



JuniorAkademie Adelsheim

22. SCIENCE ACADEMY
BADEN-WÜRTTEMBERG
2025



Genetik



Klimaphysik/Informatik



Mikrogravitation



Pharmazie



Philosophie/Theater



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2025**

**22. 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 22. JuniorAkademie Adelsheim 2025 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

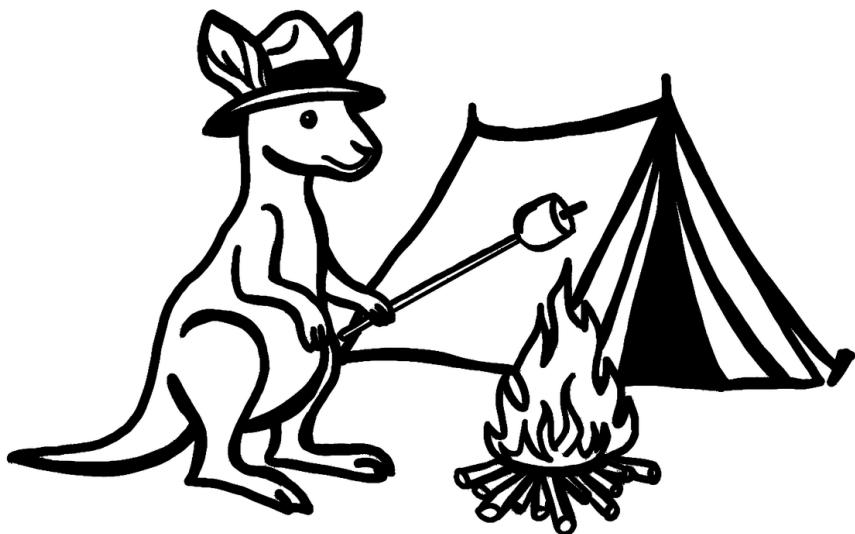
Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2025 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

Vorwort – Expedition ins Unbekannte

Jede Science Academy hat ihr Motto: Dieses Jahr lautete es „Expedition“. Und so startete unsere Expedition im Juni auf dem Gelände des Landesschulzentrums für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim mit 77 neugierigen, hochmotivierten, abenteuerlustigen jungen Menschen. Am Eröffnungswochenende kam unser Expeditionsteam das erste Mal zusammen und lernte sich kennen. Jedes Mitglied kam mit eigenen Vorerfahrungen, Talenten, Interessen und Erwartungen. Dieses Kennenlernen weckte bei allen die Neugier und Lust auf diese Expedition. Begleitet von unserem 28köpfigen Leitungsteam sollten sie schon bald neue Interessen entdecken, wissenschaftliche Erfahrungen sammeln und Freundschaften knüpfen.

Science Academy 2025



Im Sommer brach unsere Expedition endgültig auf, ausgerüstet mit Zelt und Hut sowie weiteren wichtigen Gegenständen, die im Laufe der Expedition ihre Bedeutung erhielten. Über zwei Wochen hinweg forschten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den sechs Kursen an packenden Fragestellungen und stießen auf überraschende Erkenntnisse.

Im Kurs Mathematik/Informatik wurde der Klimawandel mithilfe anspruchsvoller Modelle analysiert, aber auch Machine Learning kam zum Einsatz. Der Pharmaziekurs untersuchte, welchen Einfluss die Ernährung auf die Aufnahme eines Medikaments hat. Unterdessen testete der Raketenkurs in einer selbstgebauten Rakete die Schwerelosigkeit im Parabelflug. Der Physikkurs entwickelte eine effektive Montierung für Solarzellen, die sich nach der Sonne dreht. Die seit Jahren schwelende Frage, welche der Tiere auf dem Gelände Ziegen oder Schafe sind, konnte der Genetikkurs durch eine DNA-Analyse endlich klären. Und das Experiment, den Philosophiekurs mit Theater zu kombinieren, war höchst gelungen, und die abschließende Theateraufführung von Brechts „Der gute Mensch von Sezuan“ beeindruckte durch Tiefgang und schauspielerische Leistung.

VORWORT

Neben der Kurszeit haben sich die Expeditionsmitglieder bei Ausflügen und in den KüAs, beim Sport, im Chor oder als Teil des Orchesters, bei der Wanderung und dem Grillabend besser kennengelernt und ihre Interessen ausgelebt. So wurde es nie langweilig, und der große Abschlussstag kam viel zu früh.

Am Dokumentationswochenende bot sich dann die Möglichkeit, auf die gemeinsame Zeit zurückzublicken und die während unserer gemeinsamen Zeit gewonnenen Erkenntnisse schriftlich zu dokumentieren. Zwar war damit nun die Zeit in Adelsheim vorbei, doch unsere Expedition ist noch lange nicht zu Ende.

Wie bei einem Roman, der irgendwann fertig geschrieben ist, aber in den Lesern weiterlebt, geht auch unsere Expedition weiter in die Welt, indem wir die Erinnerung an das Erlebte, die Neugier auf weitere Erkenntnisse und vor allem die neuen Freundschaften bewahren.

Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen unseres Expeditionsberichts!

Eure/Ihre Akademieleitung



Melissa Bauer (Assistenz)



Julian Poschik (Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| VORWORT | 3 |
| KURS 1 – GENETIK | 7 |
| KURS 2 – KLIMAPHYSIK/INFORMATIK | 29 |
| KURS 3 – MIKROGRAVITATION | 47 |
| KURS 4 – PHARMAZIE | 67 |
| KURS 5 – PHILOSOPHIE/THEATER | 87 |
| KURS 6 – PHYSIK | 109 |
| KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE | 129 |
| DANKSAGUNG | 153 |
| BILDNACHWEIS | 155 |

Kurs 6 – Physik: Wie nutzen wir die Sonnenenergie am besten?



Unser Kurs

Avi war nicht nur gefühlt in jeder einzelnen Sport-KüA, sondern war auch im Kurs immer ganz vorne mit dabei. Sie lässt ein Thema nicht auf sich ruhen, bis sie es komplett verstanden hat und kann ihre Erkenntnisse dann auch super erklären. Darüber hinaus ist sie zusammen mit Daphne unsere Expertin für das Programm, in welches sie sehr viel Zeit und Mühe gesteckt hat.

Daniel verbreitete von Anfang an immer Ruhe und gute Laune und wir haben ihm einige unserer Zitate zu verdanken, zum Beispiel findet er Dinge häufig ganz schön tuff. Nachdem er zu Beginn mit Jonas den Schaltplan entworfen hatte, war er Teil des Modellie-

rungsteams und half viel beim Löten, auch nachdem ihm dabei jemand den Finger verbrannt hatte.

Daphne – abgesehen davon, dass sie immer super motiviert morgens in den Raum gekommen ist und sich um das Arduinoprogramm gekümmert hat, war sie die einzige, die den Schaltplan am Ende wirklich verstanden hat. So konnte sie uns beim Zusammenlöten am letzten Tag dirigieren, damit am Ende nicht wegen eines falsch gelöteten Kabels nichts funktioniert.

Eva hat besonders bei den Experimenten vollen Einsatz gezeigt: Gemeinsam mit Lea nahm sie mit beeindruckender Geduld und Genauigkeit ganze 124 Datenpunkte für eine einzige Kennlinie auf. Auch in der Krei-

sel-KüA stellte sie ihr experimentelles Geschick unter Beweis und baute rekordverdächtige fünf Kreisel zusammen. In den Kurspausen sorgte sie als treuer Freiburg-Fan außerdem immer wieder für spannende Diskussionen.



Franzi bewahrt immer einen kühlen Kopf. Wenn es mal chaotisch wird, hat sie keine Scheu davor, für Ordnung zu sorgen. Dabei lässt sie aber Raum für andere Meinungen und ist immer offen für Alles. Mit Halbwissen gibt sie sich nicht zufrieden und fragt bei Unklarheiten immer nach, was sie zu einer sehr verlässlichen Anlaufstelle für Fragen macht. Bei der Projektarbeit arbeitete sie in mehreren Bereichen. Ob 3D-Modellierung oder Programm – man kann immer auf sie zählen.

Jara gibt es eigentlich nur im Doppelpack zusammen mit Svea (ein echtes Dreamteam), die Musikbox gehörte allerdings ihr. Besonders während der Präsentation merkten wir, wie super sie erklären kann, aber auch im Kurs brachte sie sich immer motiviert ein. In der Gruppenarbeit beteiligte sie sich am meisten beim 3D-Modellieren und war dort eine große Hilfe.

Jonas war von Anfang an investiert. Mit einer realistischen Sicht auf unser Projekt und

Expertise in Sachen Programmieren und 3D-Druck gab er ehrliche Kritik und ersparte der Planung viele Probleme. Während sich beim Arbeiten der Ausdruck von Motivation und Optimismus in Grenzen hielt, kriegte er in der entspannten Atmosphäre, für die er immer sorgte, (und manchmal mit etwas Hilfe aus dem Ausland) alles geschafft.

Konstantin war an allen Schritten für den physischen Teil des Solartrackers mehr als beteiligt. Zudem hat er ein enormes Wissen über Programmierung und 3D-Druck. Wenn wir mal nicht weiterkamen oder ein Problem hatten, war Konstantin zur Stelle, er war fast wie ein zweiter Schülermentor. Aber nicht nur in unserem Physikkurs „lieferte“ er, sondern auch in der BROZZ-Band sorgte er mit seiner Trompete für gute Stimmung.

Lea war, was Kennlinien und Experimente sowie Versuchsaufbauten angeht, immer höchst motiviert am Start. Sie war von den Kennlinien so begeistert, dass sie am liebsten die Präsentationen allein darüber gehalten hätten. Gemeinsam mit Eva hat sie ihre ganze Energie in die Kennlinien und in die Aufnahme der insgesamt über 200 Datenpunkte gesteckt. Während der Theorie-Phasen beeindruckt Lea mit ihrem tiefen Verständnis.

Niklas entdeckte während der zwei Akademiewochen in Adelsheim seine Leidenschaft für die 3D-Modellierung. Wir konnten ihn mit allen Fragen zu den technischen Details unserer 3D-Modelle löchern, außer er war mal nicht im Kursraum, weil er einen seiner zahlreichen Gänge zum 3D-Drucker absolvierte. Außerdem lockert Niklas mit seiner Ruhe und seinem Humor jede Arbeitsatmosphäre auf.

Philipp zeigte nicht nur in unseren Theorie-Phasen durch sein aktives Mitdenken seine Begeisterung für verschiedene physikalische Themen, sondern auch, indem er sich während der praktischen Arbeit nicht nehmen ließ, die Aufgaben jeder einzelnen Gruppe zu verstehen und mitzuhelfen. Philipp, oder auch Hanz-Günther, ist immer für einen Spaß zu haben. In den Pausen unserer Kurs-

arbeit war der treue Fan unserer Teeküche begeistert am Knobeln der magischen Zahlen.

Svea – ohne sie wäre der Kurs viel zu langweilig gewesen. Sie verbreitete immer gute Laune und brachte viele von uns zum Lachen. Mit ihrer Musikbox sorgte sie immer für gute Musik während den Arbeitsphasen, aber auch während unserer Exkursion in Stuttgart. Manchmal hatte Svea auch etwas zu viel Energie, aber sie war ein essentieller Teil unserer Kurses und hatte immer besonders kreative Ideen.

Tom ist der Sportliche in unserem Kurs. Nicht nur, dass er regelmäßig beim Frühsport am Joggen teilgenommen hat, sondern er lief auch den größten Teil der Kursschiene von den Kursräumen zum 3D-Druckraum – denn er war dafür zuständig, dass die fertig modellierten Teile unseres Solartrackers gedruckt wurden. Er ist stets gut gelaunt, zeigt hohe Motivation und nimmt auch größere Herausforderungen mit Engagement an.

Emilia – ein wahres Genie – übte ihre Rolle als Schülermentorin perfekt aus, und neben Erklärungen und Beiträgen zum Kursthema hielt sie uns auch dauerhaft durch die verschiedensten Teambuilding-Spiele bei guter Laune, was bei manchen unserer Herausforderungen eine echte Meisterleistung war. Emilia unterstützte uns nicht nur bei der Arbeit im Kurs, sondern auch bei der Suche nach funktionierenden Laptops, was erstaunlicherweise eine herausfordernde Aufgabe darstellte. Im Gegenzug beschützten wir sie weitestgehend vor Lorenz Wäscheklammern. Ebenfalls versorgte Emilia uns immerzu mit lebenswichtigem Gemüse und machte unsere Zeit auf der Science Academy zu einem unvergesslichen Erlebnis.

Lorenz war nicht nur unser Kursleiter, er war die gute Laune in Person und sorgte so jeden Tag für gute Stimmung im Kurs. Darauf hinaus hat er es geschafft, in den zwei Wochen eine echte Gemeinschaft im Kurs zu schaffen, in der sich jeder wohlfühlen konnte. Vor ihm und seinen Wäscheklammern galt allerdings ständige Vorsicht, da

man ansonsten schneller im Besitz von einer war, als man gucken konnte. Egal, was für eine Frage man hatte, Lorenz nahm sich stets die Zeit, sie geduldig und verständlich zu beantworten. Seine Begeisterung für unser Projekt war deutlich spürbar. Kurz gesagt: Ein Kursleiter, wie man ihn sich nur wünschen kann.



Ole war stets ein äußerst optimistischer und hilfsbereiter Kursleiter. Wann immer eine Website oder ein Programm nicht wie gewünscht funktionierte – was durchaus öfter vorkam – war Ole zur Stelle, um uns zu unterstützen. Seine Begeisterung für unser Projekt zeigte sich nicht zuletzt daran, dass er regelmäßig seine Mittagspause im 3D-Druckraum verbrachte, um dem Drucker zu signalisieren, das Richtige zu drucken. Als unser Projekt schließlich fertig war, sah man Ole förmlich die Freude und den Stolz an – sein breites Lächeln hielt vermutlich nicht nur für den Rest des Tages, sondern auch für den Rest der Akademie und darüber hinaus an. Nicht nur unser Projekt konnte Ole begeistern, sondern auch der Geschmack von Bananen. Man konnte sich sicher sein: Wenn es irgendwo Bananen gab, war Ole nicht weit. Und sonst hatte er welche dabei.

Vorwort

EMILIA SOMMER

„Licht rein, Strom raus – wir gewinnen, Punkt, aus!“ So simpel wie möglich erklärt der erste Teil unseres Sportfest-Schlachtrufs das Prinzip einer Solarzelle, das wir in den zwei Wochen genauer verstehen und optimieren wollten. In den ersten Tagen in Adelsheim lernte der Physikkurs die Funktionsweise einer Solarzelle kennen. In Theorie und Praxis beschäftigten wir uns unter anderem mit dem Photoeffekt, dem Planckschen Wirkungsquantum, Halbleitern und den Bedingungen für die maximale Leistung einer Solarzelle.

Gerüstet mit diesem Wissen ging es an die Planung unseres eigenen Projekts. Im bald zur Routine gewordenen Halbkreis saßen wir alle um unsere Planungsstellwände herum, entwickelten und diskutierten Ideen und teilten uns schließlich die Arbeit auf.

Unser Ziel war ein sogenannter Solartracker, der die Solarzellen stets orthogonal zu den Sonnenstrahlen ausrichtet, sodass das einfallende Sonnenlicht optimal genutzt werden kann. Auf unserer Expedition zum funktionierenden Solartracker lief natürlich nicht alles sofort rund. Ob 3D-Druck, Programmierung oder Schaltung: Der Kurs meisterte gemeinsam jeden Fehldruck, jede Code-Fehlermeldung und jedes falsch gesteckte Kabel.

Zwischendurch stärkten wir uns in unserer Teeküche, auch Nervennahrung und die beliebten regelmäßigen Stimmungsbilder durften als Motivation nicht fehlen. Als der fertig gebaute Solartracker nach zwei Wochen jeder Bewegung des Baustrahlers vorbildlich folgte, konnten wir stolz auf unsere zweiwöchige Physik-Expedition zurückblicken.

Der Photoeffekt

ANNE-VICTORIA ENANG SENGE

Schon recht am Anfang der Sommerakademie statteten wir uns mit der nötigen Theorie aus, um die Funktionsweise einer Solarzelle zu verstehen. Ein physikalischer Vorgang, der uns durch diese Zeit begleitete, war der Photoeffekt.

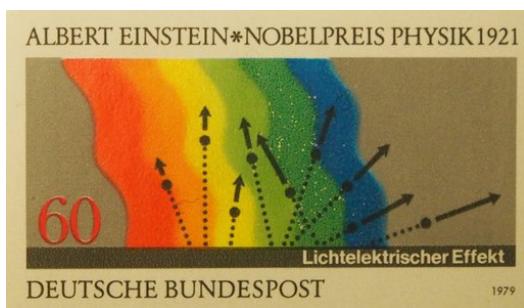
Der Photoeffekt ist ein physikalischer Vorgang, an dem sich viele renommierte Physiker den Kopf zerbrachen. Wilhelm Hallwachs und Heinrich Hertz beobachteten den Photoeffekt in Versuchen schon im 19. Jahrhundert. Erklären konnte ihn erst Albert Einstein 1905 und erhielt dafür im Jahr 1921 den Nobelpreis. Die Erklärung lautet wie folgt: Energiereiche Photonen sind in der Lage, Elektronen aus einer Metalloberfläche zu lösen. Besonders war, dass Einstein die Beobachtungen erklären konnte, indem er das Licht als Strom von Energiepaketen, sogenannten Lichtquanten, beschrieb. Damit führte er den Teilchencharakter des Lichts ein und legte einen Grundstein für die Quantenphysik.



Versuchsaufbau zum Hallwachsversuch.

Auch wir beschäftigten uns im Physikkurs mit diesem Thema. Den Einstieg hierzu machte der Hallwachsversuch. Bei diesem Versuch lädt man ein Elektroskop negativ auf, indem man mit einem Stab, der zuvor mit einem Stück Fell elektrostatisch aufgeladen wurde, Elektronen über eine Zinkplatte auf das Elektroskop überträgt. Dies führt dazu, dass der Zeiger des Elektroskops ausschlägt, so kann mit dem Elektroskop Ladung nachgewiesen werden. Da man aber die Ladung, also ob positive oder negative Ladung vorliegt, beim Elektroskop nicht unterscheiden kann, weil in beiden Fällen der Zeiger ausschlägt, beschäftigten wir uns noch kurz mit den Elektronegativitäten von Materialien. Dadurch, dass Plastik eine höhere Elektronegativität als Fell hat, konnten wir darauf schließen, dass der Stab negativ aufgeladen ist und so auch negative Ladungsträger auf das Elektroskop überträgt. Anschließend wird die Zinkplatte mit einer Halogenlampe bestrahlt und nach kurzer Zeit beginnt der Zeiger des Elektroskops, sich zurückzubewegen: Das Elektroskop entlädt

sich. Nun war es unsere Aufgabe, darüber zu grübeln, was passiert war. Dabei kamen alle möglichen Theorien auf. Wir veränderten den Abstand der Lampe zum Elektroskop, doch der Effekt blieb derselbe: Das Elektroskop entlud sich, wenn auch langsamer. So konnten wir darauf schließen, dass die Intensität des Lichts keine Auswirkung auf den Effekt hatte. Also versuchten wir es mit anderen Lampen, um herauszufinden, ob dies einen Unterschied machen würde, und mussten hierbei feststellen, dass das Elektroskop sich nicht entlud. Es gab nämlich etwas Gravierendes, das die Halogenlampe von den anderen Lampen unterschied, und zwar die Wellenlängen, die sie ausstrahlte. Halogenlampen strahlen nämlich unter anderem UV-Licht aus. Dieses ist hochfrequent und kurzwellig. Um den Photoeffekt besser erklären zu können, hilft es, sich das Licht in Form eines Teilchenanstatt eines Wellenmodells vorzustellen. Es ist schwerer vorstellbar, da Licht keine Masse hat und sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen kann. Dennoch, wenn man sich die Energie im Licht als kleine Energiepakete, sogenannte Photonen, vorstellt, wird klarer, warum dieser Effekt überhaupt auftritt.



Briefmarke, die den Photoeffekt darstellt.¹

Damit Licht nun also Elektronen aus einer Oberfläche lösen kann, müssen die Photonen darin genug Energie E_P haben. Ein Teil dieser Energie ist für die Elektronen notwendig, um aus dem Metall auszutreten und wird Austrittsarbeit W_{e^-} genannt. Daraufhin können sich die Elektronen mit der Bewegungsenergie E_{e^-} frei bewegen. Daraus ergibt sich der Zusammenhang:

$$E_P = W_{e^-} + E_{e^-} .$$

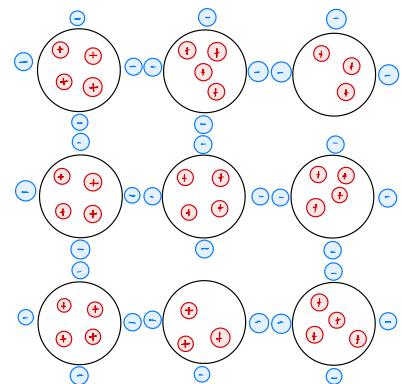
¹Briefmarke der deutschen Bundespost zum lichtelektrischen Effekt. Foto: Lorenz Löffler.

Damit der Photoeffekt eintritt, brauchen die einzelnen Photonen mindestens die Austrittsarbeit. Ist diese aber nicht vorhanden, kann auch der Photoeffekt nicht eintreten. Dies ist auch an der abgebildeten Briefmarke zu sehen. Je ultravioletter das Farbspektrum, desto schneller bewegen sich die Elektronen, da sie mehr Bewegungsenergie haben. Dies wird durch die Länge der Pfeile dargestellt. Das rote Licht ist zu langwellig und kann keine Elektronen aus der Metalloberfläche lösen. Dadurch wird klar, warum sich das Elektroskop nur durch die Halogenlampe entlud, denn nur das UV-Licht war in der Lage, die überschüssigen Elektronen, die wir zuvor auf das Elektroskop übertragen hatten, loszulösen. Dieses Verständnis war für uns essenziell, um die Funktion der Solarzelle zu verstehen.

Halbleiter

EVA KLAWITTER, JARA REICHENBACH

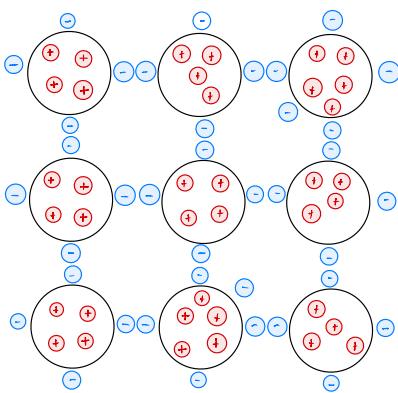
Ein weiterer wichtiger Bestandteil, um zu verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert, sind die sogenannten Halbleiter. Beispiele für Halbleiter sind Materialien wie Silizium (Si) und Germanium (Ge), deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der von Leitern und Isolatoren liegt. Sie lässt sich unter anderem durch das Einbringen von Fremdatomen (Dotierung) gezielt steuern. Man unterscheidet hierbei zwischen der p-Dotierung und der n-Dotierung.



p-Dotierung: Das Silizium wird durch Atome mit 3 Valenzelektronen verunreinigt.

Bei der p-Dotierung wird ein Halbleitermaterial (z. B. Silizium) durch das Hinzufügen von

Akzeptoratomen mit 3 Valenzelektronen (z. B. Bor) verunreinigt. Die Valenzelektronen des Siliziums gehen Elektronenpaarbindungen mit den Valenzelektronen des Bors ein. Jedoch können die Boratome, anders als die Siliziumatome, zu diesem Zeitpunkt bloß 3 Elektronenpaarbindungen eingehen, da sie nur über 3 Valenzelektronen verfügen und daher keine Edelgaskonfiguration erreichen (die Edelgaskonfiguration beschreibt den Zustand einer vollständig mit Elektronen besetzten Außenschale). An den Stellen, an denen den Boratomen Elektronen zur Erfüllung der Edelgaskonfiguration fehlen, entstehen vermeintlich positive „Löcher“.



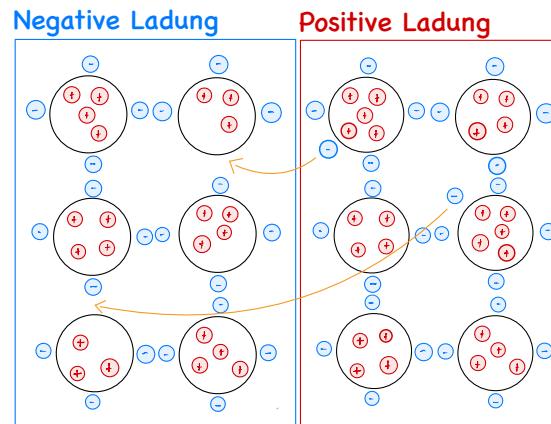
n-Dotierung: Das Silizium wird durch Atome mit 5 Valenzelektronen verunreinigt.

Bei der n-Dotierung ist das genaue Gegenteil der Fall: Das Halbleitermaterial (z. B. Silizium) wird durch das Hinzufügen von Donatoratomen mit 5 Valenzelektronen (z. B. Phosphor) verunreinigt. Vier der fünf Valenzelektronen des Phosphors gehen Elektronenpaarbindungen mit den Valenzelektronen des Siliziums ein und erreichen so die Edelgaskonfiguration. Das fünfte Valenzelektron ist nur noch sehr schwach an den Atomrumpf des Phosphors gebunden und kann sich schon bei geringer Energiezufuhr davon lösen. Das führt schließlich zum Auftreten positiv geladener Atomrümpfe des Phosphors und relativ frei beweglichen Elektronen.

Obwohl die beiden Schichten durch Fremdatome verunreinigt wurden, sind sie im Ganzen immer noch neutral geladen. In den beiden Abbildungen ist sowohl die p-Dotierung als auch die n-Dotierung anhand einer vereinfachten Darstellung abgebildet, wobei zu beachten

ist, dass bloß die zu den Valenzelektronen zugehörigen Protonen im Atomkern dargestellt sind.

Wenn man nun eine p-dotierte Schicht und eine n-dotierte Schicht zusammenfügt, wandern an der Stelle, an der die beiden Schichten aufeinander treffen, die frei beweglichen Elektronen aus der n-dotierten Schicht zu den vermeintlich positiven Löchern in der p-dotierten Schicht und füllen diese, was man auch Rekombination nennt und in der Abbildung zum pn-Übergang anhand von orangenen Pfeilen dargestellt wird. In diesem Fall führt die Rekombination dazu, dass nun alle Atome in diesem Bereich die Edelgaskonfiguration erreichen. Als Folge der Rekombination bildet sich eine Raumladungszone bzw. Sperrschiert mit einem sehr hohen Widerstand. Das Ganze bezeichnet man als den pn-Übergang. Nachdem die Elektronen von der n-dotierten Schicht zur p-dotierten Schicht gewandert sind, ist, da die beiden Schichten zu Beginn neutral geladen waren, die n-dotierte Schicht positiv und die p-dotierte Schicht negativ geladen.



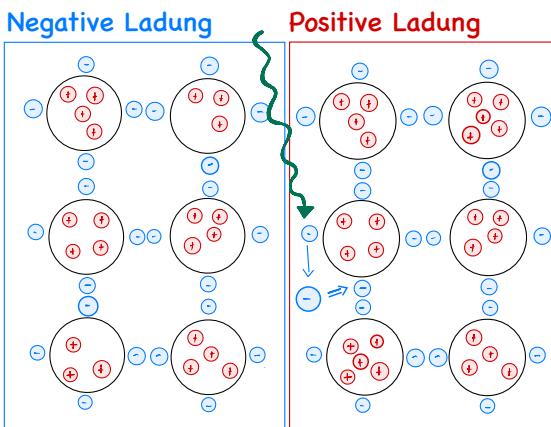
pn-Übergang: Die frei beweglichen Elektronen der n-dotierten Schicht wandern zur p-dotierten Schicht, wo sie rekombinieren.

Solarzelle

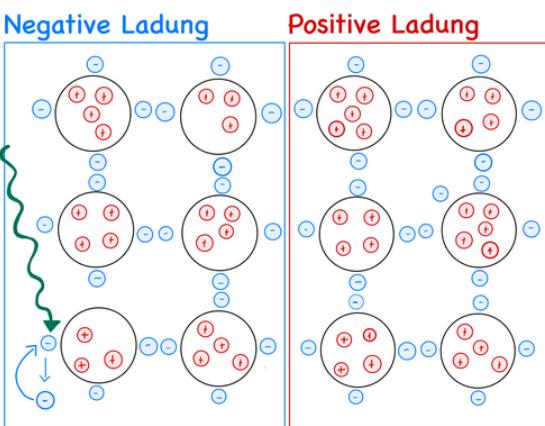
JONAS WEINMANN, PHILIPP ZERLIN

Die einzigartige Ladungsverteilung in einer Halbleiterheterostruktur und der Photoeffekt bilden die Grundlagen einer Solarzelle. Wie beim Hallwachsversuch wird auch in einer So-

larzelle ein Elektron herausgelöst, diesmal aus einem Halbleiter und nicht aus einer Zinkplatte. Hier findet dann, im Gegensatz zum Hallwachsversuch, der innere Photoeffekt statt, die Elektronen verlassen nur ihre Position und nicht das Medium. Werden die Elektronen nun in der Grenzschicht des pn-Übergangs herausgelöst, werden sie von der positiv geladenen n-dotierten Schicht angezogen. Dadurch wird das Elektron von seinem Loch getrennt und es entsteht eine Ladungstrennung, welche wir als nutzbare Spannung abgreifen können.



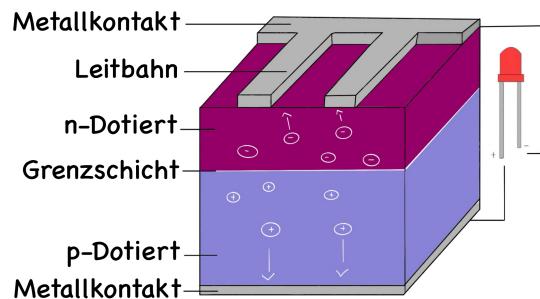
Ein Photon, dargestellt als grüner welliger Pfeil, löst ein Elektron innerhalb der Grenzschicht. Das Elektron wird von dem zugehörigen Loch abgetrennt und trägt zu einer abgreifbaren Spannung bei.



Ein Photon löst ein Elektron außerhalb der Grenzschicht. Das Elektron rekombiniert mit dem Loch und trägt nicht zur Spannung bei. Abstand zur Grenzschicht ist nicht maßstabsgetreu.

Falls ein Elektron aber weiter weg von der Grenzschicht durch ein Photon herausgelöst

werden sollte, verlässt es zwar im ersten Moment seine Position, kehrt aber wieder zurück, da weder ein anderes Loch, noch die positive Ladung der n-dotierten Schicht in der Nähe sind. Bei diesem Prozess können wir die Energie nicht für uns nutzbar machen, jedoch werden Wärme und Infrarotstrahlung freigesetzt. Wie wir bei unserer Exkursion erfahren haben, wird an einer effizienteren Lösung geforscht, um diese Energie ebenfalls nutzbar zu machen.



Schematischer Aufbau einer Solarzelle.

Wenn wir uns die Solarzelle nun auf makroskopischer Ebene ansehen, dann sehen wir, dass die n-dotierte Schicht über der p-dotierten liegt und die n-dotierte auch dünner ist als die p-dotierte. Dass die n-dotierte Schicht dünner ist als die p-dotierte, liegt daran, dass viel Licht auf die für die Stromerzeugung relevante Grenzschicht treffen soll. Außerdem kann die zusätzliche p-dotierte Schicht dann auch noch den kleinen Rest des nicht-absorbierten Lichts aufnehmen.

Kennlinien

LEA VÁCLAVÍK, TOM PFINGST

Nachdem wir in den Theoriestunden nun Solarzellen verstanden hatten, konnten wir uns unserem Projekt widmen, um Solarzellen effizienter zu nutzen.

Schon beim ersten Entwickeln von Ideen waren wir uns sicher, dass ein optimaler Winkel die Leistung einer Solarzelle erhöhen würde. So entstand dann schnell die Idee des Solartrackers, der die Solarzelle immer in diesem optimalen Winkel zur Sonne ausrichten soll. Dennoch blieb dabei die Frage offen, wie groß

die Leistungssteigerung sein würde. Außerdem waren gerade für die Rotationspräsentation tatsächliche Daten auf jeden Fall nötig, um die Motivation für den Solartracker Außenstehenden zu veranschaulichen. Deshalb stand fest, dass wir Messwerte von Solarzellen aufnehmen werden.

Entwicklung des Versuchsaufbaus

Der Versuchsaufbau unterlag über die ganze Zeit viel Wandel: Da es wegen der variierenden Spannung nicht möglich war, Solarzellen draußen aufzustellen und Akkus aufladen zu lassen, konnten wir nur die Leistung zu verschiedenen Zeitpunkten messen. Um dafür nicht auf die Sonne warten zu müssen, entschieden wir uns stattdessen für Tests unter Laborbedingungen. Hierfür wollten wir weiterhin einen Tag simulieren, indem wir einen Baustrahler als Sonne innerhalb von Sekunden um eine Solarzelle bewegten, was sich letztendlich auch als zu ungenau herausstellte. Schließlich wollten wir einfach die Solarzelle in einer Halterung befestigen und mit einem Arduino bei verschiedenen Einfallswinkeln des Lichts vom Baustrahler die Leistung messen.

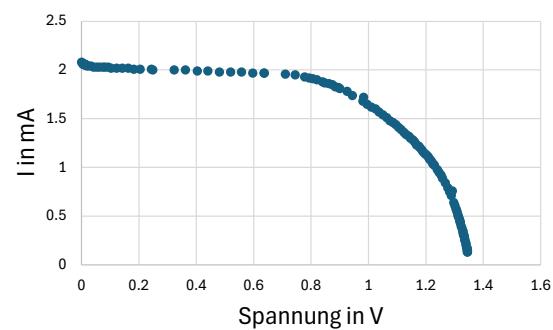


Versuchsaufbau zur Aufnahme der Kennlinien.

Hier entwickelten wir aufgrund der Arduino-Messgeräte einen großen Frust, die zum Beispiel niedrigere Werte bei erhöhter Strahlungsintensität ausgaben oder deren Messwerte mit der Zeit sanken, obwohl wir nichts veränderten. Nach einigen Versuchen mit Arduino entschieden wir uns also, stattdessen Multimeter zu nutzen, die zwar nicht automatisiert laufen, aber für kleine Werte viel besser geeignet

sind, und mit denen wir die Kennlinien für die Präsentation innerhalb kurzer Zeit aufstellten. Unser finaler Versuchsaufbau sah dann so aus: Ein Baustrahler stellte die Sonne dar. Die kleine Solarzelle befestigten wir in einer flexiblen Halterung und drehten sie so in die verschiedenen Winkelpositionen. Wir nutzen ein Potentiometer, also einen variablen Widerstand, als Verbraucher. Zwei Multimeter, eins für Strom und eins für Spannung, wurden verwendet, um letztendlich die Kennlinie aufzunehmen.

Auswertung der Daten

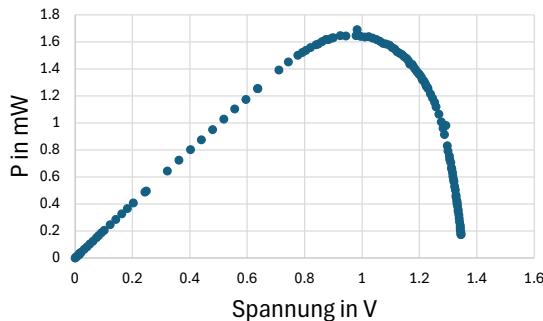


U-I-Kennlinie einer unserer Solarzellen.

Nachdem wir die Werte aufgenommen hatten, ging es darum, diese auszuwerten. Das Bild oben zeigt eine U-I-Kennlinie, auf welcher man das Verhältnis zwischen Strom und Spannung erkennt. Diese Art von Kennlinie nimmt man typischerweise bei elektrischen Bauteilen auf und sie zeigt, bei welcher Spannung die Solarzelle welche Stromstärke liefert. So kann man dann auf die Leistung schließen. Wir versuchten natürlich, den Punkt mit der größten Leistung zu finden. Diesen Punkt fanden wir heraus, indem wir ein Rechteck von einem Punkt auf der Kennlinie zur y-Achse und zur x-Achse spannen. An dem Punkt, bei dem das Rechteck den größten Flächeninhalt hat, liefert die Solarzelle am meisten Leistung. Diesen Punkt nennt man dann Maximum-Power-Point. Als Verbraucher versucht man, immer diesen Punkt zu halten, der bei dieser Solarzelle bei einer Spannung von ungefähr einem Volt liegen würde.

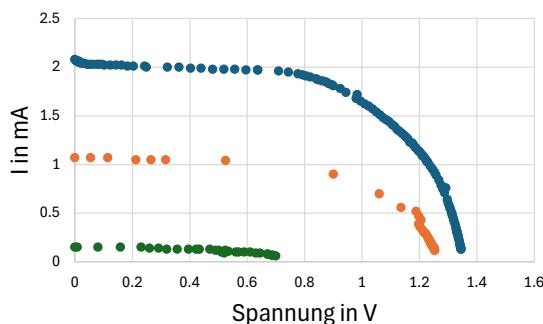
Da man allerdings diesen Punkt auf dieser Grafik etwas schlecht erkennt, haben wir noch die folgende Kennlinie berechnet: Hier ersetzen

wir die Stromstärke mit der Leistung. Nun muss man kein Rechteck mehr spannen und man erkennt den Maximum-Power-Point sehr viel besser, nämlich dort, wo der Wert am höchsten ist (kurz vor dem Abfall).



Leistung der Solarzelle als Funktion der Spannung.

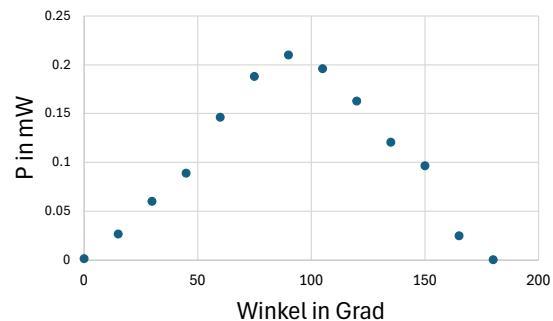
Außer den Maximum-Power-Point zu treffen, wollten wir die Solarzelle noch auf anderen Weisen effizienter gestalten. Auf der Abbildung unten erkennt man drei verschiedene U-I-Kennlinien. Ebenfalls sieht man, dass die Leistung von Kennlinie zu Kennlinie immer geringer wird. Das liegt daran, dass wir die einzelnen Kennlinien mit verschiedenen Einstrahlwinkeln des „Sonnenlichts“ aufgenommen haben. Während es bei der blauen Kennlinie noch ein Winkel von 90° war, waren es bei der orangenen noch 45° und bei der grünen schließlich 0° .



Kennlinien bei unterschiedlichem Einfallswinkel:
senkrechter Einfall (blau), Einfall unter 45° (orange)
und parallel zur Solarzellenoberfläche (grün).

Schaut man sich die grüne Kennlinie bei 0° an, erkennt man, dass die Leistung zwar niedrig, aber nicht ganz null ist. Das liegt daran, dass Licht vom Baustrahler auf verschiedene andere Flächen traf und so auf die Solarzelle reflektiert wurde.

Wir nahmen noch mehr Einfallswinkel auf, sodass wir im folgenden Graphen praktisch die Einfallswinkel auf die Solarzelle über den Tag darstellen konnten. Als Ersatz für die ursprünglich angedachten Vergleichsmessungen über den ganzen Tag verwendeten wir dann auch diese Werte, um später den Faktor der Leistungssteigerung zu berechnen. Dort ist wieder klar zu erkennen, dass um Mittag herum, wenn die Sonne am höchsten steht, die Leistung tatsächlich bei Weitem am größten ist, da sich der Einfallswinkel bei ca. 90° befindet. Zu anderen Tageszeiten erreicht die Leistung hingegen teilweise weniger als ein Zehntel davon. Alleine an dieser Kennlinie ist die riesige Effizienzsteigerung zu erkennen, die sich ergäbe, wenn der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf die Solarzelle immer bei 90° liegen würde und man somit auch immer die Leistung erreicht, welche man sonst nur mittags hat.



Leistung der Solarzelle als Funktion des Einfallswinkels.

Am Ende rechneten wir den finalen Steigerungsfaktor aus: Da die Sonne sich im Laufe des Tages über den Himmel bewegt und dabei alle Winkel ungefähr gleichmäßig vertreten sind, ergab sich folgender Rechenweg: Wir addierten für die fest ausgerichtet Solarzelle alle Leistungspunkte, die über den Tag verteilt auftraten:

$$P(0^\circ) + P(15^\circ) + P(30^\circ) + \dots + P(180^\circ).$$

Für die bewegliche Solarzelle musste man die Anzahl der gemessenen Werten mit dem maximalen $P(90^\circ)$ -Wert multiplizieren, da sie ja zu jedem Messzeitpunkt so ausgerichtet ist. So errechneten wir, dass die gesamte Leistung über den Tag hinweg sich verdoppeln würde, hätten

wir von morgens bis abends diesen Einfallswinkel von 90° anstatt der vielen verschiedenen Winkel von 0° bis 180° .

Vergleichsmessung des Endprodukts

Um das Projekt weiter mit Daten zu untermauern, wollten wir eigentlich einen Test des fertigen Solartrackers während des Exkursions-tages ansetzen, gemeinsam mit normalen Solarzellen zum Vergleich. Da alle vorherigen Tests mit einem Baustrahler im Physiksaal durchgeführt wurden, wollten wir sehr gerne noch Daten unter Realbedingungen aufnehmen, um die tatsächliche Leistungssteigerung in der Praxis zu testen.

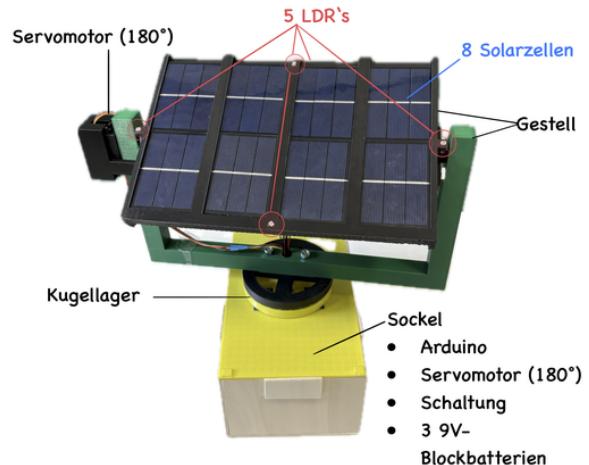
Also entwickelten wir ein Programm zur automatischen Messung mit Arduino, wobei man Werte mittelt, um Ungenauigkeiten zu vermeiden. Mit einem Kondensator als „automatisiertem Potentiometer“ wurden in bestimmten Intervallen ganze Kennlinien der Solarzellen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen und auf einer SD-Karte gespeichert. Dass es eine ganze Kennlinie ist, war in diesem Fall sehr wichtig, da sich bei unterschiedlicher Einstrahlung der Maximum-Power-Point ändert und unsere Daten in der finalen Messung so genau wie möglich sein sollten.

Daran arbeiteten wir also einige Tage, allerdings stellte sich heraus, dass Arduino nur mit bestimmten SD-Karten funktioniert, von denen wir nicht genug hatten, um auch eine Vergleichsmessung automatisiert laufen zu lassen. Da auch der Solartracker erst am Tag vor der Abschlusspräsentation fertig wurde, fand diese Messung leider gar nicht mehr statt. Trotzdem zeigten die Daten des ersten Experiments schon eindeutig die Leistungssteigerung, die es auch unter Realbedingungen gegeben hätte.

Überblick Tracker

NIKLAS WEITZEL MARRODÁN

Die Kennlinienmessungen hatten uns gezeigt, dass es sich auf jeden Fall lohnen würde, die Solarzelle immer in einem Winkel von 90° zur Sonne auszurichten, daher setzten wir dies mit einem Solartracker praktisch um. Unser Gestell



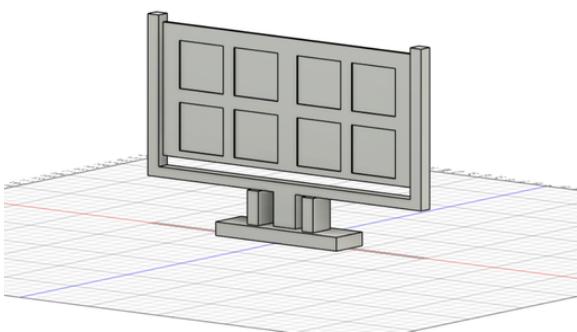
Das ist ein Abbild unseres gesamten Trackers. Der Tracker muss messen, wo die Sonne steht, die Solarzellen bewegen und den Ablauf steuern. Dazu sind zwei Servomotoren zum Bewegen und fünf LDRs zum Messen eingebaut. Im Holzkasten (unten) ist die Technik mit dem Arduino untergebracht, der die Programme abspielt und steuert.

für den Tracker bauten wir außer den Kugeln im Kugellager und dem Sockel aus Holz ausschließlich aus 3D-gedruckten Bauteilen.

Im Sockel befindet sich unsere gesamte Technik mit dem Arduino, der die Motoren zum Neigen und Drehen steuert. Eine externe Stromquelle (bei uns: 9V-Blockbatterien) versorgt den Arduino und die Motoren mit Strom. Die Solarzellen oben auf dem Tracker wurden in Reihe geschaltet, auch wenn wir den Strom der Solarzellen noch nicht nutzten.

Die Grundlage des Programms bilden die Werte, die der Arduino von den LDRs (Light Dependent Resistor – Lichtabhängiger Widerstand) bekommt. Diese wurden miteinander verglichen. Aus den Ergebnis schlossen wir dann, ob und, wenn ja, wie sich der Solartracker drehen muss.

Zuallererst überlegten wir uns, wie wir den Tracker sowohl zum Drehen als auch zum Neigen bringen könnten und fertigten eine erste Zeichnung an. Diese wandelten wir, wie man auch auf dem Bild oben auf der nächsten Seite sieht, in ein 3D-Modell um, was die Veranschaulichung um einiges leichter machte.



3D-Modell unseres Trackers, modelliert in Fusion.

Programm

DAPHNE ROTH

Damit sich der Solartracker von selbst drehen und neigen kann, schrieben wir ein Programm mit dem Arduino, welches die Lichtintensität, also die Stärke der Sonneneinstrahlung, messen und das Modell entsprechend mit Motoren bewegen konnte. Wir zogen vorerst in Erwägung, den Tracker ohne Messungen und stattdessen nach einem vorher berechneten Tagesplan zu bewegen, entschieden uns aber dagegen, da wir unseren Arbeitsprozess so unnötig verkompliziert hätten. Wir hätten so nämlich aufgrund der Jahreszeiten für jeden Tag eigene Berechnungen gebraucht. Auch hätte der Solartracker nicht auf seine Umgebung wie zum Beispiel Wetterereignisse oder Schatten umliegender Bauten reagieren können.

Mit diesem Gedanken im Kopf erstellten wir zunächst eine Programmskizze, in der wir grundlegende Ideen ordneten und anschließend festlegten. Um das Programm von Anfang an übersichtlich zu gestalten, definierten wir für jeden Anschluss der Bauteile am Microcontroller Arduino Variablen, damit wir bei späteren Änderungen nicht im gesamten Programm nach den jeweiligen Werten suchen mussten, sondern dies ganz einfach ändern konnten. Basierend auf der Überlegung, jeweils einen LDR an allen vier Seiten der sich später neigenden Platte und einen an der Rückseite der Platte anzubringen, schrieben wir das Programm aufbauend auf If-Verzweigungen, welche den in ihnen enthaltenen Code nur dann ausführen, wenn eine vorher definierte Bedingung zutrifft, und While-Schleifen, welche den Code ausführen, solan-

ge die gegebene Bedingung erfüllt ist. While-Schleifen können, anders als eine If-Verzweigung, mehrmals durchlaufen werden, bevor es im Programm weitergeht.

```

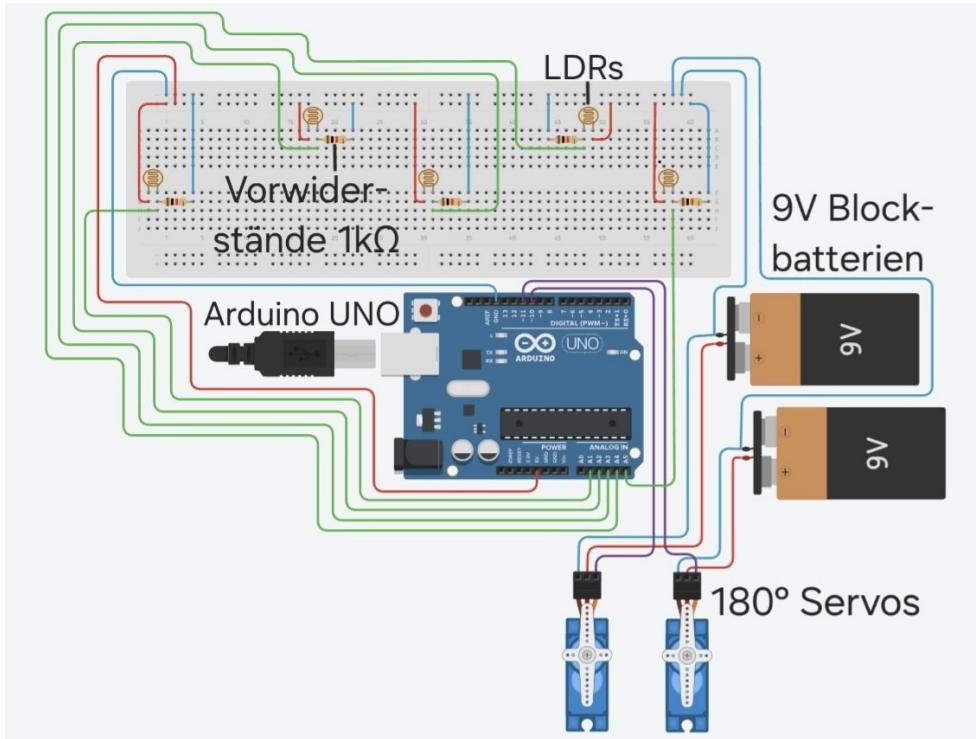
1 if (diff_ob_un > minimale_diff) {
2 // Differenz oben-unten größer als die vorher definier-
te Schwelle?
3     if (sensor_obern > sensor_unten) {
4         // oberer Sensor größerer Wert als unterer?
5             if (va_neigung >= 180) {
6                 // schon 180° geneigt?
7                     va_neigung = 180;
8                     neigungTo(va_neigung);
9                     // Bleibt die Neigung bei 180°
10            } else {
11                va_neigung = va_neigung + 2;
12                neigungTo(va_neigung);
13                // Erhöht sich die Neigung um 2°
14            }
15        }
16    }

```

Hier ist ein Ausschnitt unseres Programms zu sehen. Es handelt sich um die erste If-Verzweigung. Sie besagt, dass der für die Neigung zuständige Motor sich nach oben dreht, wenn die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren LDR über einer gewissen Schwellenwert steigt, und der obere LDR einen größeren Wert misst als der untere.

Unser Konzept war, das gesamte Gestell nach oben zu drehen, wenn der obere LDR eine größere Sonneneinstrahlung misst als der untere (siehe Codezeile 3). Bei umgekehrten Messwerten funktionierte der Code genau andersherum. Für die Sensoren links und rechts, also die Drehung, kopierten wir das Programm und änderten nur die Richtungen und den Motor.

Mit diesem Code bewegte sich der Solartracker jedoch dauerhaft ein wenig, da die Sensoren nicht perfekt genau messen und bauartbedingt geringe Unterschiede zwischen ihnen auftraten. Deshalb definierten wir eine Differenz, die mindestens zwischen entgegengesetzten Sensoren gegeben sein musste, damit sich der Solartracker bewegte (siehe Codezeile 1). Sollten alle Werte annähernd gleich sein, sollte der Solartracker an seiner Position verweilen. Wir ließen die Motoren falls zutreffend immer abwechselnd drehen und dann neigen, je um zwei Grad (siehe Codezeile 10f.), sodass das Programm im Falle eines Defektes der Technik nicht in einer der beiden Schleifen hängen bliebe, sondern wenigstens noch eine der beiden Ausrichtungen funktionieren würde.



Schaltung auf einem Breadboard.

Da unsere Motoren (Servos) sich nur um 180° drehen konnten, programmierten wir ebenfalls eine Schleife, die bewirkte, dass der Motor nicht an den Polen feststecken bleiben würde. Die Schleife veranlasste, dass, wenn ein Motor bei 0° bzw. bei 180° angekommen war, jedoch weiter in die entsprechende Richtung wollte und die gemessene Intensität des hinteren Sensors nicht größer als die der vorderen war, der Motor bei der vorigen Position verweilte (siehe Codezeilen 5–7). Der andere Motor richtete sich währenddessen weiter aus.

Lieferte der hintere Sensor dann aber größere Werte als ein vorderer, drehte sich der Motor um 180° in die entgegengesetzte Richtung, damit wir weiterhin die maximale Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen garantieren konnten. Vor allem für die Morgenstunden machten wir uns dies zunutze, denn so konnte sich der Motor direkt beim Sonnenaufgang wieder zur Sonne drehen.

Nach einigen Anpassungen wie zum Beispiel der minimalen Differenz oder des Winkels, um den sich die Motoren bei jeder Ausrichtung drehen, funktionierte der Solartracker schlussendlich reibungslos.

Schaltplan

DAPHNE ROTH

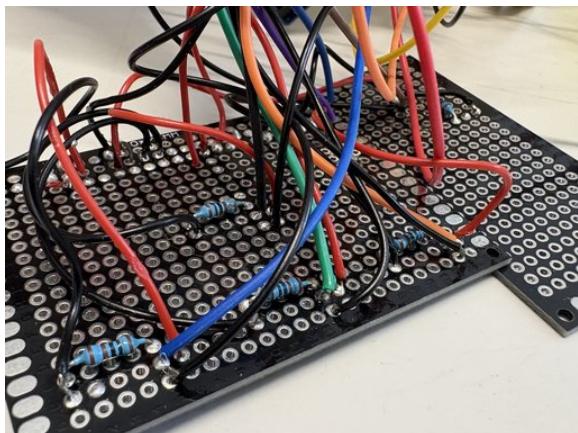
Um unser geschriebenes Programm zu testen, bevor wir den Solartracker zusammenbauten, steckten wir eine Schaltung in Breadboards. Das sind Platinen, in denen man (Jumper-)Kabel und weitere elektrische Bauteile schnell und einfach ein-, aus- und umstecken kann (siehe Schaltplan). Unsere Schaltung besteht aus fünf LDRs und zwei Servomotoren, die wir vorläufig mit zwei 9V-Blockbatterien betrieben, bis wir Solarzellen hätten anschließen können. Die Sensoren und Aktoren schlossen wir an einen Arduino UNO an und probierten das Programm aus. Als dieses funktionierte und die restliche Hardware des Solartrackers fertiggestellt war, löteten wir die Bauteile entsprechend des Schaltplans fest auf Platinen und bauten diese ein.

Neigung

KONSTANTIN HAAS

Die Sonne verändert mit der Zeit ihre Position am Himmel in zwei Richtungen. Deshalb än-

dert sich der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zum gleichen Punkt auf der Erde. Zum einen ändert sich die vertikale Position („Die Sonne steht hoch/tief am Himmel“). Außerdem ändert sich ihre horizontale Position („Die Sonne wandert von Osten nach Westen“). Deshalb war klar, dass sich unser Solartracker auf jeden Fall drehen und neigen soll. Weil die Sonne von oben sowie der Seite und nicht von unten scheint, reicht je ein 180° Servomotor um alle relevanten Winkel anzufahren. Dieser ist stark genug, um die Solarzellenhalterung in Position zu halten oder zu bewegen. Da diese auf einen ausgeglichenen Schwerpunkt optimiert wurde und damit eine sehr geringe Kraft nötig ist um die Achse zu bewegen, genügte hier ein Servomotor.



Teil der gelötenen Schaltung auf einer Lochplatine.

Die Solarzellenhalterung hängt an zwei T-Stücken, deren Achsen wiederum direkt auf der markanten Halterungsstange („U-Stange“) gelagert sind. Der Servomotor wirkt direkt auf eine Achse des T-Stücks, die eine Ausbuchung für den Antriebskopf des Servomotors hat. Die Achse wird einfach auf den Antriebskopf gesteckt. Für den Servomotor wurde eine passgenaue Halterung designet, diese kann den Servomotor aufnehmen und wird über zwei Holme direkt an die U-Stange geschoben. Hier ist eine Halterung in Drehrichtung des Servomotors ausreichend, eine Schraubverbindung in Längsrichtung zur Drehachse des Servomotors ist nicht vornötig. Das macht die Neigungsmechanik sehr wartungsfreundlich: Alle Teile sind nur gesteckt und können (wie beim restlichen Modell) einfach ausgetauscht werden.

Drehung

DANIEL PINTER

Neben der Neigung des Solartrackers haben wir auch eine Drehung ermöglicht. Handelsübliche Kugellager sind für unseren Zweck ungeeignet, da sie für Kräfte orthogonal zur Achse ausgelegt sind. Wir benötigten aber ein Kugellager, welches den Druck parallel zur Achse einfängt. Das von uns entwickelte Kugellager besteht aus zwei Ringen und etwa 25 Metallkugeln.



Aufbau des Kugellagers.

Durch das Kugellager verläuft eine Achse, an deren Ende der 180° -Servomotor angebracht ist, der für die Drehung verantwortlich ist. Ein 180° -Servomotor ist für den Solartracker vollkommen ausreichend, denn durch die Kombination des 180° -Servomotors für die horizontale Drehung und des 180° -Servomotors für die Neigung kann die Solarzelle insgesamt in alle Richtungen ausgerichtet und somit vollständig gedreht werden.

Dank des Kugellagers lastet das Gewicht des Solartrackers nicht auf der Achse oder dem Servomotor, sondern auf dem vertikal montierten Kugellager. So wird der Motor entlastet, die Drehbewegung effizienter ausgeführt und elektrischer Strom eingespart. Das liegt daran, dass der Motor weniger Reibung und Gewicht überwinden muss, wodurch er ein geringeres Drehmoment aufbringen muss und somit weniger Strom benötigt.

3D-Modellierung

KONSTANTIN HAAS

Die 3D-Druck-Arbeitsgruppe war ein zentraler Bestandteil unseres Projekts, da ohne diese Gruppe keine Sensoren kalibriert und reale Messungen durchgeführt werden konnten, da es keinen Solartracker gab, an dem man testen konnte. Außerdem sollte nahezu jedes Teil unseres Solartrackers 3D-gedruckt werden. Das hat den Vorteil, dass man in relativ kurzer Zeit sehr detaillierte, präzise, stabile und leichte Teile herstellen kann. Deshalb war es essenziell, dass zeitweise über die Hälfte der Kursmitglieder mit 3D-Modellierung beschäftigt war. Die Aufgabe der Gruppe bestand darin, alle Teile für den Solartracker zu konstruieren und die 3D-Drucker (die zahlreiche Kurszitate prägten) mit den entsprechenden Dateien zu füttern. Später wurde dann unter Anleitung dieser Gruppe der Solartracker zusammengebaut.

Am Anfang fertigten wir erste Skizzen, Entwürfe und mehrere technische Zeichnungen für die ersten zwei Teile auf Papier an, bevor die 3D-Modellierung am Computer mit den Programmen Fusion360 und FreeCAD begann. Auch für alle weiteren Teile, die im Laufe der Zeit modelliert wurden, wurde zuvor eine technische Zeichnung oder eine Skizze erstellt. Wir merkten auch, wie wichtig die Kommunikation war. Man musste sich sowohl mit anderen Gruppenmitgliedern über die Maße der Teile absprechen, als auch mit anderen Arbeitsgruppen korrespondieren, um zum Beispiel die Position der LDRs zu übernehmen. Schnell war die Idee geboren, einen modularen Aufbau zu designen. Alle Teile sind unabhängig voneinander austauschbar und können somit zur Wartung, Reparatur oder bei (sehr seltenen) Konstruktionsfehlern ausgetauscht werden. Das hat den Vorteil, nicht ein großes Teil neu drucken zu müssen. Es reicht, ein paar Schraub- oder Steckverbindungen zu lösen und das auszutauschende Teil neu zu drucken und einzubauen.

Wir fingen mit dem zentralen Teil an: Der Solarzellenhalterung. Auch hier kam sehr schnell der Gedanke, die Solarzellen einschieben zu können, sodass sie austauschbar sind. Danach folgte die Neigungsmechanik mit Halterungen für den Servomotor und der Aufhängung für

die Solarzellenhalterung. Da wir für die Drehmechanik nicht das gesamte Gewicht unserer Konstruktion auf die Achse des Servomotors geben wollten, wurde ein vertikales Kugellager benötigt, welches wir selbst konstruierten. Hier war die Herausforderung, eine umlaufende Nut zu schaffen, in welche die 10 mm großen Kugeln optimal passten. Sie sollten genau so viel Spiel haben, dass die Reibung so gering wie möglich ist, die Kugeln aber trotzdem gut in der Nut geführt sind. Nach einem Test für Nuttiefe und Durchmesser funktionierte unser Kugellager dann auch beim ersten Versuch. Es war ein unvergesslicher Moment, als Ole mit einem breiten Grinsen auf dem Gesicht und dem über Nacht gedruckten Teil zum Frühstück kam. Wie ein Lauffeuer verbreitete sich die Nachricht über das Kugellager – nicht nur kursintern.

Eine weitere nennenswerte Konstruktion ist die Achse, auf die der Dreh-Servomotor wirkt und die Konstruktion zum Drehen bringt. Diese wurde irgendwann „Kabelführungsstange“ getauft, weil sie nicht nur innen hohl sein sollte, um Kabel zu führen, sondern auch zusätzlich die ganze Konstruktion drehen sollte. Ganz zum Schluss bauten wir noch eine Holzbox, in der die komplette Steuerungstechnik für unseren Solartracker untergebracht wurde.

Organisation

ANNE-VICTORIA ENANG SENGE

Um zwischen den einzelnen Teams und Bauteilen den Überblick zu behalten, haben wir uns jeden Morgen organisiert, wofür wir zwei Orga-Pinnwände nutzten. Auf der einen waren alle Akademietage tabellenartig in Vor- und Nachmittagskursschienen eingeteilt, während sich auf der anderen Wand ein rotes Kabel entlang zog. Schon am Ende des Eröffnungswochenendes hatten wir uns überlegt, wie wir beim Bau unseres Solartrackers vorgehen wollten. Im Sommer setzten wir diesen Gedankengang fort und versuchten, jeden einzelnen Schritt festzuhalten. Hierfür schrieben wir die einzelnen Schritte auf Zettel und hängten sie an die Pinnwand. Mögliche

Aufgaben waren 3D-Modellieren, Programmieren oder die Aufnahme von Kennlinien. Die zugehörigen Zettel hängten wir zusammen mit den Namen der Personen, die sie erledigten, in die Tabelle mit den jeweiligen Kursschienen. So wussten alle, was sie zu tun hatten.

Die Aufgabenzuteilung ereignete sich wie folgt: Jeder verfügte über zwei Zettel mit dem eigenen Namen, je einen in gelb und blau, und konnte so die Präferenz für das Erledigen einer Aufgabe angeben. Jeden Morgen besprachen wir, was es für den jeweiligen Tag zu erledigen gab und auf welchem Stand die einzelnen Gruppen waren. So behielt jeder den Überblick. Auch bei den Vorbereitungen zum Rotationstag und zur Dokumentation war die Pinnwand uns eine große Hilfe. Mit ihr ordneten wir die Präsentation in eine chronologische Reihenfolge und bestimmten, wer was vorbereitete. Dies taten wir mit Hilfe des roten Kabels, welches uns eine strukturierte und geordnete Herangehensweise ermöglichte.



Morgendliches Orga-Treffen

Eröffnungs- und Dokumentationswochenende

SVEA GOMM

Als ich bei der Akademie angenommen wurde, war da vor allem eins: Aufregung. Ich wusste nicht genau, was mich erwartet, wer die anderen Teilnehmer:innen sein würden oder ob ich mich in der Gruppe wohl fühlen würde. Gleichzeitig war da diese große Neugier auf neue Menschen, spannende Themen und die Möglichkeit, etwas Eigenes auf die Beine zu stellen. Bevor die Akademie aber so richtig starten konnte, begann alles mit einem besonderen Wochenende – dem Eröffnungswochenende.

Dieses diente nicht nur dem organisatorischen Einstieg, sondern vor allem dazu, anzukommen, sich gegenseitig kennenzulernen, erste Hemmungen abzubauen und ein Gefühl für das Leben bei der Akademie zu bekommen. Für viele von uns war dieser Start mit gemischten Gefühlen verbunden: Neben Vorfreude und Neugier standen auch Unsicherheiten und Ängste im Raum. Wie wird die Gruppe sein? Werde ich Anschluss finden? Kann ich mit den Aufgaben mithalten? Gleichzeitig waren da aber auch große Hoffnungen auf eine inspirierende Zeit, neue Freundschaften und spannende Projekte, die uns herausfordern und wachsen lassen würden.

Schon bald war klar: Wir alle sind ein Team – offen, neugierig und bereit, gemeinsam etwas zu schaffen. In unserem Kurs entschieden wir uns, das spannende Thema „Solarzellen“ zu erforschen. Der Einstieg begann mit den physikalischen Grundlagen: Was sind Elektronen? Wie entsteht Strom? Wie misst man Spannung und Stromstärke? Nach und nach erarbeiteten wir uns das nötige Wissen, um uns ein tieferes Verständnis für die Solarenergie anzueignen. Mit dem gesammelten Grundlagenwissen begannen wir, zu überlegen, welches Projekt wir umsetzen möchten. Schnell war klar: Wir wollen nicht nur verstehen, wie eine Solarzelle funktioniert – wir wollen sie verbessern. Wir setzten uns als Ziel, einen Solartracker zu entwickeln – ein System, das die Solarzelle automatisch zur Sonne ausrichtet, um ihre Effizienz zu steigern. Die Idee war geboren, der Ehrgeiz geweckt.

In den darauffolgenden Tagen erstellten wir eine erste Materialliste, planten unser Vorgehen und bereiteten alles dafür vor, dass wir unser Projekt acht Wochen später in die Tat umsetzen konnten. Der Grundstein war gelegt – voller Motivation und mit einem klaren Ziel vor Augen starteten wir als Gruppe im Sommer in eine aufregende und lehrreiche Zeit bei der Akademie.

Ein weiteres wichtiges Element für die Akademie war das Dokumentationswochenende. Fünf Wochen nach den zwei Wochen im Sommer kamen alle von Freitag bis Sonntag nochmal zusammen, um die Dokumentation, welche Sie gerade lesen, zu schreiben. Das Doku-Wochen-

ende diente aber natürlich auch dazu, alle nochmal wiederzusehen und von den geschehenen Erlebnissen in den vergangenen fünf Wochen zu berichten.

Nachdem wir in den ersten beiden Tagen die Dokumentation unseres eigenen Kurses fertig geschrieben hatten, ging es am Abend nach der Abgabe weiter mit einer Nachtwanderung. Den Abend haben alle Teilnehmer:innen gemeinsam am Lagerfeuer ausklingen lassen, mit Tanzen, mit tiefgründigen Gesprächen, dem ein oder anderen Lachflash und vielen Snacks und Getränken. Am nächsten und letzten Tag haben wir uns nochmal zum Abschluss ein allerletztes Mal innerhalb unseres Kurses getroffen, um über die vergangene und richtig coole Zeit zu reden. Nach der Ausgabe der Zertifikate ging es dann leider auch schon wieder nach Hause.

Ich glaube, ich schreibe hier für alle, wenn ich sage, dass wir zusammen als Kurs eine richtig coole und lehrreiche Zeit hatten und dass wir mehr als stolz auf uns alle sein können. Zum Abschluss kann man sagen: Wir werden diese unvergessliche Zeit immer in unseren Herzen behalten und alle Erfahrungen und Erlebnisse gesammelt in diesem Dokument aufbewahren.



bestand darin, an uns verteilte Bilder in eine chronologisch richtige Reihenfolge zu bringen – allerdings ohne uns die Bilder gegenseitig zu zeigen, sondern ausschließlich durch Kommunikation.

Diese Übungen stärkten unser Miteinander und ließen uns zu einer richtig coolen Gruppe zusammenwachsen. Sie halfen uns nicht zuletzt auch dabei, uns auf das bevorstehende Sportfest vorzubereiten, wo genau diese Fähigkeiten auf die Probe gestellt wurden – denn dort stand Teamarbeit deutlich über sportlichem Können. Eines fehlte jedoch noch: ein passender, energiegeladener Schlachtruf für unseren Kurs. Nach langen Überlegungen und mehreren „Schrei-proben“ stand er schließlich fest: „Licht rein, Strom raus – wir gewinnen, Punkt aus!“ Aber nicht nur unser Schlachtruf begleitete uns das gesamte Sportfest über, sondern auch unsere engagierte Schülermentorin Emilia. Bei den Aufgaben, an denen sie nicht selbst teilnehmen konnte, feuerte sie uns mit voller Energie an. Unsere beiden Kursleiter machten sich ebenfalls für uns stark, indem sie uns mit einer selbst choreographierten Cheerleader-Performance in passender Montur anfeuerten.

Gestartet sind wir mit einer „Polarexpedition“, gefolgt vom sogenannten „laufenden A“ – bei uns besser bekannt als das „joggende A“. Emi-

Teambuilding und Sportfest

JARA REICHENBACH, SVEA GOMM

Wie in jedem Jahr bei der Science Academy fand auch bei uns zu Beginn der zweiten Woche das traditionelle Sportfest statt. Bis dahin hatten wir genügend Zeit, aus einer Gruppe von „Fremden“ ein echtes Team zu schaffen. Damit uns das gelang, legten wir während unserer Kurszeiten regelmäßig Pausen ein, in denen wir uns gemeinsam mit unserer Schülermentorin und unseren Kursleitern verschiedenen Teambuilding-Spielen stellten. Von kreativen Aufgaben bis hin zu kommunikativen Herausforderungen war alles dabei.

So bekamen wir beispielsweise einen Feuerwehrschlauch und einen Minigolfball mit der Aufgabe, gemeinsam als Team eine Lösung zu finden, wie wir den Ball durch den Schlauch transportieren könnten – dabei entstanden viele kreative Ideen. Eine weitere Herausforderung

lia stellte sich dabei mutig in eine große Holzkonstruktion in Form eines A, die wir mithilfe von daran befestigten Seilen als Team fortbewegen mussten. Kommunikation und eine gute Absprache waren hier entscheidend, damit das A – samt Emilia – nicht umkippte. Zum Glück meisterten wir auch diese Aufgabe erfolgreich.

Unsere Teamstärke zeigte sich besonders bei der letzten Station: Gemeinsam zogen wir ein Auto in rekordverdächtiger Zeit einen Hügel hinauf. Selbst die verletzten Teammitglieder trugen zum Erfolg bei, indem sie uns lautstark und motivierend von außen unterstützten.



Als engagierter Kurs hatten wir natürlich nicht nur einen, sondern zwei Schlachtrufe. „Strom, Sonne, Energie – Lorenz der Lauch siegt wie nie!“ – dieser Spruch spielt darauf an, dass unser Kursleiter Lorenz in seiner gesamten Akademie-Zeit, die bereits neun Jahre andauert, noch nie mit einem Kurs das Sportfest gewonnen hat. Wir setzten uns daher als Ziel, dies zu ändern, weshalb uns der Spruch eine extra Portion Kraft gab. Letztendlich konnten wir ihn auch mit einem zweiten Platz mehr als stolz machen und wurden mit ganzen zwei Kästen Paulaner Spezi überrascht, die uns für die restliche Zeit der Akademie stärkten.

Exkursion ins ZSW

FRANZISKA HÜTHER

Dieses Jahr besuchten wir im Physikkurs das ZSW (Zentrum für Solarenergie und Wasserstoffforschung) in Stuttgart. Dazu trafen wir uns morgens vor der Mensa und

fuhren mit der Bahn nach Stuttgart, was überraschend reibungslos funktionierte.



Nach einer kurzen Essenspause durften wir dann gegen 12 Uhr in einen für uns bereitgestellten Seminarraum. Dort wurde uns ein Vortrag über das ZSW sowie über die neusten Technologien in der Photovoltaik-Forschung gehalten. Beispiele hierfür sind Perowskit- oder Tandemsolarzellen. Diese sind allesamt Alternativen zur klassischen Silizium-Solarzelle.

Wir wissen, dass Solarzellen aus pn-Übergängen aufgebaut sind, also aus Halbleitern. Meist ist das dotiertes Silizium, womit wir auch im Kurs arbeiteten. Es können aber auch andere Halbleiter sein – wie etwa Perowskite, eine Art von Mineralen. Perowskit-Solarzellen bestehen, wie der Name schon sagt, aus Perowskit und können deutlich höhere Wirkungsgrade als Silizium-Solarzellen erreichen. Zudem sind sie deutlich dünner und flexibler und können sogar auf Folien aufgetragen werden.

Mehrschicht-Solarzellen können sogar noch deutlich höhere Leistung erbringen. Sie bestehen aus zwei oder mehr unterschiedlichen Solarzellen, die aufeinander geschichtet sind. Dabei absorbieren die Teile jeweils einen bestimmten Teil des Lichtspektrums, wodurch man insgesamt ein deutlich breiteres Spektrum als bei gewöhnlichen Einfachsolarzellen nutzen kann. Das führt dazu, dass während der höchste gemessene Wirkungsgrad für eine Silizium-Solarzelle mit Konzentrator im Jahr 2019 bei 30 Prozent lag, bei einer Mehrschichtsolarzelle

mit Konzentrator zur selben Zeit ein Wirkungsgrad von 48 Prozent gemessen wurde.²

Nach diesem spannenden Vortrag kleideten wir uns in Schutzanzüge und legten Handschuhe und Schuhüberzüge an. In diesem Outfit durften wir dann die Labore besuchen und sogar einigen Forscher:innen beim Arbeiten über die Schulter schauen.



Anschließend endete unsere Zeit im ZSW auch schon und nach einem kurzen Abstecher in die Königstraße ging es für uns wieder zurück nach Adelsheim, wo wir pünktlich zum Abendessen ankamen. Für uns ging so ein sehr interessanter und lehrreicher Tag zu Ende, der uns einige spannende Einblicke in die aktuelle Forschung im Bereich Photovoltaik gewährte. Dafür bedanken wir uns natürlich auch beim ZSW für diese tolle Gelegenheit.

Fazit

FRANZISKA HÜTHER

Während der gesamten Zeit, in der wir an unserem Solartracker arbeiteten, beschäftigte uns besonders eine Frage: Lohnt sich so ein

²Quelle: Sze, S. M., Li, Y., Kwok, K. N., Smoliner, J. (Hrsg.) (2021): *Physik der Halbleiterbauelemente*. Wiley-Vch. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/24857>

Nachführungssystem wirklich? Kann man so die Sonnenenergie tatsächlich effizienter nutzen?

Diese Frage stellten wir während unserer Exkursion auch den Forscher:innen am ZSW. Die Antwort brachte uns zum Nachdenken: Wie wir auch berechnet hatten, erhöht ein Nachführungssystem die Effizienz einer Solarzelle enorm. Allerdings ist der größte Kostenpunkt bei Photovoltaikanlagen heutzutage nicht das Modul selbst, sondern die Installation. Ein Nachführungssystem würde diese Installationskosten noch steigern und deshalb rentieren sich Solartracker nicht wirklich. Einige Ausnahmen gibt es jedoch: Bei besonders hochwertigen Solarzellen, wie beispielsweise den oben beschriebenen, könnten Nachführungssysteme durchaus sowohl wirtschaftlich als auch leistungstechnisch sehr lohnend sein. Auch im ZSW findet ein Solartracker seinen Einsatz, dort dient er dazu, beschleunigte Alterungstests durchzuführen.

Darüber hinaus war es ja auch nicht unser Ziel, eine Firma zu gründen. Uns ging es eher darum, gemeinsam herauszufinden, wie wir die Leistung unserer Solarzellen weiter erhöhen können, und das ist uns definitiv gelungen. Wir hatten im Kurs eine wirklich schöne Zeit, an die wir mit Sicherheit immer gerne zurückdenken werden.



Zitate

JONAS WEINMANN

Neben vieler Stunden Arbeit an unserem Solartracker hatten wir über die zwei Wochen hinweg in der Kurszeit auch eine Menge Spaß. Da wir nicht jedes Detail aus den zwei Wochen erzählen können, Ihnen jedoch auch nicht einen kleinen Einblick in unseren Kurs verwehren wollen, sind hier die aus unserer Sicht besten Zitate:

- „Die Solarzelle mobbt mich, sie macht nicht das, was ich will.“
- „Der 3D-Drucker hat gekocht, er hat uns Spaghetti gemacht.“
- „Ich werde nach 15 Minuten schon vermisst, bei ihm juckt es nach 30 Minuten nichtmal.“
- „Das ist tuff.“
- „Weil ich eine Bombe bin!“
- „R = Punkt“
- „Alles eine Katastrophe!“
- „Im Fachraum bitte nicht schnupfen.“

- „Mein Lehrer ist gerade auf den Kanarien ...“
- „Und ich bin der Hanz-Günther. Ne Spaß, Philipp“
- „Schröders Katze: War das nicht so ein CSU-Politiker?“
- „Eine **SICHTBARE** Veränderung“
- „17 Sekunden!“
- „Wir gehen jetzt zum Mittagesessen“ (19:41 Uhr)
- „Kurzes Stimmungsbild bitte“
- Lorenz: „Das Känguru und ich haben eine ganz *besondere* Beziehung“
- Lorenz: „Vielleicht komme ich auch mal zur Gute-Nacht-Geschichte.“
- „Das ist eine sehr gute Frage, die werden wir sicher im Kurs nochmal aufgreifen.“
- „Deutsche Ingenieurskunst!“
- „ 5 ± 5 Wäscheklammern“
- „Mama Löffler“
- „Der lässt sich nicht hochladen, der Fett-sack“



Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 22. 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 gefördert. 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, sowie dem Referat 35 „Allgemein bildende Gymnasien“ am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, namentlich Herrn Jan Wohlgemuth und seiner Nachfolgerin Frau Dr. Margret Fetzer.

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 Klaiber 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 Schwetzinger 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 12, Abbildung DNA-Aufbau:

Von Wikipedia-User Matt bearbeitet nach einer Abbildung von Wikipedia-User Madprime,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chemische_Struktur_der_DNA.svg?lang=de
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 13, Abbildung DNA-Replikation:

Ausschnitt aus einer Abbildung von Wikimedia-User VWALevi2020,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Replikation#/media/Datei:DNA-Replikation.png>
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

Seite 15, Abbildung Ablauf einer PCR:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User Enzoklop,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polymerase_chain_reaction.svg
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 54, Abbildung ISS:

Roskosmos/NASA, <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/iss/die-internationale-raumstation-iss-forschung-im-all-mit-nutzen-fuer-alle>

Seite 62, Abbildung DLR in Lampoldshausen:

DLR, <https://www.dlr.de/de/das-dlr/standorte-und-bueros/lampoldshausen/>
CC BY-NC-ND 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode>)

Seite 70, Menschlicher Verdauungstrakt:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User LadyofHats,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digestive_system_diagram_de.svg
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 71, Aufbau des Dünndarms:

Bearbeitet nach einer Abbildung von Wikimedia-User McorNGHH,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villi_%26_microvilli_of_small_intestine.svg
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 71, pH-Skala:

Wikimedia-User Palmstroem, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PHscala.png>
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 74, elektromagnetisches Spektrum:

Wikimedia-User Horst Frank / Phrood / Anony,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_-de_c.svg
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 89, Fotografie von Bertolt Brecht:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-W0409-300,_Bertolt_Brecht.jpg
Bundesarchiv, Bild 183-W0409-300 / Jörg Kolbe
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 93, Büste des Aristoteles:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg
Teil der Ludovisi Collection, Foto von Jastrow (2006)
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 95, Gemälde von Immanuel Kant:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
Johann Gottlieb Becker (1768)
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 95, Fotografie von Arthur Schopenhauer:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur_Schopenhauer_colorized.jpg
CC0 1.0 (<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode.en>)

BILDNACHWEIS

Seite 97, Fotografie von Karl Marx:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_Marx_by_John_Jabez_Edwin_Mayall_1875_-_Restored_%26_Adjusted_%283x4_cropped_b%29.png
John Jabez Edwin Mayall (1875)
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 99, Gemälde von Friedrich Nietzsche:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_Friedrich_Nietzsche.jpg
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 100, Gemälde von Gotthold Ephraim Lessing:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gotthold_Ephraim_Lessing.jpg
Nach einem Gemälde von Carl Jäger (ca. 1870)
Als gemeinfrei gekennzeichnet

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_Note/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>