekun-

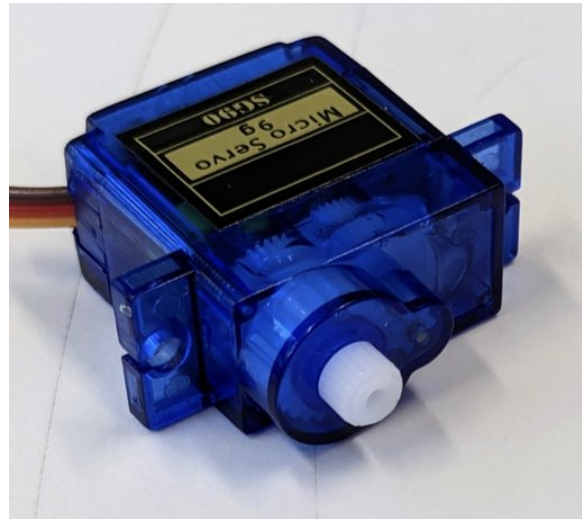


Foto eines unserer Servo-Motoren Micro Servo SG90

den 0 Grad bedeuten und eines einer Länge von 2400 Mikrosekunden 180 Grad.

Bei der Programmierung der Servo-Motoren muss die sogenannte Servo-Bibliothek eingebunden werden, die dafür sorgt, dass nach dem Aufruf des Befehls `x.write(y)` der jeweilige Puls alle 20 Millisekunden gesendet wird. Hierbei steht `x` für einen beliebigen Namen des Motors und `y` für die Winkelweite.

Bevor wir uns jedoch mit dem Bau des Solartrackers beschäftigten und somit auch mit der Programmierung der Servo-Motoren, testeten wir die oben vorgestellten Bauteile in einer Dämmerungsschaltung. Diese soll bei einsetzender Dämmerung eine LED angehen lassen.

In dem dazugehörigen Code wird zunächst eine Variable definiert und die an Pin 2 angeschlossene LED als Ausgangssignal definiert. In der Schleife `void loop` folgt der essentielle Code:

```
int x;
void setup() {
    pinMode (2, OUTPUT);
}

void loop() {
    x = analogRead (A0);
    if (x > 500) {
        digitalWrite (2, HIGH);
    } else {
        digitalWrite (2, LOW);
    }
}
```

Der setup-Abschnitt wird nur ein einziges Mal nach dem Hochladen des Codes durchlaufen. Im loop-Abschnitt wird der Variable x nun ein Wert zugeordnet, nämlich der Wert, den der LDR, ein lichtabhängiger Widerstand, an Pin A0 über einen Spannungsteiler misst. Darauf folgt eine if-Abfrage, die prüft, ob der Wert über 500 ist. Ist dies der Fall, wird die LED mithilfe des Befehls digitalWrite eingeschaltet. Wenn nicht, bleibt sie aus oder wird ausgeschaltet.

Der Wert 500 war hierbei unser sogenannter Schwellenwert, den wir vorab mithilfe des seriellen Monitors ermittelten und der bestimmt, ab wann es dunkel genug ist, um die LED einzusetzen.

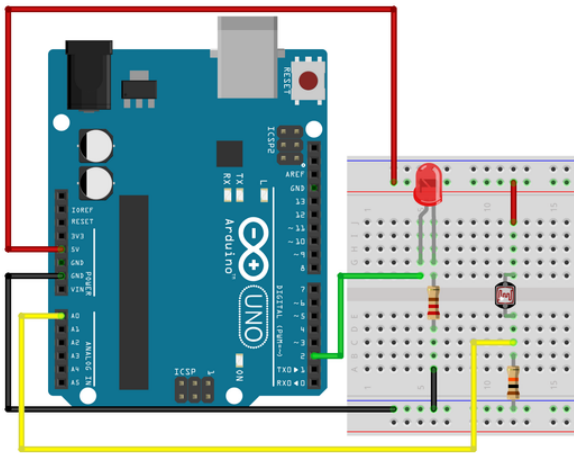


Abbildung der Dämmerungsschaltung mit dem Arduino UNO, einer LED, einem LDR, Kabeln, Widerständen und dem Breadboard

Im entsprechenden Schaltplan ist der LDR an 5 V (rot), an den analogen Pin A0 (gelb) und an die Erdung GND (schwarz) angeschlossen. Die LED braucht einen Vorwiderstand, damit sie nicht beschädigt wird, und sie wird bei einem zu geringen Wert von A0 über Pin 2 eingeschaltet.

Solartracker

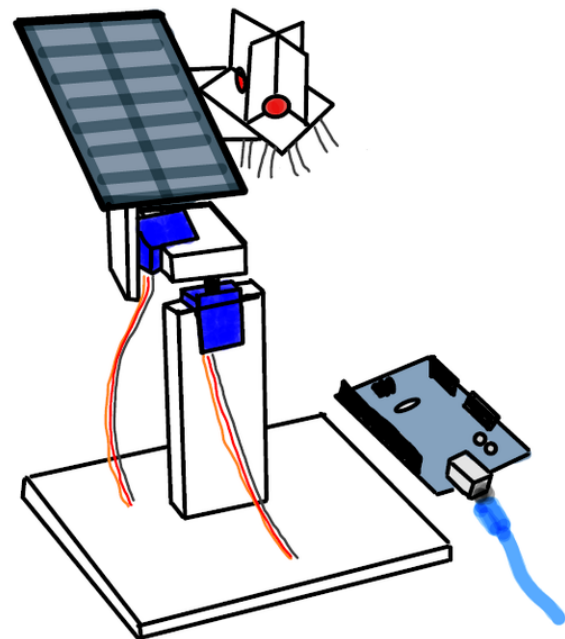
LENNOX UND LIAM

Wie bereits erwähnt stellten wir bei unseren Experimenten zur Leistung einer Solarzelle abhängig vom Einfallswinkel fest, dass eine Ausrichtung senkrecht zur Sonne die maximale Leistung erbringt. Folglich war es unser Ziel, den Solartracker so zu bauen, dass die Sonnenstrahlung stets unter einem Winkel von 0° auf die

Solarzelle trifft. Die Funktion des Solartrackers ähnelt dabei einer Sonnenblume, die sich nämlich auch im Laufe des Tages stets zur Sonne ausrichtet. Diese schöne Analogie ist uns beim Wandertag aufgefallen. Daraufhin haben wir im Übrigen auch begonnen, unser Kurs-T-Shirt zu planen.

Um das zu realisieren, benötigt unser Solartracker im Wesentlichen drei Komponenten.

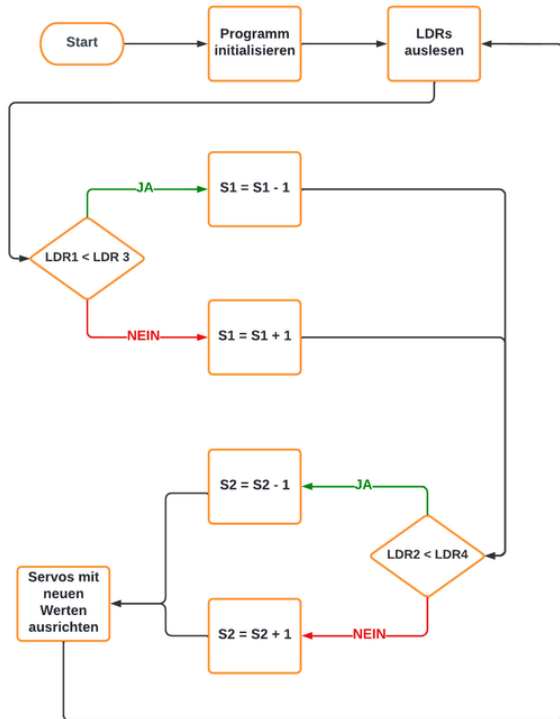
1. Die LDRs fungieren als Augen, so kann der Solartracker auslesen, wo die Sonne aktuell steht.
2. Die Servomotoren dienen als Arme und richten über zwei Achsen den Solartracker in die mit den LDRs bestimmte Position aus.
3. Für die Übermittlung der Daten benötigt der Solartracker noch ein Gehirn, dafür verwendeten wir den oben vorgestellten Arduino.



Programmablaufplan

Wir programmierten die Kommunikation der Augen und Arme durch das Gehirn, unseren Arduino. Der folgende Programmablaufplan zeigt diese Kommunikation schematisch.

Der Code soll damit beginnen, dass alle benötigten Variablen definiert werden und beide Servomotoren (S1 und S2) auf den mittleren



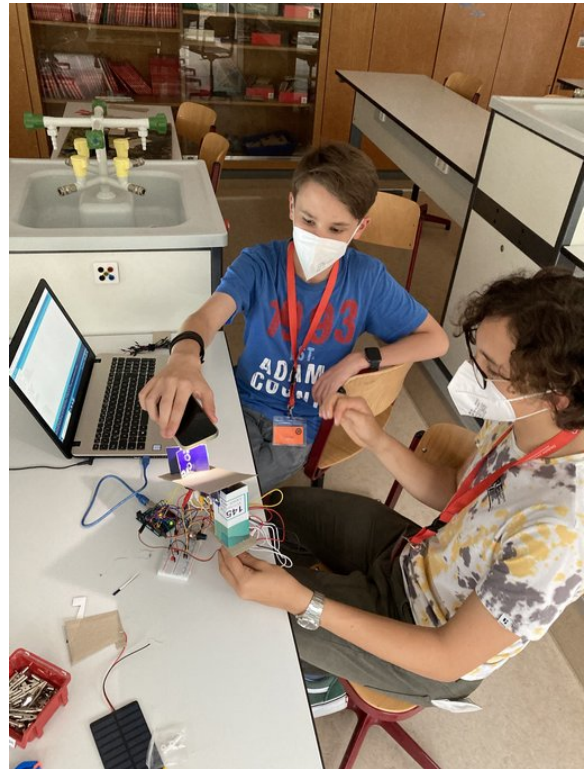
Programmablaufplan (Abbildung von Liam)

Wert, also 90° , gestellt werden. In einer Schleife, die sich permanent wiederholt, werden die vier LDRs ausgelesen, um eine Datenbasis für die Ausrichtung unseres Solartrackers zu schaffen. Der Arduino vergleicht die aktuellen Werte der gegenüberliegenden LDRs und untersucht dabei, welcher der beiden Werte jeweils größer ist. Durch baubedingte Unterschiede der LDRs haben wir hier eine Toleranz eingebaut, da die Motoren sonst nie stillstehen würden.

Die Servomotoren drehen danach jeweils in die Richtung des niedrigeren LDR-Wertes, weil aus dieser Richtung mehr Licht kommt. Dies geschieht auf beiden Achsen. Insgesamt haben wir dafür vier if-Abfragen programmiert. Anschließend beginnt der Prozess mit dem Auslesen der LDRs von vorne.

Werkstattbericht

Der nächste Schritt war, dass wir den Solartracker entsprechend unseren theoretischen Vorstellungen in die Tat umsetzten. Dafür verschafften wir uns zunächst mithilfe von Prototypen aus Pappe einen Überblick über die Möglichkeiten und Aufbauvarianten eines Solartrackers.



Beim Testen eines Prototypen

Aufgrund der geringen Stabilität der Pappe begannen wir jedoch sehr schnell mit dem Bau der finalen Version aus Holz. Dazu nutzten wir den Handwerksraum des Eckenberg-Gymnasiums. Hier sägten wir nach einer Vorlage unsere Bauteile aus Holz aus, die wir dann zusammenleimten. Danach schraubten wir die Servos in die Holzstücke.



Beim Bauen in der Werkstatt

Damit war das Grundgerüst des Solartrackers fertig. Anschließend bastelten wir den oberen Teil des Solartrackers. Es besteht aus Pappe, LDRs und den Solarpanels. Dieses klebten wir dann an den oberen Servomotor. Nun fehlte uns nur noch die Verkabelung und der Code. Die Verkabelung war schnell gelötet, und bis

auf ein paar vertauschte Kontakte lief es auch relativ problemlos. Also begannen wir mit dem Schreiben des Codes. Anders gesagt stellten wir uns unserer letzten großen Hürde.



Beim Überprüfen der Schaltung

Der Code für den Solartracker

Der Code sollte das Solarpanel entsprechend des Programmablaufplans durch das Vergleichen der LDR-Werte so ausrichten, dass alle Werte (im Rahmen des Toleranzwertes) gleich sind, weil sie dann gleich stark von der Sonne beschienen werden.

Im Folgenden haben wir unseren gesamten Code für besonders Interessierte eingefügt. Anschließend gehen wir noch einmal auf die einzelnen Programmabschnitte ein:

```
//Einbinden von Bibliotheken
//und Deklarieren der Variablen
#include <Servo.h>
Servo Kippen;
Servo Drehen;
int kippwinkel = 90;
int drehwinkel = 90;
int LDR1;
int LDR2;
int LDR3;
int LDR4;
int Toleranz = 70;

void setup() {
    //Startwert der Motoren festlegen
    Kippen.attach (5);
    Drehen.attach (6);
    Kippen.write (kipwinkel);
    Drehen.write (drehwinkel);
}
```

```
void loop() {
    //Auslesen der LDRs
    LDR1 = analogRead (A0);
    LDR2 = analogRead (A1);
    LDR3 = analogRead (A2);
    LDR4 = analogRead (A3);

    //Abfrage 1:
    //Ist LDR 1 kleiner als LDR 3?
    if (LDR1 + Toleranz < LDR3)
    {
        kippwinkel = kippwinkel + 2;
        Kippen.write (kipwinkel);
        if (kipwinkel > 180){
            kippwinkel = 180;
            Kippen.write (kipwinkel);}
    }

    //Abfrage 2:
    //Oder umgekehrt?
    if (LDR3 + Toleranz < LDR1)
    {
        kippwinkel = kippwinkel - 2;
        Kippen.write (kipwinkel);
        if (kipwinkel < 0){
            kippwinkel = 0;
            Kippen.write (kipwinkel);}
    }

    //Abfrage 3:
    //Ist LDR 4 kleiner als LDR 2?
    if (LDR4 + Toleranz < LDR2)
    {
        drehwinkel = drehwinkel - 2;
        Drehen.write (drehwinkel);
        if (drehwinkel < 0){
            drehwinkel = 0;
            Drehen.write (drehwinkel);}
    }

    //Abfrage 4:
    //Oder umgekehrt?
    if (LDR2 + Toleranz < LDR4)
    {
        drehwinkel = drehwinkel + 2;
        Drehen.write (drehwinkel);
        if (drehwinkel > 180){
            drehwinkel = 180;
            Drehen.write (drehwinkel);}
    }
}
```

```
    delay (500); //Pausenzeit 0,5s  
}
```

Am Anfang des Programms werden einmalig sowohl die Variablen für die beiden Servomotoren zum Drehen und Kippen des Aufsatzes als auch die Variablen für die vier LDRs und den Toleranzwert deklariert.

In der darauffolgenden Schleife, dem loop, werden zuerst die LDRs ausgelesen. Diese Werte werden miteinander verglichen, und nach dem Vergleich werden die Servomotoren so ausgerichtet, dass sie sich zum niedrigeren LDR-Wert, der der größeren Helligkeit entspricht, drehen. Dabei wird zusätzlich darauf geachtet, dass keiner der Servomotoren einen Winkel von 0° unterschreitet oder einen Winkel von 180° überschreitet. Bis auf ein paar Zitteranfälle der Servomotoren funktionierte dies ganz gut. Wir vermuteten, dass die Zitteranfälle durch Überbelastung der Servomotoren ausgelöst wurden. Nach weiteren Testläufen löste sich bei vielen der Kleber, weshalb wir dann auch das obere Modul verschraubten.

Fazit

REBEKKA

Am Ende hatten alle einen zwar nicht ganz makellosen, aber funktionierenden Solartracker, den wir trotz vieler Herausforderungen zusammengestellt hatten. Diese waren nicht immer einfach zu lösen und erforderten manchmal stählerne Nerven, aber letzten Endes fanden wir auf fast alles eine Antwort: Funktionierte der Code nicht? Dafür reichte ein Vergleich mit einem bereits Funktionierenden. Anfangs hatten wir auch ein Problem mit der Stabilität der Konstruktion, da wir die Servomotoren nur mit Kleber befestigt hatten. Also mussten wir die Konstruktion wieder demontieren und das Ganze anschrauben.

Mal war auch der Solartracker falsch verkabelt. Hierfür mussten wir die einzelnen Kabel des Breadboards durchgehen und überprüfen, welches falsch eingesteckt war, was eine echte Fleißarbeit war. Manchmal waren einzelne LDRs defekt. Das lösten wir, indem wir sie mit

einem Messgerät auf Durchgang prüften. Piepte das Messgerät nicht, war der LDR defekt und musste ersetzt werden. Unser letztes, nur halb gelöstes Problem war das Zittern der Servomotoren. Unsere Vermutung war hier, dass die Gewichtsverteilung nicht ideal war, jedoch fehlte uns hier die Zeit für weitere Lösungsversuche.

Schließlich stellte sich aber noch eine letzte Frage: Lohnt sich der ganze Aufwand, einen Solartracker zu bauen, oder erbringt eine „normale“ Solarzelle die gleiche Leistung? Nach einigen Messungen in der Sonne, die wir mit einem unserer Solartracker und einer normalen Solarzelle durchgeführt hatten, konnten wir feststellen: Ein Solartracker lohnt sich definitiv. Denn selbst wenn unsere Messwerte nur kleine Unterschiede zwischen Solartracker und Solarzelle vorwiesen, wurde der Unterschied über einen längeren Zeitraum beträchtlich größer. Somit kamen wir zu dem Schluss, dass selbst wenn ein Solartracker einige Nachteile hat, er sich letztlich für die Energieausbeute doch rentiert.

Schlussendlich haben wir unser Kursziel, die Funktion eines Solartrackers zu verstehen und zu bauen, erreicht, und auch wenn nicht immer alles glatt lief, stand uns jederzeit Hilfe zur Seite. So konnten wir aus diesen wahnsinnig spannenden zwei Wochen nicht nur einen Solartracker und viel neues Wissen mitnehmen, sondern auch neue Freundschaften und schöne Erinnerungen und Momente, an die wir noch lange zurückdenken werden. Denn in diesen Wochen ist aus uns ein echtes Team geworden. Und damit ein letztes: Physik, Hurra!

Insider und Zitate

- Lorenz: „Man öffnet eine Banane immer von unten, Felix!“
- Hurra!
- Schraubendreher (3) oder Schraubenzieher (alle anderen)
- Lorenz: „Erstmal ein Stimmungsbild!“
- Flasche offen oder zu weitergeben
- Erwischt!

- Meter (1), Meterstab (9), Zollstock (5) oder Gliedermaßstab (Duden)
- Hochspannende Experimente aus dem Bereich der ... Akustik
- Lorenz: „Ich studiere Physik, ich habe nichts mit ganzen Sätzen zu tun.“
- Der Kurs: „Wo sind Felix und Lorenz?“ – Geklimper aus der Physiksammlung
- Felix: „Wie war die KüA-Schiene?“ – Der Kurs: „...“
- Traubenschleudern – *Grapen* ist jetzt olympische Disziplin



- Die hintere Tafel wird nicht gewischt! – Das Tafelbild ist Kulturgut



Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 19. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Schwarz-Stiftung, die Hopp-Foundation 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.

Dieses Jahr konnte sich die Regierungspräsidentin Sylvia M. Felder bei ihrem Besuch der Science Academy von der Begeisterung der Teilnehmenden überzeugen. Sie wollte sich ein Bild dieser Form der Begabtenförderung machen. Bei ihrem Rundgang war sie von dem hohen Niveau der Kurse und dem außergewöhnlichen Engagement der gesamten Akademieleitung beeindruckt.



In Gesprächen erfuhr Frau Felder, wie nachhaltig diese Akademie wirkt. Es entstehen Freundschaften mit Gleichgesinnten, und gemeinsam werden weitere Herausforderungen bei Wettkämpfen oder anderen Akademien gesucht. Einige ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer kommen als Schülermentoren und Kursleiter gerne wieder nach Adelsheim. Frau Felder konnte bei ihrem Besuch die Freude und den Eifer der hochmotivierten Jugendlichen spüren und erahnen, dass hier alle vom „Akademieieber“ angesteckt sind.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Koordinatorin der Deutschen Schüler- und JuniorAkademien Frau Ulrike Leithof, der Referentin für die Akademien Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Lange war nicht klar, in welchem Format die Akademie in den Zeiten der Pandemie stattfinden kann. Umso mehr hat es uns gefreut, dass wir uns dieses Jahr wieder in Präsenz in Adelsheim treffen

konnten. Dort waren wir 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 Klaiber sowie dem Abteilungsleiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit den Schülermentoren 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 11, Abbildung Krebsnebel:

Hubblesite, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html>
NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

Seite 12, Darstellung Schwarzes Loch:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia16695-black-holes-monsters-in-space-artists-concept>
NASA/JPL-Caltech

Seite 13, Darstellung des Himmelsglobus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg
Wikimedia User Cmglee, basierend auf einer Version von Ulrich Fuchs und Sverdrup
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 16, Abbildung GOCE-Satellit:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/08/The_satellite_on_the_edge_of_space

Seite 16, Bild der New Horizons-Sonde:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/new-horizons-spacecraft-in-the-clean-room-at-nasas-kennedy-space-center>

Seite 17, Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos:

NASA, <https://www.nasa.gov/specials/pdco/images/mitigate.jpg>
NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

Seite 17, Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zenit_space_vehicle.jpg
Maryanna Nesina
CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)

Seite 18, Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/03/Weltraumschrott_in_der_erdnahen_Umlaufbahn_LEO_-_ueber_dem_Nordpol

Seite 18, Bild Einschlagskrater in Solarpanel:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/04/Hubble_solar_cell_impact_damage

Seite 19, Darstellung von ClearSpace 1:

ESA, https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2020/11/clearspace-1_captures_vespa/22334324-1-eng-GB/ClearSpace-1_captures_Vespa_pillars.jpg

Seite 21, Diagramm Umlaufzeiten der Planeten:

Astrokramkiste, <https://astrokramkiste.de/planeten-geschwindigkeit>
Zur Nutzung freigegeben

Seite 22, Abbildung Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas:

NASA, <https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface>
NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

Seite 26, Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine\(SSME\)_,_Jan_2021_.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine(SSME)_,_Jan_2021_.png)
Wikimedia-User Abcde1248163264, eigene Bearbeitung
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 29, Absorptionsspektrum:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectral-lines-absorption.svg>
Wikimedia User Stkl
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 30, Schema Massenspektrometer:

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

- Wikimedia User Sgbeer
CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>)
- Seite 30, Abbildung Geophon:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone_SM-24.jpg
Wikimedia User Balajijagadesh
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 34, Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel:
Erstellt mit BioRender
- Seite 43, Aufbau der pflanzlichen Zelle:
Erstellt mit BioRender
- Seite 44, Aufbau der Geschmacksknospe:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1402_The_Tongue.jpg
Wikimedia-User OpenStax, Ausschnitt, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 45, Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
EMBL Science Education and Public Engagement Team
CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>)
- Seite 46, Human oesophagus (Darstellung der Speiseröhre):
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_oesophagus;_A.E._Schaffer_Wellcome_L0022090.jpg
A. E. Schaffer. Wellcome Collection, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 49, Abbildung Darm:
Erstellt mit BioRender
- Seite 49, Dünndarmstoma:
Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ileostomy_2017-02-20_5349.jpg
Wikimedia-User Salicyna
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 53, Abbildung Leber:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Abbildung Emulsion:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Gallenblase:
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_\(organ\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_(organ).png)
Wikimedia-User BruceBlaus, bearbeitet
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 60, Die Nieren im Körper:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Warming Stripes:
ShowYourStripes, <https://showyourstripes.info/s/globe>
Ed Hawkins, University of Reading
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 100, Schematischer Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluoreszenzmikroskopie_2017-03-08.svg
Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 109, Trolley-Problem:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trolley_Problem.svg
Wikimedia-User McGeddon, Zapyon
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 111, Büste Sokrates:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socrates_Louvre.jpg
Eric Gaba
CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)
- Seite 113, Büste Aristoteles:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg

Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 115, Büste Zenon:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_\(Napoli,_1969\)_-_BEIC_6353768.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_(Napoli,_1969)_-_BEIC_6353768.jpg)
Paolo Monti
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 117, Portrait Augustinus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saint_Augustine_Portrait.jpg
Directmedia, The Yorck Project
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 118, Anselm von Catebury:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anselm_of_Canterbury.jpg
Unbekannter Maler
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 120, Gemälde Kant:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
Gemälde von Johann Gottlieb Becker
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 122, Portrait-Photo Rawls:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_\(1971_photo_portrait\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_(1971_photo_portrait).jpg)
Aufnahme von Alec Rawls
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 124, Organspendeausweis:

BZgA, <https://www.bzga.de/presse/pressemitte/organspende>
© Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Köln

Seite 133, Opazität der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg
Wikimedia-User Mysid/Ariser, Originalbild NASA
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 135, Abbildung der Fraunhoferlinien:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fraunhofer_lines_DE.svg
Wikimedia-User Saperaud
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 139, Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioden-Kennlinie_1N4001_differentiell.svg
Wikimedia-User Stündle
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 155, Start der Artemis-1-Mission:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/we-are-going-artemis-i-launches>
NASA/Bill Ingalls

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>