

JuniorAkademie Adelsheim

18. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2021



Astronomie



Informatik



Mathematik



Medizin



Philosophie



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2021**

**18. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2021:

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

monika.jakob@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 18. JuniorAkademie Adelsheim 2021 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2021 Jörg Richter, Dr. Monika Jakob

Vorwort

Meine Damen und Herren, willkommen an Deck unserer Entdeckungsreise. Sind Sie bereit, die Segel zu hissen und in ein Abenteuer hinter dem Meereshorizont zu segeln? Die rund 70 Teilnehmerinnen und Teilnehmer zusammen mit den rund 30 Kursleiterinnen und Kursleitern wagten dieses Abenteuer. Von dem leichten Wind durch Corona ließen sie sich nicht aufhalten, am Eröffnungswochenende im Juni diese einzigartige Entdeckungsreise zu starten. Passend zum diesjährigen Motto der 18. Science Academy Baden-Württemberg „Entdeckungen“ standen alle bereit – mit einem Gepäck voller Erwartungen, Neugierde, aber auch Hoffnung, was hinter dem Horizont an Unbekanntem auf sie warten würde. Nach dem ersten gegenseitigen Kennenlernen und einem Einstieg in ihre jeweiligen Kursthemen konnten sie im Sommer richtig durchstarten.

Während der Mathematikurs eine Rundreise durch die Mathematik antrat, machten sich die Philosophinnen und Philosophen Gedanken über den Sinn des Lebens und im Medizinkurs wurde die rote Essenz des Lebens erforscht, das Blut. Mit dem richtigen Verständnis von Datenaustausch wurden im Informatikkurs kleine Spiele entwickelt, der Astronomiekurs suchte nach fernen und nahen Signalen durch Radiowellen und die Physikerinnen und Physiker sorgten dafür, dass uns mithilfe der Sonne nie der Strom ausgeht. Wie Sie sehen, herrschte auf der Entdeckungsreise reges Teamwork.

Die Wochen im Sommer waren für alle besonders: Einen Teil der Zeit wurde online gearbeitet, die Kurse konnten aber auch als Highlight im Wechsel am Landesschulzentrum für Umwelterziehung in Adelsheim Station machen. Dort wurden dann unzählige Masken gehisst und Hände desinfiziert, zusätzlich wurden rund 300 Coronatests durchgeführt. Ein Gruppenbild mit allen an der Akademie beteiligten wie auch die Kursphotos konnten nur dank Photoshop und einer strengen Choreographie entstehen: Alle waren frisch und natürlich negativ getestet, man stellte sich auf, und dann hieß es „Maske ab – Photo – Maske wieder auf“. Belohnt wurden wir für den großen Aufwand mit einer sicheren Akademie. Nicht zuletzt spielte auch das Wetter mit, dank der sonnigen Tage konnte vieles im Freien stattfinden.

Und so lag der Fokus schnell auf der Kursarbeit und den KüAs, die Arbeit online wie offline wurde intensiviert. Vor allem während der Zeit in Adelsheim, aber auch online wurden die ersten Freundschaften geschlossen und Interessen ausgetauscht, und die Kurse fanden sich immer mehr als Team. Begleitet von Grillabenden, Wanderungen und kleinen Spaßaktionen ging die Kursarbeit gut voran und fand am Präsentationstag mit dem großen Abschlussabend ihren Höhepunkt.

Danach nahm das Entdeckungsschiff Kurs auf das Dokumentationswochenende. Dort konnten wir alle nochmal auf die schöne gemeinsame Zeit zurückblicken und die Dokumentation mit inhaltlichen Berichten aus den Kursen und Erinnerungen an die gemeinsame Zeit füllen, aber auch einen Blick in die Zukunft mit Optionen für weitere Entdeckungen werfen.

Bei der Akademie gab es viel zu entdecken: Da waren zunächst die Kursinhalte, Musik, Theater, Sport und die anderen kursübergreifenden Angebote. Veranstaltungen online, „in echt“ oder hybrid, Coronatests und Hygieneregeln. Aber auch die Fähigkeiten der Entdeckerinnen und Entdecker wie Teamwork, Präsentieren und Projektmanagement wurden bei der Akademie vertieft, und neue Freundschaften, Erkenntnisse und Erinnerungen sind entstanden. Getragen wurden diese Entdeckungen durch das große Interesse, das Engagement und die Begeisterung der jungen Menschen. All diese großen und kleinen Entdeckungen trugen zur Akademie als großes Ganzes

bei, und dies wurde durch ein Bild symbolisiert, entstanden aus unzähligen einzelnen Bildern, die uns die Teilnehmerinnen und Teilnehmer geschickt hatten, und die für sie persönlich wichtige Entdeckungen zeigen.



Ein Blick hinter den Horizont wurde gewagt, doch dahinter verbirgt sich noch so viel mehr: Vollgepackt mit neuen Eindrücken entlassen wir die Abenteuerlustigen in die Freiheit und freuen uns schon jetzt auf ein mögliches Wiedersehen. Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Durchstöbern des Logbuchs unserer gemeinsamen Entdeckungsreise und hoffen, dass Ihr, liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, Euch noch lange an die einzigartige gemeinsame Zeit online und in Adelsheim erinnern werdet.

Eure/Ihre Akademieleitung

Ranran Ji (Assistenz)

Lorenz Löffler (Assistenz)

Dr. Monika Jakob

Jörg Richter



Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	9
KURS 2 – INFORMATIK	31
KURS 3 – MATHEMATIK	47
KURS 4 – MEDIZIN	67
KURS 5 – PHILOSOPHIE	91
KURS 6 – PHYSIK	119
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	143
DANKSAGUNG	159
BILDNACHWEIS	161

Kurs 6 – Wie kommt die Sonne in die Steckdose?



Vorwort

MELISSA BAUER

Die Sonne ist die Grundlage und das Tor jeden Lebens. Aus diesem Grund konnten wir im Physikkurs 2021 nicht nur Photovoltaik und nachhaltige Energiegewinnungsmethoden entdecken, sondern vor allem jeder Einzelne sich selbst. Die Leidenschaft zum Entdecken war für uns der Schlüssel, der uns den Weg erleuchtete, welcher „Wissenschaft“. Als es nämlich Probleme regnete, spannten wir alle gemeinsam unseren großen Akademie-Regenschirm auf. Jeder von uns war Lehrer und Schüler zugleich, da wir alle ein Puzzleteil zu unserem „Großen Ganzen“ beitragen konnten. Da wir uns die Frage stellten, wie wir die Welt retten können, haben wir uns für die Akademie viel vorgenommen. Ist die Energie der Sonne der

Schlüssel zu all unseren Problemen? Braucht es mehr als das? Was können WIR tun?

Nach zwei Wochenenden und zwei Wochen Sommerakademie dürfen wir uns nun freuen, endlich unsere Doku in den Händen zu halten. Wir als Kursleiter möchten uns herzlich für die Zeit, die wir mit Euch verbringen durften, bedanken. Diese Dokumentation ist nicht nur Zeugnis unserer gemeinsamen Gedanken und Träume, sondern auch unser „Lichtblick“ in Eure Zukunft.

Wir sind stolz auf Euch, denn wir wissen, dass Ihr weiter lernen und lehren werdet. Die meisten Eurer künftigen Entdeckungen warten noch auf Euch, und wir sind dankbar, dass wir mit Euch einen großen Schritt machen konnten. Wir sind uns sicher, dass auch Ihr die Welt eines Tages ein kleines Stückchen besser ma-

chen werdet. Denn wir haben uns gemeinsam gefragt, wie wir die Welt retten können, und wir alle werden nie aufgeben, auch wenn es mal regnet.

Einleitung

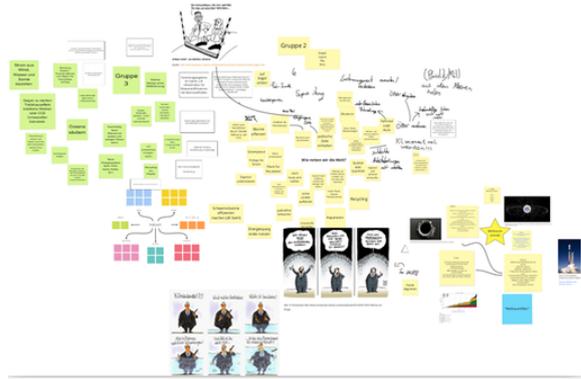
FELIX PLACKERT UND JOCHEN REDER

„Wie kommt die Sonne in die Steckdose?“ war unsere Ausgangsfrage, als wir mit der Planung des Physikkurses begannen. Wir wollten Fragen nachhaltiger Energiewirtschaft behandeln und dabei die effiziente Nutzung der Sonnenenergie in den Mittelpunkt unserer Entdeckungsreise stellen. Da die diesjährige Junior Akademie in hybrider Form stattfand, überlegten wir, wie wir es schaffen können, 12 Jugendliche, die sich vorher nicht kannten, schon am Eröffnungswochenende zu einer intensiven Zusammenarbeit zu bringen. Nach einer ersten Vorstellungsrunde stellten wir den Teilnehmerinnen und Teilnehmern ohne weitere Erläuterung oder etwaige Vorgaben die Frage „Wie retten wir die Welt?“. In Vierergruppen entwickelten die Jugendlichen Lösungsvorschläge. Wir waren uns nicht sicher, ob wir mit einer derartig offenen Frage unsere Kursteilnehmerinnen und Teilnehmer nicht ziemlich ratlos sich selbst überließen.

Was dann geschah, hatten wir so nicht erwartet: Jede der Gruppen fand Ansätze, was dringend geschehen muss. Von der Frage der Nahrungsbeschaffung der Weltbevölkerung, der Problematik der Konsum- und Wegwerfgesellschaft, der Müllverwertung auf der Erde und dem Einsammeln von Weltraumschrott bis zur drängenden Frage, wie man die Erderwärmung aufhalten könnte, wurde ein unglaubliches Brainstorming gestartet. Auf dem gemeinsamen Miroboard entwickelte sich vor unseren Augen eine Mindmap, auf der ständig neue Zusammenhänge strukturiert wurden.

In der anschließenden Diskussion wurde uns klar, dass wir mit dieser Gruppe eine spannende Akademie erleben werden.

Wir merkten schnell, dass wir unser Thema „Sonnenenergie“ in einem größeren Zusammenhang bearbeiten mussten. Am letzten Tag des



Screenshot von unserem Miroboard, auf dem man kaum mehr etwas erkennen kann: Im Kurs kamen sehr viele Ideen zusammen.

Eröffnungswochenendes wählten die Jugendlichen in Zweierteams Referatsthemen, die sie während des Sommers teilweise noch modifizierten.

Die ersten beiden Tage der Sommerakademie waren daher vollständig von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern selbst gestaltet. Von der Frage, in welcher Form in der Sonne Energie freigesetzt wird, bei uns ankommt und wie sie zu uns transportiert wird, dem Welle-Teilchen-Dualismus, der Frage, was eigentlich Quantenobjekte sind, und bis zu den Grundlagen der Halbleitertechnik mit einem Ausblick auf ganz neuartige Solarzellen wurden Vorträge gehalten und in der Gruppe diskutiert.

In den vier Tagen, in denen wir in Adelsheim vor Ort waren, konnten wir uns endlich „live und in Farbe“ kennenlernen, unterhalten und gemeinsam experimentieren, basteln und wieder beobachten, dass sich großartige Teams zusammengefunden haben, die sich sicherlich auch in Zukunft um die Weltrettung kümmern werden.

In den folgenden Kapiteln werden die Früchte unserer Arbeit dargestellt. Wir wünschen den Lesenden viel Vergnügen dabei.

Unser Kurs

Anton war immer freundlich und man konnte sich immer auf ihn verlassen. Er lockerte die Atmosphäre immer auf und hatte super Ideen. Im Tischtennis war er ein schwerer Gegner und es machte sehr viel Spaß ge-

gen ihn zu spielen oder sich mit ihm zu unterhalten. Im Orchester, als er Trompete spielte, genoss es jeder ihm zuzuhören. Mach auf jeden Fall so weiter!

Laura diskutierte voller Begeisterung und hinterfragte oft auf Basis ihrer physikalischen Vorkenntnisse Gelerntes. Sie ist sehr hilfsbereit und hat auf alles eine passende „wissenschaftliche“ Antwort: 42! Im Kurs arbeitet sie sehr zielorientiert und lockerte die Atmosphäre durch viele berühmte Zitate auf. Ihr rhetorisches Können und ihre Spontanität zeigte sie unter anderem in der (Impro-)Theater-KüA.

Vera brachte den Kurs durch ihre engagierte, aufmerksame und zuverlässige Art voran. Mit ihren gezielten Fragen bereicherte sie den Kurs. Dank ihrer Kreativität und Geschicklichkeit zeichnete sie das Motiv für das Kurs-Shirt und setzte dabei unsere Ideen perfekt um. Durch ihren ausgeglichenen und zuverlässigen Charakter war sie stets der Ruhepol des Kurses. Vera ist mit ihrer großzügigen Hilfsbereitschaft immer zur Stelle.

Franzi hat sich während der Kurszeit gut eingebracht, war produktiv und für Sachen zu begeistern; man hat sich aber auch außerhalb der Kurszeit bei ihr wohlfühlt, weil sie ein sozialer, sympathischer, nicht verurteilender und offener Mensch ist. Ihre soziale Ader hatte aber auch Nachteile (für sie), so kam sie aufgrund des langen Frühstückens ihrer Mitmenschen zu spät. Ehre, dass sie nicht gestresst hat.

Pia, ein absolut freeeeshes Mensch, stand immer 45 Minuten früher auf und nahm den ganzen Stress und das Zuspätkommen in Kauf, um morgens noch eine kleine Sporteinheit einzuschieben. Aber mit Sport war es nach 30 Minuten nicht zu Ende ... Ihre Bauchmuskulatur muss äußerst beeindruckend sein, so viel wie sie gelacht hat. Auch uns brachte sie immer zum Lachen. Diese Heldentat vollbrachte sie mit den amüsanten Storys aus ihrem Leben und später auch mit der Aussage, sie habe eigentlich nichts gecheckt ... Trotzdem gab sie immer Input, vor allem bei kreativen Aufgaben.

Julia-Elodies treuer Begleiter war stets ihre Kamera. Ob digital oder analog, immer war eine griffbereit, um unsere besondere Zeit in Adelsheim festzuhalten. Sie ist eine super nette und coole Person, mit der man immer lachen kann. Ihr besonderes Engagement zeigte sie auch in ihrer eigenen KüA: Fotografie. Nicht nur auf Film konnte Julia alle begeistern, denn vor allem mit ihren außergewöhnlichen Hobbys wie dem Fahren von Oldtimern und dem Segelfliegen sorgte sie für tollen Gesprächsstoff auf der Wanderung. Auch sportlich war Julia sehr engagiert, denn sie vertrat zusammen mit Finn G. und Pia tagtäglich die Physiker an der Front des Morgensports.

Emma hat immer einen lustigen Spruch parat. Dadurch hatten wir vor allem in der Zeit in Adelsheim sehr viel zu lachen. Falls Emma mal nichts mehr zu sagen wusste, füllte sie die Gesprächslücken mit dem Wort „entspannt“. Weniger entspannt war das Essen für sie, da sie sehr lange brauchte und die Essenszeit nur knapp für sie reichte. Im Kurs hat sich Emma vor allem bei sozialen Aspekten eingebracht, wie zum Beispiel, wenn es darum ging, wie wir die Welt retten können. Sie nahm begeistert an der Theater-KüA teil und verstand sich mit allen gut. Dadurch war die Zeit mit ihr sehr „entspannt“.

Finn R. ist eine tolle Person und man konnte sich auf ihn verlassen und er half jedem sehr gut. Mit seinem lockeren und coolem Schwäbisch heiterte er immer alle auf. Wenn man mal keinen Nachtisch essen konnte, war er stets direkt zur Stelle um ihn zu essen. Er hatte immer sehr gute Ideen und war mit Lars das perfekte Programmierduo für den Arduino. Es war immer schön, sich mit ihm zu unterhalten und seine Leidenschaft zum Motorsport und RC zu teilen.

Finn G. steckte uns alle immer mit seinem herzhaften Lachen, vor allem über unsere vielen Insider, an. Er brachte sich gut in unseren Kurs ein, erzählte oft spannende Geschichten und sorgte durch seinen geselligen Charakter in jeder erdenklichen Situation für gute Stimmung. Außerdem ist

er sehr sportlich, was sich aber nicht nur beim Tischtennispielen mit seinem Handy zeigte, sondern auch bei den häufigen Besuchen der Sport-KüA.

Lars ist kein lauter, extrovertierter Mensch, aber ein entspannter Zeitgenosse. Als wichtiger Teil der Gruppe blieb er nicht immer in einer Untergruppe, sondern machte mal was mit der einen und mal was mit einer anderen Person. Beim Programmieren und bei den Arbeitsaufträgen dachte er logisch und hinterfragte das ein oder andere, so trug er viel zum Ganzen bei.

David ist der aufmerksame Freund, der einem zur Seite steht und sofort hilft. Er brachte viele neue, innovative Ideen und Bemerkungen mit ein oder diskutierte gerne bei unseren Themen mit. Auch, wenn er nicht immer der Lauteste war, war er ein wichtiger Bestandteil des Kurses, der gut aufpasste und im richtigen Moment immer das passende sagte. Neben dem Kurs konnte er ebenfalls einwandfrei Tischtennis spielen oder man redete mal wieder über Rennserien und deren Ergebnisse wie der Extreme E oder der Formel 1.

Vincent kam schon beim ersten Kennenlernen direkt sympathisch rüber und es war sofort klar, dass man mit ihm viel Spaß haben kann. Und so kam es auch. Egal ob schwarze Löcher mit deren Gegenteil, den weißen Erhebungen, dem Suizidgitter am Gebäude LSZU2 oder bei tiefgründigen Philowitzen im Plenum, mit Vincent hatte man definitiv immer einen Grund zum Lachen. Während der Arbeit im Kurs war er stets top motiviert und man konnte sich immer auf ihn verlassen. Mit voller Begeisterung spielte er auch Tischtennis und veranstaltete eine erfolgreiche Volleyball-KüA.

Melissa war die hilfsbereite, inspirierende und einfühlsame Schülermentorin des Physikurses. Uns alle steckte sie mit ihrer elektrisierenden Motivation an. Sie sorgte durch ihre lustigen Ideen wie zum Beispiel dem Jeopardy Quiz für viel Abwechslung an den langen und anstrengenden Tagen und die „Zwangspausen“ wurden dank ihr auch immer beachtet. Ihre vielen Erfahrungen,

die sie unter anderem in zwei Physik-Olympiaden sammelte, gab sie an uns weiter und Melissa war immer um unser Wohlergehen besorgt.

Felix half unserem Kurs nicht nur durch sein konstruktives Feedback bei allen Präsentationen, sondern er konnte auch jedes physikalische Thema super anschaulich erklären. Als z. B. ein Problem in einem Experiment gelöst werden musste, arbeitete er unermüdlich, bis der Fehler gefunden war. Auch uns ermutigte er, nicht sofort aufzugeben, wenn etwas nicht funktionierte. Seine Motivation zeigte sich schon frühmorgens beim gemeinsamen Joggen sowie in der 3D-KüA, in der er uns beibrachte, wie man mit dem Programm Blender arbeiten kann. Stets war er hilfsbereit und freundlich zu allen. Mit der Quantenshow begeisterten uns Felix und Jochen, die uns die skurrile Quantenwelt ein bisschen näherbrachten.

Jochen war mal wieder bei einer seiner „allerletzten Akademien“ dabei. Er leitete unseren Kurs zusammen mit Felix und Melissa und hatte selbst sehr viel Spaß daran wenn wir (und er) etwas nicht verstanden und er an der Lösung des Rätsels mitarbeitete. Er war immer sehr gelassen und ging alles ruhig an. Auch bereitete er mit Felix eine sehr gelungene Quantenshow vor, außerdem betonte er sehr häufig, dass wir sehr gut mitmachen würden und er uns super fände, auch wenn das nicht heiße, dass seine früheren Kurse schlecht waren. Einige seiner besten Sprüche waren „Warum ist das so?“ und „Aber so ist das Leben, es kostet Zeit.“

Bevor es los geht, unsere Top-42 Insider

Schwarze Löcher in den „gefrorenen“ Erbsen, Weiße Erhebungen *hust hust Berge* und Graue Ebenen als Realität

Werkzeuge und Argumentation (und das Küüüüchenmesser)

Schrödingers Tischtennisplatte

Wir sind entspannt ... und cool!

Wie ist Teig definiert? Ist Rührei Teig?

42 ist die Antwort auf alles! #per anhalter durch die galaxis – 21 ist nur die halbe Wahrheit – stimmt

Ein Philosoph, der Treppen steigt, während er über philosophische Dinge nachdenkt

Suizidgitter am LSZU2

Die Mathematiker wollen uns ihren Nachtisch andrehen.

Siri wird von der Mafia bedroht.

Zwangspauuuuse!!

Mathematiker sind unsere Knechte.

Wenn es krabbelt, ist es Bio, wenn es stinkt, ist es Chemie, wenn es nicht funktioniert, ist es Physik – stimmt leider ...

Grundlagen

Unsere Sonne

PIA SCHILDE, FRANZISKA WOLZ

Die Sonne hat einen Durchmesser von ca. 1,4 Millionen Kilometern. Dieser ist ca. 109 mal so groß wie der der Erde. Besser vorstellen kann man sich das Größenverhältnis von Sonne und Erde, wenn man sich einen Basketball im Vergleich zu einer Linse vor Augen führt. Der Maßstab ist dabei ungefähr 1 : 6,5 Milliarden.



Größenvergleich: Die Sonne ist im Vergleich zur Erde so groß wie ein Basketball gegenüber einer Linse.

Die Sonne ist ca. 4,7 Milliarden Jahre alt und der Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt 8 Lichtminuten. Das bedeutet, dass das Licht von der Sonne zur Erde 8 Minuten braucht.

Die Sonne besteht teilweise aus Plasma. Als Plasma bezeichnet man ein Teilchengemisch aus Elektronen, Atomen, etc. Plasma wird auch als der 4. Aggregatzustand bezeichnet, weil es entsteht, wenn man Gas noch weiter erhitzt. Für Plasma gibt es einen eigenen Bereich in der Physik, die sogenannte Plasmaphysik. Diese beschäftigt sich mit Kernfusion, die von allen Sternen betrieben wird.

In der Sonne findet stetig Kernfusion statt. Kernfusion bedeutet, dass zwei Atomkerne zu einem neuen Atomkern verschmelzen. In der Sonne verschmelzen zwei Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern, wodurch Masse verloren geht und sehr viel Energie freigesetzt wird. Diese Energie ermöglicht das Leben auf der Erde. In der Plasmaphysik wird versucht, auf der Erde Kernfusion zu betreiben, um die Energieprobleme der Menschen zu lösen. Dies war bisher allerdings erfolglos.

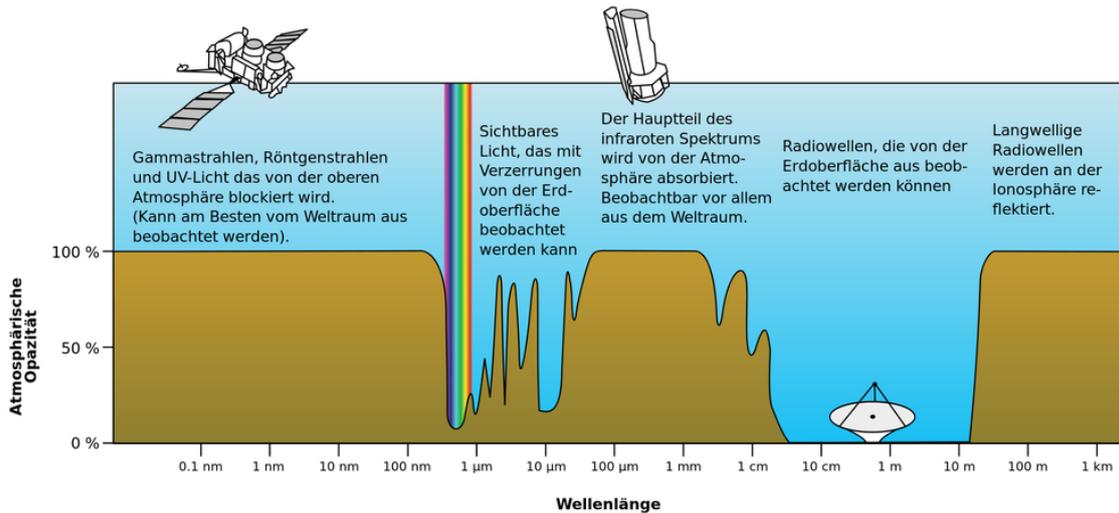
Was kommt von der Sonne bei uns an?

LARS HECKER

Das breite Spektrum der Strahlung, mit der die Sonne die Erde „unter Beschuss nimmt“ besteht nicht nur aus nützlicher Strahlung (wie z. B. Licht), sondern zum Teil auch aus für uns ungesunder Strahlung (z. B. Gamma-Strahlung). Aber die Erde ist nicht umsonst der einzige Planet, von dem wir wissen, dass darauf Leben existiert ...

Als erstes Beispiel, wie Strahlung abgehalten werden kann, kann Licht genannt werden: Wenn ein Gegenstand zwischen der Lichtquelle und unserem Auge ist „verschwindet“ die „Licht-Strahlung“. Die Sonne ist auch eine Lichtquelle, wenn sich zwischen ihr und uns eine Wolke befindet, so sehen wir sie nicht mehr. Außerdem verteilt sich nahe der Pole, wo der Einfallswinkel der Sonne geringer ist, das Licht auf eine größere Fläche. Selbiges passiert teilweise auch mit den anderen Arten von Strahlung.

Da wäre erstens die ganze Bandbreite an elektromagnetischer Strahlung (dazu gehört auch sichtbares Licht). Wenn die elektromagnetische Strahlung in die Atmosphäre eintritt wird sie abhängig von ihrer Wellenlänge und dem aktu-



Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung und die Absorption in der Atmosphäre¹

ellen „Wetter“ von verschiedenen Teilchen in der Atmosphäre reflektiert, gestreut oder absorbiert. Die meiste elektromagnetische Strahlung wird vollständig absorbiert. Nur im Bereich des sichtbaren und „leicht infraroten“ Lichts und dem Bereich der Radiostrahlung ist die Atmosphäre durchlässig.

Als zweites ist der Sonnenwind zu nennen. Diese Art von Strahlung besteht aus Protonen, Neutronen, Helium-4-Kernen und Atomkernen von weiteren Elementen. Die Masse, die die Sonne jede Sekunde abstrahlt, beträgt etwa 1.000.000 Tonnen. Davon trifft aber nur ein sehr kleiner Teil die Erde. Dieser Teil des Sonnenwindes wird unter normalen Verhältnissen ganz vom Erdmagnetfeld zu den Polen abgelenkt, wo er in einer mehr oder weniger komplizierten Reaktion die Polarlichter erzeugt. Kommt es jedoch zu sogenannten Sonnenstürmen oder -eruptionen, wobei die Sonne noch mehr Masse abstrahlt, so kann es sein, dass das Erdmagnetfeld nicht mehr den ganzen Sonnenwind abschirmen kann, dann gibt es je nach Größe des Sturmes größere oder kleinere Auswirkungen in der Nähe der Pole, dazu zählt z. B. das „Durchschmoren“ von Stromleitungen.

Die letzte Strahlung ist die Neutrinostrahlung. Sie ist noch nicht vollständig erforscht, aber über sie lässt sich sagen, dass die Neutrinos im

Kern der Sonne „auf die Reise gesandt“ werden, da sie aber kaum mit Materie in Wechselwirkung treten, ist es nur mit speziellen Messgeräten möglich, sie überhaupt zu bemerken. Infolge dessen spielen sie für Solarzellen eine eher geringe Rolle.

Photoeffekt und Welle-Teilchen-Dualismus

VERA BERTSCH, JULIA-ELODIE BOLLER

„Montag, Mittwoch und Freitag ist das Licht eine Welle, Dienstag, Donnerstag und Samstag ist es ein Teilchen und am Sonntag ruht es.“ – Roman Sexl.

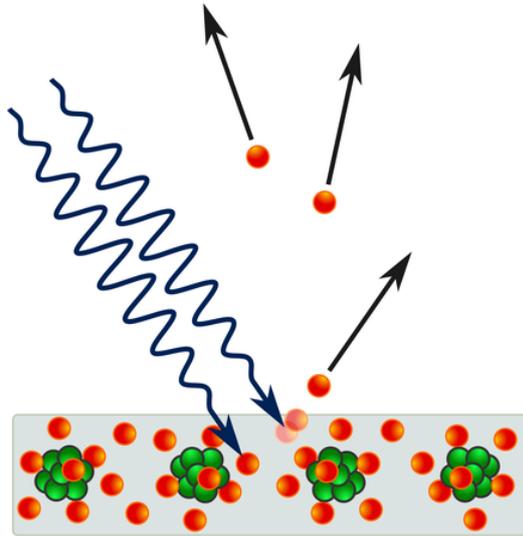
Damit lässt sich das Dilemma des Welle-Teilchen-Dualismus, welches bis heute von Wissenschaftlern untersucht wird, sehr gut beschreiben. Das Problem besteht darin, dass man manche Experimente mit Licht wie auch mit Elektronenstrahlung eher mit dem Wellenmodell und manche eher mit dem Teilchenmodell erklärt werden können. Um dies genauer zu verstehen, wird nun als erstes der photoelektrische Effekt erklärt.

Der photoelektrische Effekt wurde im 19. Jahrhundert von Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. Seitdem wurde er systematisch untersucht. Eine quantentechnische Deutung erfolgte 1905 von Albert Einstein.

Im Allgemeinen beschreibt der Photoeffekt das

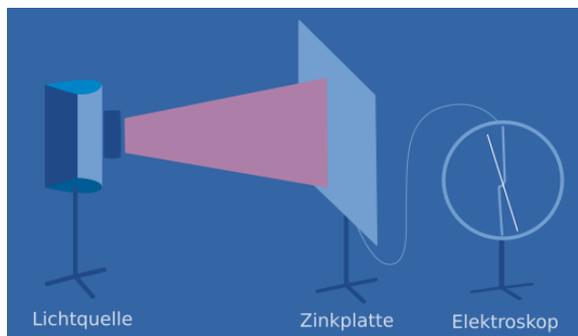
¹Abbildung: Wikimedia (Originalbild: NASA, SVG: Wikimedia-User Mysid/Ariser, als gemeinfrei gekennzeichnet)

Herauslösen von Elektronen aus einem Metall durch Photonen, also durch Bestrahlung mit Licht. Um eine allgemein gültige Formel aufzustellen, wurden verschiedene Experimente durchgeführt.



Photonen treffen auf Atome und schlagen Elektronen heraus.²

Der sogenannte Versuch von Hallwachs besteht darin, einen negativ geladenen Stab zu einer Zinkplatte zu führen.



Schematische Darstellung des Hallwachsversuchs.³

Da die Elektronen den Ladungsunterschied ausgleichen wollen, springen sie auf die Platte über. Ein Elektrometer zeigt den daraus resultierenden Elektronenüberschuss an. Als nächstes wird eine Quecksilberdampfampe, die sowohl sichtbares als auch ultraviolettes Licht aussendet, eingeschaltet. Man kann beobachten, dass der Ausschlag des Elektroskops abnimmt, weil Elektronen aus der Platte gelöst werden.

²Abbildung: Wikimedia (Wikimedia-User Ponor, CC BY-SA 4.0)

³Abbildung: Serlo-Lernplattform (CC BY-SA 4.0)

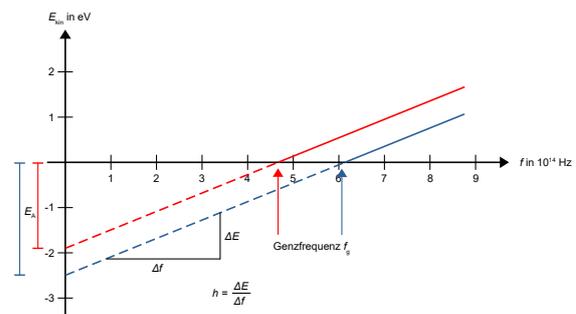
Eine Erweiterung des eben erklärten Versuchs ist das Aufstellen einer Plexiglasscheibe zwischen der Lampe und der Zinkplatte. Wenn die Lampe nun eingeschaltet wird, ist kein Ausschlag zu sehen, da die Plexiglasscheibe hochenergetische UV-Strahlen herausfiltert. Folglich besitzt das sichtbare Licht nicht genügend Energie, um die Elektronen zu bewegen.

Aus diesem Versuch lässt sich schließen, dass eine bestimmte Arbeit bzw. Menge an Energie, die als Austrittsarbeit oder Ablöseenergie bezeichnet wird, nötig ist, um ein Elektron aus einem Metall zu lösen.

$$E_{kin} = E_{Ph} - E_A$$

Dies bedeutet, dass die kinetische Energie E_{kin} des Elektrons gleich der um die Ablöseenergie E_A verringerte Energie des Photons E_{Ph} ist.

Ein weiteres Experiment besteht darin, eine Caesium-Kathode, eine negativ geladene Elektrode, mit farbigem Licht zu bestrahlen. Dadurch werden Elektronen aus der Kathode gelöst, die zur Anode wandern. Es fließt Strom, der mit einem Amperemeter gemessen wird. Nun wird eine regelbare Gegenspannung angeschlossen. Daraufhin nimmt die Stromstärke ab, wobei die Abnahme von der Frequenz (Farbe) des Lichts und der angelegten Gegenspannung abhängt.



Photoeffekt bei verschiedenen Materialien

Aus diesem Versuch lässt sich schließen, dass die kinetische Energie eines Elektrons von der Frequenz des Lichts abhängt.

Zusammen mit $E_{kin} = E_{Ph} - E_A$ ergibt sich: $E_{Ph} = h \cdot f$. Dabei ist:

h : Plancksches Wirkungsquantum
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

f : Frequenz

Werden die Messwerte der kinetischen Energie E_{kin} gegen die Frequenz f aufgetragen, so ergeben sich Geraden, deren E_{kin} -Achsenabschnitt der Ablösearbeit entspricht und deren Steigung das Plancksche Wirkungsquantum $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J s angibt.

Es gilt:

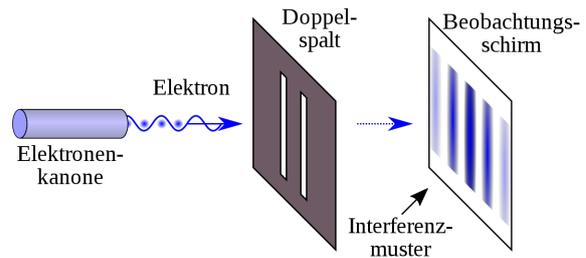
$$E_{kin} = h \cdot f - E_A,$$

Unterhalb der sogenannten Grenzfrequenz f_g ist auch bei gesteigerter Intensität der Strahlung kein Photoeffekt zu erwarten, was im Diagramm durch die gestrichelten Linien dargestellt wird. Aufgrund dieser Tatsache ergibt sich ein Problem, welches der Überlegung zugrunde liegt, ob Licht eine Welle oder ein Teilchen ist.

Um die Problematik des Welle-Teilchen-Dualismus zu verstehen, muss zunächst geklärt werden, was die Begriffe „Welle“ und „Teilchen“ in der klassischen Physik eigentlich genau bedeuten. Teilchen, die sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegen, haben kinetische Energie, die von ihrer Masse und der Geschwindigkeit abhängt. Wellen hingegen breiten sich im Raum aus und transportieren Energie, aber keine Masse. Bei Wellen gibt es Interferenzerscheinungen: Die Wellen verstärken sich bzw. schwächen sich ab. Besonders deutlich sieht man das zum Beispiel, wenn zwei Steine ins Wasser fallen und die dabei entstandenen kreisförmigen Wellen sich überlagern.

Isaac Newton entwickelte die im 17. und 18. Jahrhundert vorherrschende Korpustheorie, die besagt, dass das Licht aus Korpuskeln (Teilchen) besteht. Der erste Versuch, der diese Theorie erschütterte, war der bekannte Versuch vom Doppelspalt, der erstmals 1802 von Thomas Young durchgeführt wurde. Bei diesem wird Licht durch zwei schmale Spalte in einer Blende auf einen Schirm geschickt.

Nun kann man theoretische Überlegungen aufstellen, wie das Licht sich bei diesem Versuch verhalten müsste, wenn es ein Teilchenstrom bzw. eine Welle wäre.



Schematische Darstellung des klassischen Doppelspaltversuchs⁴

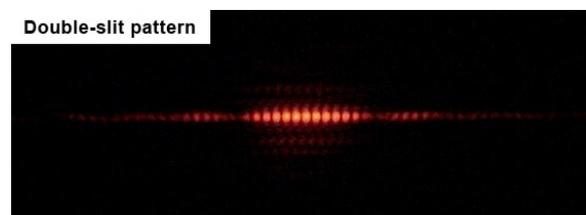
Hypothese 1: Licht ist ein Teilchenstrom

In diesem Fall würden alle Teilchen, die auf die Blende treffen, dort abprallen, und die Teilchen, die durch die Spalte gelangen, fliegen von da aus geradeaus auf den Schirm. Man würde also zwei schmale, helle Striche auf dem Schirm sehen.

Hypothese 2: Licht ist eine Welle

Die beiden Spalte würden das Licht in zwei Wellen aufteilen, die sich von dort aus im Raum ausbreiten. Auf dem Schirm kommt es dann zur Interferenz: Wo ein Maximum der einen Welle auf ein Maximum der anderen Welle trifft, da verstärken sie sich gegenseitig, und wo ein Maximum auf ein Minimum trifft, da löschen sie sich aus. Man würde also mehrere helle und dunkle Striche auf dem Schirm erkennen.

Die Beobachtungen, die Thomas Young damals machte, ergaben, dass sich das Licht in diesem Fall wie eine klassische Welle verhielt. Auf dem Schirm war deutlich ein Interferenzmuster erkennbar.



Ergebnis eines Doppelspaltversuchs.⁵

Damit gewann auf einmal die Wellentheorie, die Christiaan Huygens schon zur Zeit Newtons aufgestellt hatte, wieder an Bedeutung. Diese

⁴Abbildung: Wikimedia (Johannes Kalliauer, als gemeinfrei gekennzeichnet)

⁵Abbildung: Wikimedia, Ausschnitt (Wikimedia-User Jordgette, CC BY-SA 3.0)

brachte aber auch schon wieder ein Problem mit sich: die Suche nach dem Übertragungsmedium für Licht. Von anderen klassischen Wellen, wie z. B. Schall, wusste man, dass sie sich nur über ein Medium ausbreiten können, indem sie dieses in Schwingung versetzen. Licht hingegen kann sich auch im All über weite Strecken ausbreiten, wo es, wie wir heute wissen, ein Vakuum gibt. Das wird dadurch erklärt, dass Lichtwellen völlig anders funktionieren, als die Wellen, die man bisher kannte. Sie bestehen aus einem elektrischen Feld und einem Magnetfeld, die sich die ganze Zeit gegenseitig erzeugen. Dieses Phänomen kennt man vielleicht vom Transformator, nur das man bei diesem noch einen Eisenkern benötigt, der für Licht nicht gebraucht wird. Aus diesem Grund wird Licht auch als elektromagnetische Welle bezeichnet. Weitere elektromagnetische Wellen sind Röntgenstrahlen, Radiowellen und Mikrowellen. Auch diese bestehen aus einem Magnetfeld und einem elektrischen Feld, die sich gegenseitig erzeugen und dabei ohne Träger mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen, nur haben sie eine andere Frequenz als das für uns sichtbare Licht.

Nun waren also hundert Jahre lang alle mehr oder weniger damit zufrieden, dass das Licht sich wie eine Welle verhält. Doch das sollte sich ändern, als Albert Einstein 1905 zu einer neuen Deutung des Photoeffekts kam, für die er dann schließlich auch seinen Nobelpreis erhielt. Aus den Experimenten von Becquerel schloss er, dass das Licht aus einzelnen Energieportionen bestehen musste, die er Lichtquanten oder auch Photonen nannte. Licht mit einer höheren Frequenz enthält demzufolge energiereichere Lichtquanten und ist deshalb in der Lage, eine hohe Ablöseenergie zu überwinden, während eine erhöhte Lichtintensität nichts an der Energie der einzelnen Quanten ändert. Damit erklärte er, warum bei zu geringer Frequenz kein Photoeffekt stattfindet, selbst wenn man die Intensität des Lichts erhöht. Diese These unterstützte später Arthur Compton, indem er näher untersuchte, was beim Photoeffekt mit den gestoßenen Elektronen passierte und wie das Licht sich verhält, nachdem es Elektronen aus einem Stoff herausgeschlagen hat. Er folgte aus seinen Beobachtungen, dass das Licht

einen Impuls auf das Elektron übertragen hat. Damit widerlegte er erneut die Wellentheorie, denn Wellen in der klassischen Physik können keine Masse und somit auch keinen Impuls haben.

Einstein und Compton behaupteten damit aber nicht, dass das Licht deshalb eindeutig ein Teilchenstrom sein musste, denn sie beriefen sich durchaus auch auf frühere Erkenntnisse wie die von Thomas Young.

Es entstand also eine neue Theorie, die auch einen ganz neuen Bereich der Physik eröffnete: die Quantenphysik. Im Gegensatz zur klassischen Physik unterteilt man dort nicht mehr in Welle und Teilchen, sondern man betrachtet sogenannte Quantenobjekte. Diese verhalten sich in manchen Experimenten wie klassische Teilchen und in anderen wie klassische Wellen, sind aber weder das eine noch das andere. Zu diesen Quantenobjekten zählen außer den Photonen, aus denen das Licht besteht, auch Elektronen und sogar Atome und Moleküle.

Momentan wird noch immer am Welle-Teilchen-Dualismus und dem Doppelspaltexperiment geforscht. Erst im September 2021 haben Thai Huyn Yoon und Minhaeng Cho eine neue Erkenntnis gewonnen: Ob das Lichtquant eher Welle oder eher Teilchen ist, hänge angeblich von der Quelle des Lichts ab. Aber dies ist eine andere Geschichte.

Die Quantenshow

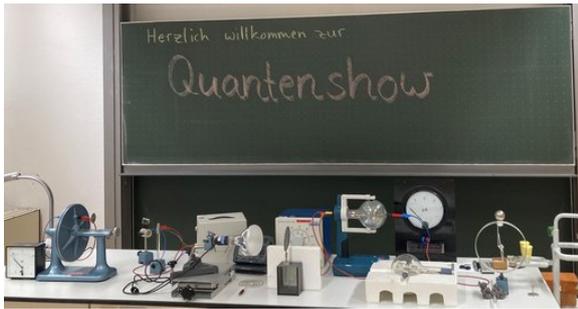
Laura-Franziska Heintz, Emma Weib

Folgende Experimente wurden uns während der Quantenshow gezeigt:

- „Interferenzmuster-Spalt-Gedöns“ bzw. die Interferenzmuster von Einzel- und Doppelspalt
- Elektroskop
- Plattenkondensator
- Funktionsweise des Kathodenstrahloszilloskop
- Nachweis Photoeffekt (mit einer UV-Lampe, die hochenergetische Strahlen versendet)

Scurrile Quantenwelt!

Während der Präsenzzeit in Adelsheim sprachen wir nicht nur über E-Lehre und Solarzellen, sondern machten auch, in Form der sogenannten Quantenshow, einige interessante Experimente zu Licht, Ladungen und technischen Funktionsweisen. Das klassische Einstiegsexperiment zur E-Lehre fehlte natürlich nicht: Der Nachweis von Ladung mit dem Elektroskop ist nun einmal grundlegend.



Der Tisch im Hörsaal steht voller Experimente rund zum Thema Quantenphysik.

Erläuterung des Experiments: Man nehme ein Elektroskop, einen PVC-Stab und ein Katzenfell (obviously am besten ganz frisch und blutig, Spaß) und reibe das Katzenfell an dem PVC-Stab. Dieser wird dann an den „Teller“ des Elektroskops gehalten, das zu sehende Phänomen ist erstaunlich. Der Zeiger dreht sich ohne sichtbaren Antrieb in die Waagerechte, bestätigt jedoch die Annahme, dass Ladungen existieren und sich die Gleichnamigen unter ihnen abstoßen (wir mögen auch die ganzen anderen Lauras und Emmas auf diesem Planeten nicht, aber no offence).

Neben dem Elektroskop setzten wir uns auch z. B. mit den Spektralstreifen, mit deren Hilfe man die Wellenlänge von Licht bestimmen kann auseinander. Die Interferenzmuster, die wir vom Welle-Teilchen-Dualismus kennen, wurden uns ebenfalls anhand von Einzel- und Doppelspalten gezeigt. Uns wurde die Funktionsweise des Kathodenstrahloszilloskops bzw. des Röhrenfernsehers erklärt. Ein großer Plattenkondensator, an den ein Voltmeter angeschlossen war, wurde aufgeladen. Dabei war die elektrische Feldstärke konstant. Als der Kondensator auseinandergezogen wurde, nahm die Spannung zu. Dieses Experiment zeigt den Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und Plattenabstand beim Plattenkondensator.

Hierbei sind wir in viele Gebiete der Physik eingetaucht, gewählt wurden die Versuche anhand unseres Themas, unserer Präsentationen innerhalb des Kurses und der Fragen des Quiz „Jeopardy“.

Jeopardy

EMMA WEIB, JULIA-ELODIE BOLLER

Optik	Mechanik	E-Lehre	Thermodynamik	Atomphysik
100	100	100	100	100
200	200	200	200	200
300	300	300	300	300
400	400	400	400	400
500	500	500	500	500

Grundbild von Jeopardy

„Quiz für den besten Physikkurs der Welt“ – Eigenlob in diesen Text zu schreiben, ist ganz schwierig, aber aller Anfang ist schwer.

Während der Online- und Präsenzzeit in Adelsheim haben wir das Quiz „Jeopardy“ gespielt, welches unsere Schülermentorin Melissa erstellte. Dafür wurde der Kurs in zwei Gruppen aufgeteilt. Man hat abwechselnd zu verschiedenen Themen und Schwierigkeitsgraden Fragen, ohne sie im Voraus zu kennen, gewählt. Wenn die Fragen korrekt beantwortet wurden, erhielt die Gruppe die angegebene Punktzahl. Bei den Themen drehte sich natürlich alles um Physik. Die Themen Optik und Mechanik waren bereits allen geläufig, während E-Lehre, Thermodynamik und Atomphysik teilweise komplett unbekannt waren.

Hier einige Beispiele für Fragen:

Atomphysik: 100

Nenne drei Bestandteile von Atomen.

→ schallendes, überlegenes Lachen der Gruppen

Antwort: Elektronen, Protonen, Neutronen

Thermodynamik: 200

Nenne drei Einheiten für die Temperatur.

→ Achtung! Köpfe runter! Antwort wie aus der Pistole geschossen

Antwort: Kelvin, °Celsius, °Fahrenheit

E-Lehre: 300

Was versteht man unter dem glühelektrischen Effekt?

→ komplette Verzweiflung und Vorwürfe an Melissa, sie solle doch eine so schwierige Frage nicht zu den 300er-Fragen schreiben

Antwort: Der glühelektrische Effekt ist das Phänomen, dass eine glühende Metall- oder Halbleiteroberfläche Elektronen emittiert (abgibt).

Optik: 400

Nenne drei Unterschiede zwischen Photonen und Elektronen.

→ eine ausartende Diskussion innerhalb der Gruppe über den dritten Unterschied

Antwort: Ladung, Masse, Geschwindigkeit

Mechanik: 500

Warum ist die Massenerhaltung kein Erhaltungssatz im klassischen Sinne?

→ angenommene Erklärungsversuche

Antwort: Masse bleibt nicht zwangsläufig erhalten, da sie in Energie umgewandelt werden kann, das passiert z. B. in der Sonne (gemäß der berühmten Formel $E = mc^2$)

Finalfrage

Wie heißen die zwei Kirchhoffschen Gesetze?

→ absolute Enttäuschung der Kursleiter, wie konnten wir das nur vergessen?

Antwort: Knotenregel und Maschenregel

Manchmal wurde Unwissen bedauert und unerwartetes Wissen bewundert. Eine Gruppe kam auch mit Raten ganz gut zurecht.

Jedoch führten beide Gruppen zielorientierte und kreative Diskussionen von großem Ausmaß. Große Rivalitäten spalteten den Physikkurs. Die Versager, die mit dem kleinstmöglichen Abstand von 100 Punkten verloren, waren in ihrem Stolz zutiefst gekränkt und hatten mit Minderwertigkeitskomplexen zu kämpfen. Der Kurs fand nie wieder zusammen. Dies war die tragische *hust hust Geschichte unseres Jeopardy-Quiz.

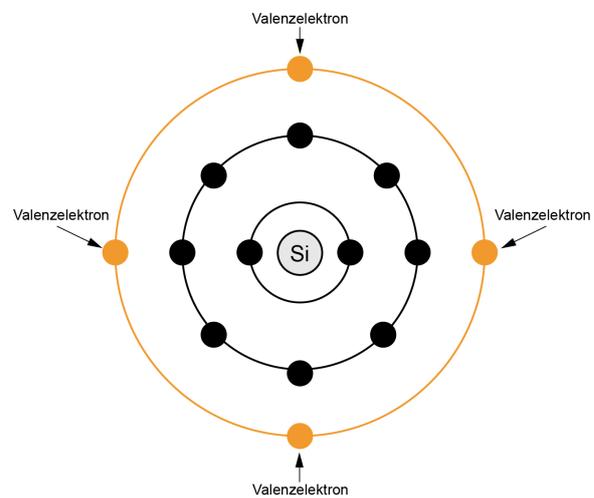
P.S.: Und wer es bei dem *hust hust noch nicht verstanden hat, der möge sich zu Herzen nehmen, dass der Text nicht ganz ernst zu nehmen war.

Vom Halbleiter zum Solartracker

Halbleiter

VINCENT TRÖGER

In der Elektrotechnik werden normale Leiter (oft Kupferkabel) und Halbleiter genutzt. Diese Halbleiter bestehen hauptsächlich aus dem festen Halbmetall Silizium und können abhängig von der Temperatur Strom mehr, weniger oder gar nicht leiten (Isolator). In der Eigenleitung im Siliziumkristall bilden die jeweils vier Valenzelektronen der Atome Elektronenpaarbindungen, sodass der günstige Zustand mit zusammen immer acht Valenzelektronen erreicht wird.

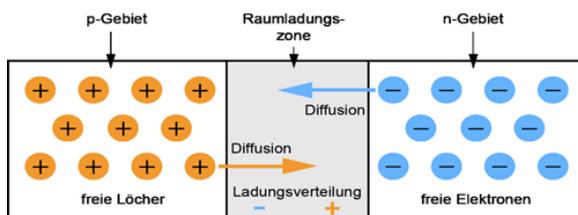


Aufbau eines Silizium-Atoms⁶

Manche Elektronen bewegen sich jedoch und springen aus ihrer Bindung heraus, sie werden nun ein freies, negatives Elektron und hinterlassen ein positiv geladenes Loch. Die freien Ladungsträger können sich nun bewegen und auch wieder neutralisieren (Rekombinationen), sprich sie befinden sich nicht nur in den Valenzbändern der Atomhülle, sondern gehen auch in das Leitungsband und wieder zurück. Die Rede ist hier von dem Bändermodell, welches die Aufenthaltsorte von Elektronen in Bereichen/Ebenen beschreibt. Durch das Anlegen einer äußeren Spannung wandern durch ständige Rekombinationen die Löcher zum Minuspol und die Elektronen zum Pluspol. Mit dieser Anziehung wird Stromfluss ermöglicht.

⁶Abbildung: Enargus (CC BY-SA 3.0 DE)

Durch gezielte Verunreinigung mit Fremdatomen kann man Halbleiter positiv oder negativ dotieren und damit die Leitfähigkeit steuern. Erzeugt wird ein Elektronenmangel durch Elemente mit nur drei Valenzelektronen und ein Elektronenüberschuss durch Elemente mit fünf Valenzelektronen. Diese p- und n-Dotierungen können auch kombiniert werden, dann hat man einen p-n-Übergang. An der Grenzschicht bewegen sich die freien Ladungsträger aufeinander zu und neutralisieren sich (Diffusion aufgrund ständigen Zitterbewegungen). Dadurch entsteht nur erst einmal eine Raumladungszone oder auch Sperrzone genannt mit nur noch festen, durch die Ionisierung unterschiedlich geladenen Atomrümpfen (Atome ohne freie Ladungsträger). Ein elektrisches Feld mit einer Diffusionsspannung ist nun vorhanden, welches die freien Ladungsträger abstößt und dadurch den Stromfluss verhindert.



Vereinfachte, schematische Darstellung des Grenzübergangs⁷

Wenn jedoch eine Spannung angelegt wird, kann die Sperrzone entweder vergrößert oder verkleinert bzw. sogar komplett aufgehoben werden, je nachdem, ob die Ladungsverteilung durch gegenteilige Polung ausgeglichen oder verstärkt wird. Die Durchlass- bzw. Sperrrichtung fungiert also im Prinzip als eine Art Ventil.

Diese Eigenschaft machen sich Dioden, die ein wichtiges elektrisches Bauteil für viele Schaltungen sind, zunutze. Ab einer gewissen Schwellspannung leiten sie Strom, jedoch nur in Durchlassrichtung. Es gibt verschiedene Arten von Dioden, z. B. die Schottky- oder Leuchtdiode welche unterschiedliche Eigenschaften und damit auch spezielle Funktionen haben. Auf jeden Fall begegnen uns im Alltag die LEDs und in nahezu jedem elektrischen Gerät Zener-Dioden (meist für Gleichrichtung von Strom).

⁷Abbildung: Enargus (CC BY-SA 3.0 DE)

p-n-Übergänge werden übrigens auch in Transistoren oder konventionellen Solarzellen genutzt. Halbleiter, unabhängig von ihren interessanten Leitvorgängen, sind folglich sehr wichtig für die Elektrotechnik.

Andere Arten von Solarzellen vs. konventionelle Solarzelle

LAURA-FRANZISKA HEINTZ,
JULIA-ELODIE BOLLER

Status quo: die konventionelle Solarzelle

Die konventionelle Solarzelle, die die meisten kennen und die auf vielen Dächern vorzufinden ist, ist die Silizium-Solarzelle. Sie beruht auf dem Prinzip des photovoltaischen Effekts. Durch p- und n-Dotierung der Siliziumschichten gelangen Ladungsträger zum Verbraucher.

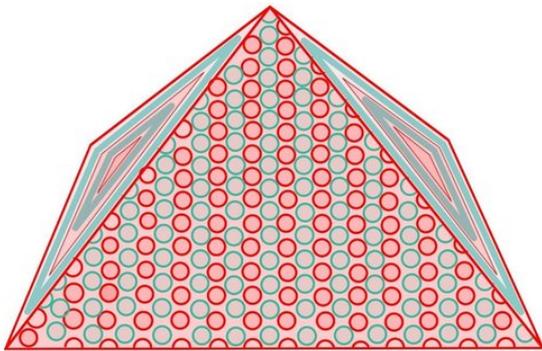
Res futurae: Quantenpunkt-Solarzelle

Bevor wir uns der Funktionsweise der Quantenpunkt-Solarzelle widmen, werden wir zuerst klären, was Quantenpunkte eigentlich sind. Quantenpunkte, auch Quantum Dots (QD) genannt, sind eine nanoskopische Materialstruktur, in der zwischen 1000 und 10.000 Atome pyramidenartig angehäuft sind. Sie bestehen meistens aus Halbleitermaterial und sind 5 bis 20 nm groß. Das ist zur Vorstellung ein Haardurchmesser geteilt durch 1000. Ein Atom ist zum Vergleich 0,1 bis 0,5 nm groß.

Bei Verkleinerung von Stoffen auf Nanoebene ändert sich das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen. Sie haben im Verhältnis zum Volumen eine riesige Oberfläche. Die Stoffeigenschaften ändern sich folglich auch, z. B. sinkt die Schmelztemperatur oder die Farbe ändert sich. Quantenpunkte verhalten sich ähnlich wie Atome, sie sind aber in Form, Größe und Anzahl der enthaltenen Elektronen beeinflussbar. Man kann sich sozusagen seinen eigenen Quantenpunkt maßschneidern, was sich in der Herstellung zu Nutze gemacht wird.

Es gibt mehrere Methoden zur Herstellung, welche sehr billig sind. Eine Methode ist die Epitaxie.

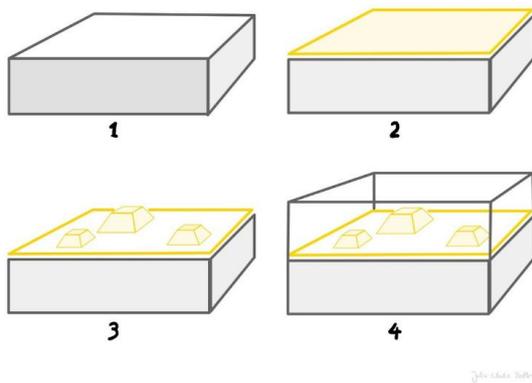
Quantenpunkt



Pyramidenförmiger Aufbau eines Quantenpunktes, Zeichnung von Julia-Elodie

In einer Epitaxie-Anlage werden bei Temperaturen von einigen hundert Grad Celsius die einzelnen Bestandteile in molekularer Form auf die Basis geleitet, welche aus einem Halbleitermaterial wie z. B. Silizium besteht, geleitet. Das Molekül zerfällt bei der hohen Temperatur der Basis in einen gasförmigen Bestandteil und in Atome, welche sich an die Oberfläche anlagern und eine chemische Bindung eingehen. Die neuen Atome übernehmen dabei die Kristallstruktur der Unterlage und setzen diese regelmäßig fort. Wird ein Halbleiter als Unterlage genutzt, so speichert die Atomlage Energie. Nach nur wenigen Atomlagen – oft zwei bis drei – entstehen die wenigen Nanometer großen, dreidimensionalen Strukturen.

Entstehung von Quantenpunkten



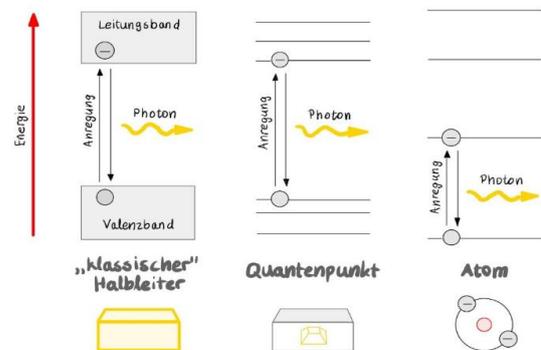
Herstellung von Quantenpunkten durch Epitaxie, Zeichnung von Julia-Elodie

Quantenpunkte werden heute zum Beispiel als Leuchtfarben in den Displays von QLED Bildschirmen oder eben als Solarzelle genutzt.

Eine Quantenpunkt-Solarzelle ist ein Solarzellen-Design, das Quantenpunkte als absorbierendes, photovoltaisches Material verwendet. Die möglichen Energiezustände der Ladungsträger bilden in Halbleitern Energiebänder. Von besonderer Bedeutung sind das Valenzband und das Leitungsband. Diese beiden Bänder sind energetisch durch eine Bandlücke getrennt, in welcher sich keine Ladungsträger aufhalten können. Absorbiert der Halbleiter ein Photon, so wird ein Elektron aus dem Valenzband in das Leitungsband angehoben. Dadurch fehlt nun im Valenzband ein Elektron. Das bezeichnet man als „Loch“. Das Loch kann sich im Valenzband räumlich bewegen. Es ist also eine Art gedachtes Teilchen mit ähnlichen Eigenschaften wie ein Elektron, nur dass es eine positive Ladung trägt. Ein Exziton (Elektron-Loch-Paar) ist entstanden.

In einem klassischen Halbleiter sind die möglichen Energiezustände der Ladungsträger in den Energiebändern kontinuierlich verteilt. Der Quantenpunkt begrenzt die Bewegungsfreiheit dieser Ladungsträger in alle drei Raumrichtungen aufgrund seiner Größe. Folglich führen die Gesetze der Quantenmechanik aufgrund der geringen räumlichen Ausdehnung jedoch zu diskreten Energieniveaus: Dies bewirkt, dass das Band kein Band mehr ist, sondern eine Menge von einzelnen Linien, auf denen sich die Energien der Elektronen befinden dürfen. Ein Quantenpunkt verhält sich also wie eine Art riesiges Atom, auch dort dürfen Elektronen nur bestimmte Energieniveaus einnehmen.

Vergleich der Energiezustände



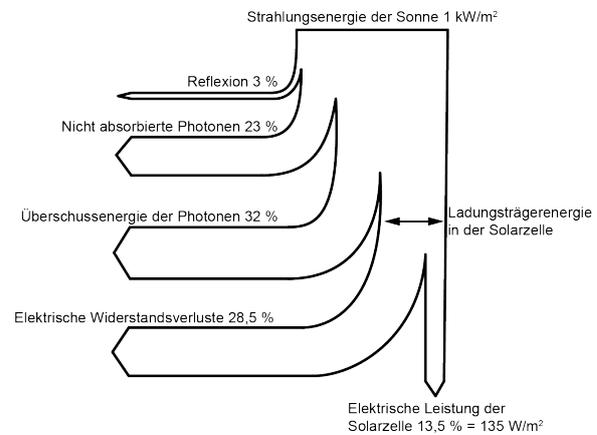
Schematische Darstellung der Energieniveaus, Zeichnung von Julia-Elodie

Kontinuierliche und diskrete Energieniveaus senden unterschiedliche Spektren aus. Heiße Materialien wie eine Glühwendel oder die Sonne senden in der Regel ein kontinuierliches Emissionsspektrum aus. Untersucht man ein solches Spektrum mit einem Prisma oder einem Spektrometer, stellt man fest, dass bei einem solchen kontinuierlichen Spektrum die verschiedenen Farben von rot bis violett nahtlos ineinander übergehen. Diskrete Emissionsspektren, auch Linienspektren genannt, sind die Folge davon, dass Atome nur diskrete Energieniveaus annehmen können. Diese bestehen in der Regel aus mehreren einzelnen Linien, die voneinander getrennt sind. Diese Linien spiegeln sich dann auch Energiebändern der Quantenpunktsolarzelle wider.

Die Quantenpunkt-Solarzellen sollen effizienter sein, da sie den Wellenlängenbereich effektiver ausnutzen und dadurch mehr Exzitonen entstehen als in den bisherigen Solarzellen. Die Anregungsenergie der Exzitonen liegt im kurzweligen (blauen/violetten) Bereich. Um diese Art von Solarzellen noch effektiver zu machen, soll ein größerer Anteil des Sonnenspektrums nutzbar gemacht werden durch verschieden große Quantenpunkte. Bei einem Durchmesser von 5,6 nm hat man bis jetzt die höchste Effizienz festgestellt. Je kleiner die Quantenpunkte sind, desto längerwelliges Licht (und damit ein größerer Anteil des Spektrums) kann die Elektronen anregen.

Gelänge es, noch größere Teile des Sonnenspektrums für die Exzitonenerzeugung zu nutzen, wäre das die Chance für eine Revolution in der Solartechnik. Diese Solarzellen haben theoretisch höhere Wirkungsgrade als Silizium-Solarzellen. Man kann aber auch beide verbinden, was sehr geschickt wäre, da Silizium-Zellen langwelliges und Quantenpunkt-Solarzellen kurzwelliges Licht nutzen: Arthur Nozik hat 2011 erstmals an der University of Colorado mit anderen Forschern eine Quantenpunkt-Zelle hergestellt, deren Effizienz bei über 100 % liegt, sie erzeugt mehr Ladungsträger als Photonen auftreten, da durch ein Photon mehr als nur ein Exziton anregen kann. Dennoch bleibt der Wirkungsgrad bei unter 26 %, da nicht alle Energie der Photonen in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Diese Solarzelle

ist eine Kombination aus einer konventionellen Solarzelle mit einer Schicht aus Bleiselenid-Quantenpunkten.



Verluste einer Solarzelle, exemplarisch einer Silizium-solarzelle⁸

Nanopartikel sind für unser Auge nicht wahrnehmbar. Man könnte also Quantenpunkt-Solarzellen nahtlos in die Infrastruktur einbauen z. B. eine Fensterreihe von Wolkenkratzern mit Quantenpunkten beschichtet oder auch gleich die ganze Fassade. Man könnte sie außerdem auf Autos auftragen, da sie auf fast allen Oberflächen haften und sogar bei schwächerer Sonneneinstrahlung arbeiten.

Nanotechnologie hat generell ein riesiges Potenzial und könnte zu umweltfreundlichem Leben beitragen. Theoretisch bekommen wir an einem Tag genug Sonnenenergie, um die ganze Welt für ein Jahr mit Strom zu versorgen. Momentan gibt es jedoch wirtschaftliche und technische Hindernisse, z. B. wurde die Technik noch nicht genug optimiert, um in der Praxis den hohen Wirkungsgrad zu liefern. Außerdem ist das enthaltene Blei giftig.

Res futurae: Perowskit-Solarzellen

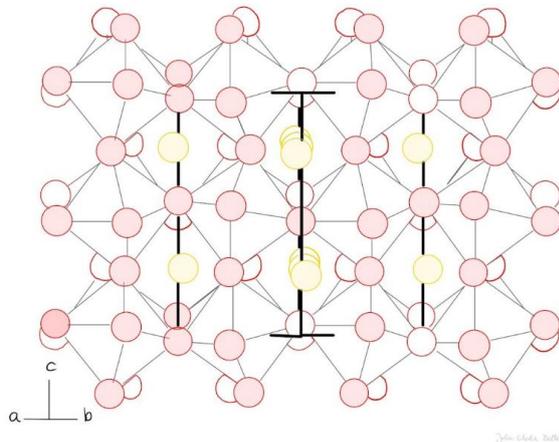
Neben den Quantenpunkt-Solarzellen hat sich eine weitere Solartechnologie als zukunftsfähig erwiesen: die Perowskit-Solarzellen.

Perowskit ist ein relativ häufiges Mineral aus Calcium-Titan-Oxid. Der Begriff Perowskit-Struktur bezieht sich auf eine Kristallstruktur, die im namensgebenden Perowskit jedoch nicht

⁸Enargus (CC BY-SA 3.0 DE)

vorhanden ist. Perowskit beschreibt also auch alle Materialien mit derselben Kristallstruktur. Sie sind u.a. supraleitend und photovoltaisch.

Kristallstruktur von Perowskit



Die Perowskit-Struktur, Zeichnung von Julia-Elodie

Bei einer klassischen Perowskit-Solarzelle ist der Absorber der Sonnenstrahlung das Perowskit. Es ist zwischen dem Elektronenleiter und dem Lochleiter platziert. Das Photon trifft auf das Perowskit und das Elektron wird angeregt. Der Elektronen- bzw. Lochleiter sorgt dafür, dass die Elektronen zur unteren Elektrode über den Elektronenleiter und die Löcher zur oberen Elektrode über den Lochleiter abtransportiert werden. Als Lochleiter kommen organische oder nicht organische Stoffe zum Einsatz, als Elektronenleiter Titandioxid oder eine bestimmte Art von Kohlenstoffmolekülen.

Eine weitere Variante ist die Perowskit-Solarzelle mit Kohlenstoffarchitektur. Hier besteht der Elektronenleiter aus zwei Schichten Titandioxid. Der Lochleiter fehlt. Die Löcher werden stattdessen von einer porösen, elektrisch leitenden Kohlenstoffschicht, bspw. aus Grafit, zum positiven Pol geleitet. Das Perowskit bildet hier keine abgeschlossene Schicht, sondern es durchdringt die Solarzelle bis zum Elektronenleiter wie Kaffee, den man auf Zucker träufelt. Die Isolatorschicht ist nötig, damit die Löcher im Kohlenstoff nicht mit den Elektronen im Titandioxid rekombinieren können. Die Basis ist eine Glasscheibe, die mit fluordotiertem Zinnoxid beschichtet ist, das elektrisch leitend ist und den negativen Pol

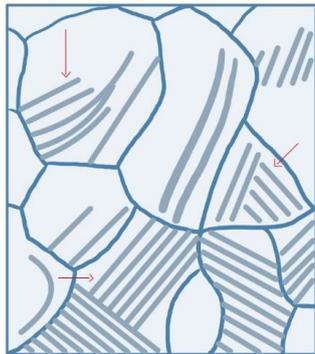
der Solarzelle bildet. Oben wird die Solarzelle ebenfalls von einer schützenden, versiegelten Glasschicht abgeschlossen.

Die Solarzelle ist in einer Stärke von 1 Mikrometer auftragbar, biegsam und durchsichtig. Dadurch wäre ein Einbau in die Infrastruktur sehr ähnlich wie bei den Quantenpunkt-Solarzellen möglich. Weitere Vorteile sind, dass sie sehr günstig sind für 20 -30 ct/Watt, da sie keine seltenen Rohstoffe brauchen und bei Raumtemperatur hergestellt werden können. Die Forschung kommt sehr gut voran, in nur 4 Jahren wurde der Wirkungsgrad von 4 % auf 22,1 % in 2016 gesteigert.

Die hohe Effizienz kommt von den elektrischen Feldern über die sich die Ladungsträger so schnell zu den Elektroden bewegen können. Am Karlsruher Institut für Technologie wurden die Perowskite mit einer besonderen Rasterkraft-Mikroskopietechnik vermessen und dabei wurden in den lichtabsorbierenden Schichten ferroelektrische Nanostrukturen nachgewiesen, diese Streifen. Ferroelektrizität bedeutet, dass Kristalle eine elektrische Polarisierung besitzen. Dabei bilden die ferroelektrischen Kristalle Bereiche mit gleicher Polarisationsrichtung, sogenannte Domänen. Die Karlsruher Wissenschaftler beobachteten, dass der Perowskit rund 100 Nanometer breite streifenförmige ferroelektrische Domänen mit sich abwechselnden elektrischen Feldern bildet. Diese alternierende elektrische Polarisierung im Material könnte eine entscheidende Rolle beim Transport der Ladungen zu den Elektroden spielen und somit die besonderen Eigenschaften der Perowskite in der Photovoltaik erklären. Nach derartigen Strukturen suchen Forscher schon seit Jahren, um den Wirkungsgrad von Solarzellen zu verbessern. In Perowskit-Solarzellen entstehen diese Strukturen unter gewissen Bedingungen von selbst.

Nachteile sind z. B., dass sie sich bei UV-Einstrahlung und Wasserkontakt zersetzen und nach ca. drei Wochen 20 % weniger Effizienz zeigen, was bei Siliziumsolarzellen erst nach 10 Jahren passiert. Also ist noch jahrelange Optimierung nötig, in denen die Rohstoffpreise steigen könnten oder das giftige Blei verboten werden könnte. Einen Ersatz könnte Zinn

ferroelektrische Nanostrukturen in der Perowskit-Solarzelle



Ferroelektrische Nanostrukturen in einer Perowskit-Solarzelle, Zeichnung von Julia-Elodie

bieten, das jedoch oxidiert und dessen Kristallstruktur deshalb verloren geht. Als große Chance wird eine Tandem-Solarzelle gesehen, eine Kombination aus Silizium- und Perowskit-Solarzelle.

Im Weltraum sollen die Perowskit-Solarzelle nun die konventionellen Solarzellen ersetzen. Diese sind nämlich schwer und teuer. Sie liefern um die 3 Watt pro Gramm, während das Perowskit 30 Watt pro Gramm liefern könnte. 2020 war ihr Testflug ins All. Die Kampagne Mapheus-8 des DLR schoss am 13.6.2020 ihre Rakete mit den Perowskit-Solarzellen an Bord ins All. Sie startete in Nordschweden. Die Rakete wurde in Umlaufbahnhöhe ca. 240 km gebracht und ein 8-min Parabelflug wurde durchgeführt. Man wollte testen, ob die Zellen den schweren Bedingungen im All gewachsen sind. Die Mission war ein voller Erfolg; die Zellen erzeugten Strom auch bei diffusem Licht einfall und sogar sonnenabgewandte Zellen, die während des Fluges vom reflektierten Licht der Erde nur spärlich beleuchtet wurden, lieferten Strom. Damit wären z. B. auch Missionen ins äußere Sonnensystem möglich, wo die Sonne für herkömmliche Weltraum-Solarzelle zu schwach wird.

Perowskit-Solarzellen können zu Textilien verwoben werden. In den Fasern haben sie zwar nur einen Wirkungsgrad von 3%, das eignet sich aber für kleinere Geräte ganz gut. Sie bestehen aus Schichten unterschiedlicher Materialien, die sozusagen die Solarzelle widerspiegeln.

Das halbleitende Titandioxid bildet die Anode, Kohlenstoffnanoröhren die Kathode, dazwischen das Perowskit. Man könnte die Fasern auch in Raumanzüge einweben.

Vergleich – Stand 2021

	Perowskit-Solarzelle	Quantenpunkt-Solarzelle	Silizium-Solarzelle
Wirkungsgrad	25,2 %	16,6 %	15–22 % (max. 25,6 %)
Preis pro Watt	20–30 ct/W	keine Angabe	22–170 ct/W
Gewicht (1 Modul)	≈ 2 kg	≈ 2 kg	17–22 kg
Optimierung seit	2008	2010	1953
Temperatur bei Herstellung	22 °C	≈ 300 °C	1700 °C
Industrielle Umsetzung	nein	nein	ja

Fazit

Unsere Solartechnik ist definitiv ausbaufähig, denn die Silizium-Solarzellen sind teuer, vergleichsweise ineffizient, unhandlich, brauchen seltene Rohstoffe und haben eine komplizierte Herstellung. Zwei der Alternativen zu Silizium bieten Perowskit und Quantenpunkte. Perowskit ist eine Kristallstruktur und Quantenpunkte eine nanoskopische Materialstruktur, die beide für Solarzellen genutzt werden können. Im Labor versprechen sie hohe Wirkungsgrade, indem die Quantenpunkte den Wellenlängenbereich effizienter ausnutzen aufgrund ihrer Größe im Nanobereich und mehr Exzitonen entstehen. Die Perowskite erreichen dies durch die entstehenden elektrischen Felder, über die die Ladungsträger schneller zu den Elektroden transportiert werden. Momentan sind sie noch nicht konkurrenzfähig zu den Silizium-Zellen. Bei weiterer Optimierung für die Industrie werden sie aber bestimmt in wenigen Jahren auf

den Markt kommen, auch wenn sie die Siliziumzellen, wenn überhaupt, erst einmal nicht verdrängen werden. Im Weltall könnte durch weitere Optimierung jedoch ganz auf Perowskit-Zellen gesetzt werden. Ein rascher Einbau von Solarzellen in die Infrastruktur ist sehr wichtig, um noch viele Jahrzehnte auf der Erde leben zu können und dafür bieten Quantenpunkt und Perowskit-Solarzellen die eleganteste Option.

Versuche mit großen Solarzellen

PIA SCHILDE, FRANZISKA WOLZ

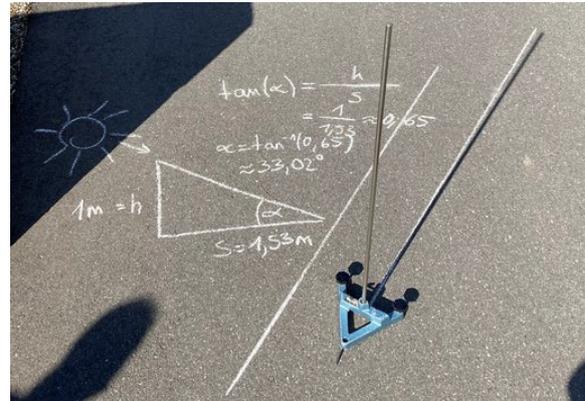
In Adelsheim führten wir verschiedene Experimente durch, für die wir alle unsere kleinen baugleichen Solarzellen (2 V bzw. 5,5 V) zu einem großen Solarmodul auf einem Holzbrett zusammenschalteten.



Das gute Wetter in Adelsheim nutzen wir, um die Solarmodule unter freiem Himmel zu basteln und zu testen – „live und in Farbe“.

Mit diesem Solarmodul maßen wir zum Beispiel, wie sich die Leistung in unterschiedlich belasteten Stromkreisen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln zur Sonne verhält. Dafür schlugen wir einen Nagel senkrecht ins Holzbrett und maßen beim Drehen des Solarmoduls in horizontale und vertikale Richtung, wie sich

die Leistung zur entstandenen Schattenlänge des Nagels verhält.



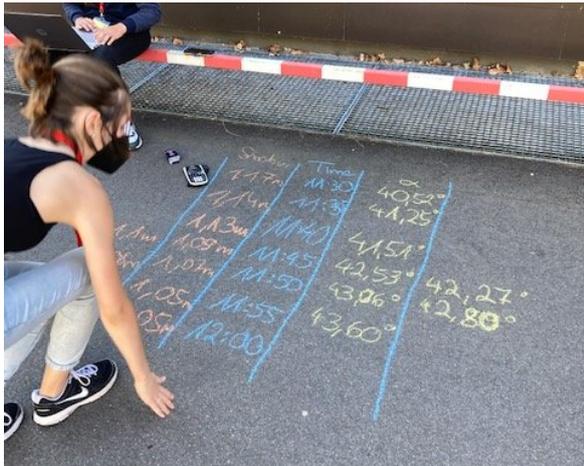
Mit einem Schattenstab bestimmten wir experimentell den Einfallswinkel der Sonnenstrahlung.



Das Prinzip zur Winkelbestimmung mit dem Schattenstab setzten wir mit einem kleinen Nagel, den wir senkrecht in das Holzbrett schlugen, praktisch um. Man sieht den Nagel auf dem Brett unten rechts.

Dabei fiel uns auf, dass die Leistung bei einem senkrechten Einfall der Sonne auf das Solarmodul am größten ist.

Außerdem fanden wir heraus, dass die größtmögliche Leistung mit einem Lastwiderstand von 100 Ohm erbracht werden kann. Bei einem Lastwiderstand von 10 Ohm und 1000 Ohm ist die erbrachte Leistung deutlich geringer. In einem weiteren Experiment fanden wir heraus, wie sich die Leistung des Solarmoduls verhält, wenn man unterschiedliche Bereiche des Solarmoduls abdeckt. Hierbei war bemerkenswert, dass die Leistung beim Abdecken einer einzelnen Solarzelle drastisch abfällt und bei jeder weiteren Solarzelle nur noch ein bisschen. Daraufhin fragten wir uns, ob es nicht



Die Messwerte notierten wir mit Kreide auf dem Parkplatz.

ziemlich ineffizient sei, wenn auf einem Haus eine einzige Solarzelle abgedeckt/abgeschattet werde und daraufhin fast keine Leistung mehr erbracht werden könne. Nach kurzer Recherche fanden wir heraus, dass in der Realität bei auf Dächern montierten Solarzellen Bypass-Dioden verwendet werden, um dieses Problem zu lösen. Diese sorgen dafür, dass der Stromfluss die Solarzelle umgehen kann, in der der Widerstand durch Abschattung so stark erhöht wurde.



Eines der beiden selbstgebaute Solarmodule lieferte bei senkrechtem Lichteinfall eine Spannung von 28,3 V.

Der Solartracker

FINN REINHARDT, ANTON WALZ

Schon relativ früh kam uns eine Idee, die uns alle viel beschäftigte. Wie wäre es denn, wenn



Experiment zum Abdecken einzelner Solarzellen

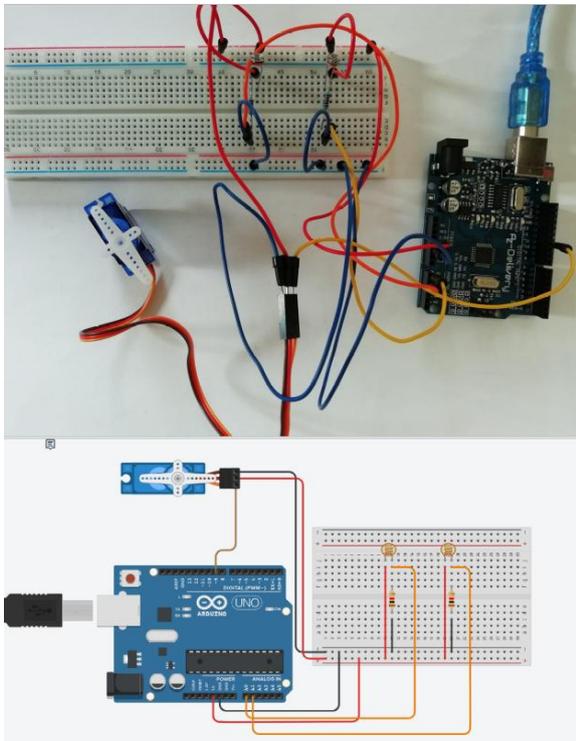
man nicht eine starre, sondern eine bewegbare Solarzelle hätte? Diese hat schließlich, wie wir bei verschiedenen Versuchen gemessen haben, eine deutlich höhere Leistung. Dieser Solartracker, unsere Vision, ist im Prinzip ein Gestell, dass die Sonne verfolgt. Es kann sich in zwei Achsen, nach oben/unten (Elevation) und nach rechts/links (Azimut) bewegen. So kann man die Solarzelle immer perfekt ausrichten.



Und nach einigen erfolgreichen Messungen war es Zeit für eine Pause.

Das Ganze funktioniert dann mit zwei Servo- oder Schrittmotoren, die von einem program-

mierten Computerchip, in unserem Fall dem Arduino, gesteuert werden. Damit dieser aber auch genau weiß, wohin er sich drehen muss, befinden sich auf dem Solartracker zusätzlich mehrere sogenannte LDRs. LDRs, die „Light dependent resistors“, sind lichtabhängige Widerstände. Sie reagieren also auf die Helligkeit des Lichts, indem sich deren Widerstand verändert, in diesem Fall durch das Licht der Sonne, damit der Arduino weiß, wohin er sich drehen muss. Insgesamt werden mindestens vier solcher LDRs verbaut, in jeder Richtung einer; wegen naheliegenden Messfehlern, Anfälligkeit der Bauteile und anderem werden in der Realität aber deutlich mehr benutzt.



Ein erster Prototyp mit nur einem Servomotor und zwei LDRs auf dem Breadbord.

Wenn man, wie schon beschrieben, in allen vier Richtungen LDRs hat, hat man jede Richtung abgedeckt und das Gerät kann sich in jede Richtung ausrichten. Ist es zum Beispiel bei den lichtabhängigen Widerständen rechts oben am hellsten, weiß der Computer, er muss das Gerät nun etwas nach oben rechts bewegen. Um die Seiten voneinander abzuschirmen und für ein klareres Ergebnis haben wir noch eine Scheidewand eingebaut, die wie eine Wand zwischen den LDRs ist.

Natürlich hatten wir zu Beginn noch gar keine Ahnung, ob und wie gut das alles denn funktionieren werde. Also bauten wir aus unseren vielen kleinen Solarzellen eine große, an der alles simuliert wurde. Auch nahmen wir damit unsere vielen Messungen auf, die man dazu brauchte. Das reichte von den Einfallswinkeln, der Sonnenbewegung und der maximalen Spannung bis hin zu ihrem Arbeitspunkt und diversen anderen Rechnungen, die daraus folgerten. Wie schon vermutet kann sich so ein Solartracker definitiv rechnen und ist somit sinnvoll, was aber auch wiederum alles davon abhängt, wie groß das Gestell ist oder welche und wie viele Solarzellen man benutzt. Nun kann die Sonne den ganzen Tag über mit einem maximalen Einstrahlungswinkel von möglichst 0° zum Lot einstrahlen, also senkrecht auf die Solarzelle, wodurch man auch das maximale aus dem Licht, das zur Verfügung steht, herausholt.



Beim Programmieren . . .

Das Gerät soll natürlich immer die maximale Ausbeute erlangen, weshalb es sich schließlich den ganzen Tag mit der Sonne mit dreht und das somit erreicht. Um noch effizienter zu werden, wäre es auch geschickt, wenn man nicht nur eine, sondern möglichst viele Solarzellen darauf befestigt.

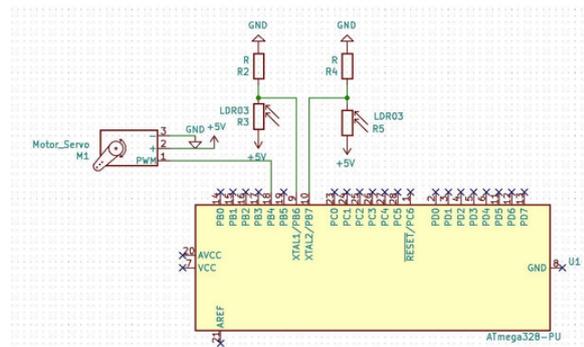
Wie schon angesprochen steuert dies der Arduino, der aber vorher noch programmiert werden muss. Die Spannungsquelle für jenen ist klassisch das Stromnetz. Im ersten Moment meint man vielleicht, das alles lohne sich gar nicht durch den hohen Stromverbrauch, den die Motoren und der Minicomputer haben. Aber damit liegt man falsch, denn der Arduino benötigt sowieso nur sehr wenig Strom und die

Motoren haben im Vergleich zum gewonnenen Strom einen deutlich geringeren Verbrauch und natürlich wird noch ein Getriebe verbaut, das das auch nochmal ins Positive zieht.



... und manchmal auch auf Fehlersuche.

Für das Programm benutzt der Computer die Ausgaben der LDRs, weiß dann, wo es gerade am hellsten ist, und wird sich etwas in diese Richtung drehen. Beide Motoren werden dann angesteuert und bewegen sich. Im Normalfall würde sich nun der Tracker ständig hin und her drehen, weil nahezu nie die Werte der Sensoren genau übereinstimmen, weshalb man hier eine Toleranz einbaut, die das verhindert und grob aussagt, dass die Photowiderstände nicht genau den gleichen Widerstand, sondern nur einen relativ ähnlichen haben müssen.



Reale Schaltung mit Breadboard

Dadurch kann man einiges an Energie einsparen, wie auch wenn der Arduino nicht jede Sekunde, sondern zum Beispiel nur alle 5 Minuten misst, einen Wert aufnimmt, diesen verarbeitet, seinen Befehl ausgibt und sich passend ausrichtet. Auf diese Weise müssen sich die Motoren um einiges weniger bewegen, und der Verbrauch sinkt enorm.

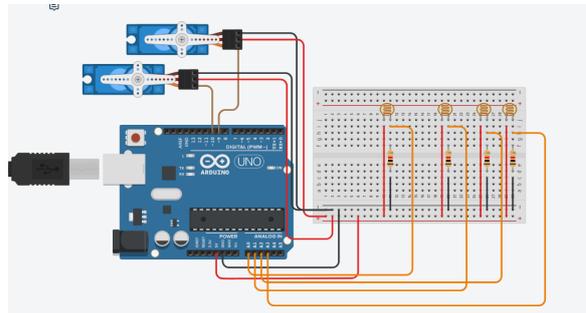
```
#include <Servo.h> // importiere ServoLibrary
Servo S1; // Servo heißt S1
int winkel = 90;
int Lu = A0;
int Ru = A1;
int toleranz = 50; // die Variablen werden deklariert

void setup() { // Servo ist auf Pin 11
  S1.attach(11);
  pinMode(Lu, INPUT); // LDRs deklarieren
  pinMode(Ru, INPUT); // stelle Servo auf Position winkel
  S1.write(winkel);
}

void loop() {
  int LdrL = analogRead(Lu); // lies die LDRs aus
  int LdrR = analogRead(Ru); // nimm die Differenz von den LDRs unten
  int diff = abs(LdrL - LdrR); // falls die Differenz kleiner als dar
  if ((diff <= toleranz)) {} // Toleranzwert ist, mache nichts
  // ansonsten tue folgendes
  // wenn der linke LDR heller ist, verringere
  // "Winkel" (drehe später nach links)
  else {
    if (LdrL > LdrR) {
      winkel = --winkel;
    }
    else {
      // ansonsten (rechter LDR wäre dann heller)
      // vergrößere "Winkel" (drehe später nach rechts)
      winkel = ++winkel;
    }
  }
  if (winkel > 175) { // wenn der Servo weiter als 175 Grad ist,
    // verringere die Variable wieder um 1
    winkel = --winkel;
  }
  if (winkel < 5) { // wenn der Servo unter 5 Grad ist, vergrößere
    // die Variable wieder um 1
    winkel = ++winkel;
  }
  S1.write(winkel); // stelle jetzt den Servo auf den neuen Winkel
  delay(15); // warte 0,15 s
}
```

Vorläufiger Code mit der einachsigen Ausrichtung

Bisher haben wir das Ganze nur in klein aufgebaut und mit dem 3D-Drucker ausgedruckt. Die naheliegende Optimierung des Solartrackers ist die vertikale Ausrichtung zur Sonne hin, dazu wird mindestens ein weiterer LDR eingebaut, welcher auch mit Trennwänden abgeschattet ist.



Optimierte Schaltung in Tinkercad mit Azimut

Eine andere Optimierung wäre die Verwendung von Quantenpunkt- oder Perowskitsolarzellen oder die Verwendung von Gleichstrommotoren, welche mehr Kraft haben, um evtl. ein größeres Solarmodul der Sonne nachzuführen. In Zukunft könnte man aus diesem Projekt auch noch Realität werden lassen – statt einem Modell ein richtig großer Prototyp in Originalgröße. Er sollte dann auch praktisch in Einsatz kommen und wirklich in größeren Mengen elektrischen Strom liefern. Des weiteren würde er selbstverständlich weiterentwickelt werden und könnte vielleicht eines Tages in Serie produziert werden und damit einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende bringen.



Zwei Minimodelle des Solartrackers

Gesellschaftliche Aspekte

Wie retten wir die Welt?

VERA BERTSCH, JULIA-ELODIE
BOLLER, EMMA WEIß

Mit dieser spannenden Einstiegsfrage begann für uns das Eröffnungswochenende. In drei Gruppen überlegten wir uns verschiedene Antwortmöglichkeiten, wobei die Art der Vorschläge völlig uns selbst überlassen blieb. Während zwei Gruppen sich vor allem mit der Reduzierung der Treibhausgasemissionen auf der Erde beschäftigten, fokussierte sich die dritte Gruppe auf die Problematik des zunehmenden Welt- raumschrotts. Das Brainstorming betrieben wir dabei über das „Miro-Board“ und formulierten es später als Textdokument aus, das man auf der Homepage der Science Academy ansehen kann⁹.

Die zahlreichen Lösungsansätze teilten wir hierfür in größere Kategorien ein, welche nun näher erläutert werden.

⁹https://www.scienceacademy.de/images/archiv/2021/Wie_rennen_wir_die_Welt.pdf

1. Landwirtschaft

Das größte Problem, das wir hierbei sahen, war die Fleischproduktion. Für den Futteranbau und die Weideflächen wird sehr viel Fläche benötigt, weshalb oft auch Wälder abgeholzt werden. Außerdem wird besonders bei der Rinderhaltung viel Methan ausgestoßen, was als Treibhausgas deutlich mehr Wirkung zeigt als CO₂. Deshalb kann man zum Klimaschutz beitragen, indem man weniger Fleisch konsumiert und besonders auf Rindfleisch eher verzichtet. Die CO₂-Emissionen, die beim Transport von Lebensmitteln ausgestoßen werden, kann man verringern, indem man regional und saisonal einkauft.

2. Verkehr

Der öffentliche Nah- und Fernverkehr muss weiter ausgebaut werden, damit jeder die Möglichkeit bekommt, häufiger auf das Autofahren zu verzichten. Mit ÖPNV-Abgaben könnte man außerdem dessen Attraktivität steigern, da die Fahrten dadurch billiger oder sogar kostenlos werden würden. Flugpreise sollten erhöht werden und ein Streckenminimum würde dafür sorgen, dass bei kurzen Strecken eher auf Züge o. ä. zurückgegriffen wird. Auf längere Sicht gesehen lohnt es sich auch, (mit Ökostrom betriebene) Elektroautos weiterzuentwickeln und an Wasserstoffautos zu forschen.

3. Haushalt

Das Heizen von Wohnräumen macht einen großen Teil der CO₂-Emissionen aus, welche durch gute Isolierung und Heizen mit Wärmepumpen verringert werden können. Um den in Haushalten verursachten Müll zu reduzieren, kann man Waren gebraucht einkaufen und Wegwerfprodukte vermeiden. Ebenfalls sollte auf Mülltrennung geachtet werden, sodass möglichst viel recycelt werden kann. Eine Verpflichtung für Solaranlagen würde dafür sorgen, dass viel mehr Strom umweltfreundlich produziert wird.

4. Politik

Für eine langsame Umsetzung von Projekten und Zielen sorgt hier der fehlende Tatendrang und die Bürokratie. Ein unabhängiges Komitee könnte die Einhaltung von beschlossenen Zielen überwachen. Außerdem sind viele Klimaziele bisher zu mild, als dass sie einen großen Einfluss auf den Klimawandel hätten. Es ist wichtig, allen Menschen Zugang zu seriösen Informationen zu geben, sodass der Klimawandel in das Bewusstsein der Menschen gelangt.

5. Erneuerbare Energien

Außer der von uns thematisierten Solarenergie gibt es noch die Möglichkeiten der Wind- und Wasserkraft sowie Biogas und Geothermie. Diese sind nicht nur klimafreundlicher als fossile Energien, sondern auch ortsunabhängig und theoretisch unbegrenzt verfügbar. Allerdings sind einige dieser Energiequellen wetterabhängig, weshalb man bei deren Ausbau auch auf die Speicherung der Energie achten muss.

6. Städte

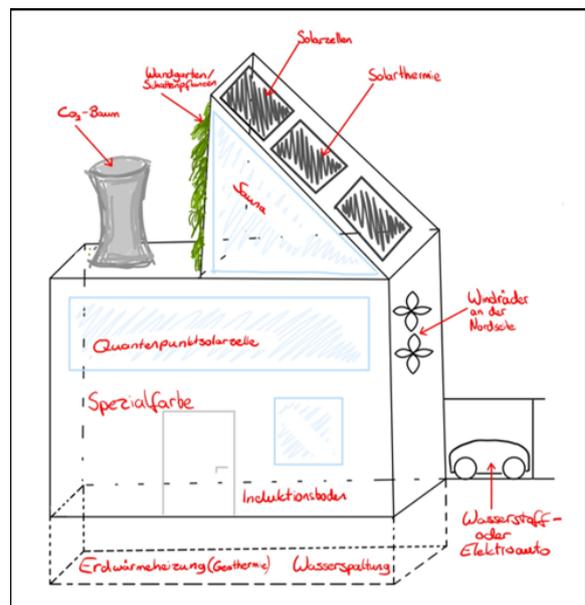
Unter diesem Punkt haben wir einerseits die Begrünung der Städte zusammengefasst und andererseits die Effizienz in Bezug auf Heizen, Platznutzung etc. Bei der Begrünung sind zwei Aspekte die Vertikalgärten und der „künstliche Baum“.

7. Weltraumschrott

Die Kleinteile im Orbit erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 25 000 km/h und stellen damit nicht nur für funktionierende Satelliten eine Gefahr dar, sondern auch für die ISS und für Astronauten. Auf Dauer verhindert der Weltraumschrott so den Start von neuen Raketen und könnte irgendwann zum Ende der Raumfahrt führen. Ein zerstörter Satellit kann beim Zusammenstoß mit einem Funktionierenden eine Kettenreaktion auslösen. Durch Harpunen, Elektromagnete oder Netze könnte man diese kaputten Teile zerstören oder aus dem Orbit entfernen. Genauere Berechnungen der Flugbahnen könnten das Zusammenstoßen zweier

funktionierender Satelliten verhindern. SpaceX stellt außerdem wiederverwertbare Raketen her, die nicht nach einmaligem benutzen als Weltraumschrott enden.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass durch unsere gute Zusammenarbeit viele Ideen in kurzer Zeit zustande kamen. Später konnten wir auf diese Ideen zurückgreifen, zum Beispiel bei der Entwicklung von unserem „Haus der Zukunft“. Im Laufe der gesamten Sommerakademie konzipierten wir ein umweltfreundliches, zukunftsfähiges Modell eines Hauses.



Das Modell für unser Haus der Zukunft, Zeichnung von Pia

Wichtige Komponenten sind:

- Der CO₂- oder künstliche Baum der Firma BiomiTech: Er funktioniert mit kleinen „Zellen“ in denen äußerst effiziente Algen Photosynthese betreiben. Dieser künstliche Baum ist 368-mal so effektiv wie ein vollständig organischer Baum seiner Größe
- Solarthermie: eine „Solarzelle“ durch die Wasser fließt und so aufgeheizt wird.
- Spezialfarbe: eine umweltfreundliche Farbe, die weniger häufig ersetzt werden muss und Wasser abperlen lässt. Sie ist angelehnt an Pflanzen entwickelt worden.
- Induktionsboden: ein Boden aus kleinen Dreiecken, der Strom durch Herunterdrücken von Ecken erzeugt, wenn man auf

ihm läuft. Auch er ist noch nicht fertig entwickelt.

Wasserspaltung/Elektrolyse: eine Technik um Wasser in Sauer- und Wasserstoff zu spalten. Sauerstoff kann in die Atmosphäre freigesetzt werden und Wasserstoff kann z. B. zum betanken des Wasserstoffautos genutzt werden.

- Geothermie: Wasser wird durch Rohre in Richtung Erdinneres gepumpt, wo es sich erhitzt. Wird das Wasser wieder nach oben gepumpt kann diese Wärme genutzt werden, um das Haus zu heizen.

Gesellschaftlicher Einfluss auf den Klimawandel

DAVID KALIG

Da wir uns in unserem Kurs viel mit dem Thema Klimawandel beschäftigten, diskutierten wir auch dessen Ursachen und den gesellschaftlichen Einfluss. Dabei gibt es verschiedene, verbesserungsfähige Aspekte.

Oft wird das Konsumverhalten kritisiert und wir als „Wegwerfgesellschaft“ bezeichnet. Zum Beispiel werden bei knapper Überschreitung des Haltbarkeitsdatums die noch verzehrbaren Lebensmittel weggeworfen. Weitere Probleme sind die Massentierhaltung, das Überdüngen und das stetige Verlangen nach dem Billigsten und Neuesten. Daraus resultierende Folgen sind schlechte Arbeitsbedingungen, der Verlust von wertvollen Ressourcen und der Verzicht auf umweltfreundliche Bioprodukte. Allgemein kann man sagen, dass die Quantität in unserer Gesellschaft mehr zählt als die Qualität.

Verknüpft damit sind unsere Denkweisen. Vieles machen wir aus reiner Gewohnheit, wir verschließen uns oft generell gegenüber Veränderungen, weil wir nicht aus unserer Komfortzone herausgehen wollen. Außerdem denken viele, dass man als Einzelperson nichts bewirken kann, sondern nur die Politik. Dabei kann jeder mit seinem Konsumverhalten oder insbesondere durch viele Kleinigkeiten einiges erreichen. Jeder kann auf seinen eigenen Fußabdruck achten. Der abgebildete QR-Code führt zu einer Seite, auf der man seinen eigenen ökologischen Fußabdruck testen kann.



Auf dieser Seite kann man seinen eigenen ökologischen Fußabdruck bestimmen¹⁰.

Wichtig ist, dass wir gemeinsam gegen den Klimawandel ankämpfen müssen und offen gegenüber Neuem sein sollten.

Ein weiterer gesellschaftspolitischer Aspekt ist, dass viele Politiker Angst haben, sich für grundlegende Veränderungen einzusetzen, weil sie dabei Wähler verlieren könnte. Weltweit betrachtet haben ärmere Länder häufig nicht die Möglichkeit, umweltfreundliche Technologien auszubauen, außerdem führen mangelnde Bildung und fehlende Verhütung zu übermäßig vielen Geburten und somit einem Anstieg der Weltbevölkerung. Und je mehr Menschen auf der Erde leben, desto mehr Nahrung wird beispielsweise benötigt und damit entsteht auch viel CO₂. Um den Klimawandel bekämpfen zu können, ist daher gute Zusammenarbeit und internationale Verständigung nötig. Reiche Länder müssen dafür arme Länder beim Klimaschutz unterstützen sowie für Bildung und Aufklärung sorgen.

Nun noch zu dem Verhalten der Konzerne und allgemein des Arbeitsmarktes: Nach dem Prinzip des Kapitalismus strebt die Industrie immer nach dem größtmöglichen Gewinn und muss deshalb viel sparen, z. B. bei der Bezahlung der Arbeiter und den Einkaufspreisen für Produkte. Viele große Unternehmen produzieren unter anderem aus diesen Gründen inzwischen im Ausland. Hierbei gibt es dann jedoch einige Probleme, wie schlechte Arbeitsbedingungen oder auch Kinderarbeit und durch die langen Transportwege entstehen dann zusätzlich wahn-sinnig viele Tonnen CO₂. Ein Beispiel hierfür: Die Baumwolle für Hosen wird in China produziert. Von da aus wandert die Baumwolle in die Türkei und wird zu Garn weiterverarbeitet. Dann wandert die Hose nach Taiwan und aus

¹⁰<https://www.fussabdruck.de/fussabdrucktest>

dem fertiggestellten Garn wird der Jeansstoff hergestellt. Anschließend wird der Stoff nach Tunesien transportiert und dort wird er mit Indigo eingefärbt. Danach geht es zurück nach China, die Jeans wird fertiggestellt und wandert dann in unsere Geschäfte.

Der abgebildete QR-Code verweist auf eine Seite, auf der man sich den Weg der Jeans noch einmal ausführlicher anschauen kann.



Der Weg einer Jeans¹¹

Deshalb muss es ein Ziel sein, mehr in die Forschung zu investieren, sodass man effizientere Alternativen im Bereich Stromgewinnung und -Speicherung, Ernährung, Konsum und vielem Weiteren findet. Vielleicht können wir so wirklich die Welt retten, dies ist aber eine andere Geschichte ...

¹¹<https://storymaps.arcgis.com/stories/256165a594fe4e3b8569886d76c422d3>

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 18. 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 Stiftung Bildung und Jugend, 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 37 – Allgemein bildende Gymnasien am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der 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 zumindest im Wechsel in Adelsheim treffen konnten. Dort waren wir wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umwelterziehung (LSZU). Für den durch die Coronasituation bedingten Extraaufwand, 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 13, Abbildung Elektromagnetische Absorption in der Erdatmosphäre:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg
 Originalbild: NASA, SVG: Wikimedia-User Mysid/Ariser
 Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 16, Abbildung Strahlungsspektrum von Schwarzkörpern:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BlackbodySpectrum_loglog_de.svg
 Wikimedia-User Prog
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 17, Abbildung Spin-Flip beim Wasserstoff:
 Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen-SpinFlip.svg>
 Wikimedia-User Tiltec
 Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 19, Abbildung Krebsnebel:
 Hubblesite, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html>
 NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University)
- Seite 20, Abbildung Schwarzes Loch M87*:
 ESO, <https://www.eso.org/public/images/eso1907a/>
 EHT-Kollaboration
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 20, Abbildung Galaxie Messier 87:
 NASA/Hubble, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2000/20/968-Image.html>
 NASA und das Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- Seite 22, Abbildung Arecibo-Botschaft „Arecibo message light“:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arecibo_message_light.svg
 Wikimedia-User Arne Nordmann (norro)
 CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 23, Abbildung Wow-Signal:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wow_signal.jpg
 Big Ear Radio Observatory and North American AstroPhysical Observatory (NAAPO)
 Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 23, Abbildung Verlauf der Empfangsstärke des Wow-Signals:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wow_signal_profile.svg
 Wikimedia-User Maxrossomachin
 CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 40, Abbildung der Skinner-Box:
 Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skinner_box_scheme_01.svg
 Wikimedia-User Andreas1, Bearbeitungen Pixelsquid
 CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 51, Abbildung Galton-Bett:
 Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galton-Brett.svg>
 Wikimedia-User Chrischi
 Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 52, Abbildung Streckenabschnitte beim Goldenen Schnitt:
 Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19816440>
 Wikimedia-User Stannered/Kmhkmh
 Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 52, Abbildung Rathaus von Leipzig:
 Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=8162374>

- Stadt Leipzig, eigene Ergänzungen
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 53, Abbildung Eiffelturm:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour_Eiffel_Wikimedia_Commons.jpg
Wikimedia-User Benh LIEU SONG, eigene Ergänzungen
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 53, Abbildung Leonardo da Vinci „Vitruvian Man“ (mit Ergänzungen):
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour_2.svg
Wikimedia-User Savak, eigene Ergänzungen
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 56, Abbildung Sonnenblume:
Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Goldener_Schnitt_Blutenstand_Sonnenblume.jpg
Dr. Helmut Haß
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 69, Abbildung Blutfluss durch das menschliche Herz:
Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latidos.gif>
Wikimedia-User josiño, bearbeitet
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 84, Abbildung Insulinpumpe:
Wikipedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Wearing_pump.JPG
Björn Heller
CC BY-SA 2.0/de (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/legalcode>)
- Seite 124, Abbildung Elektromagnetische Absorption in der Erdatmosphäre:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg
Originalbild: NASA, SVG: Wikimedia-User Mysid/Ariser
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 125, Abbildung Photoeffekt:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photoelectric_effect_in_a_solid_-_diagram.svg
Wikimedia-User Ponor
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 125, Abbildung Hallwachsversuch:
Serlo-Lernplattform, <https://de.serlo.org/community/52504/äußerer-photoelektrischer-effekt-hallwachs-effekt>
Serlo
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 126, Abbildung Doppelspaltversuch:
Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61510632>
Johannes Kalliauer
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 126, Abbildung Interferenzmuster:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single_slit_and_double_slit3.jpg
Wikimedia-User Jordgette, Ausschnitt
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 129, Abbildung Silizium-Atom:
Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d11567-2/*/*Silizium.html?op=Wiki.getwiki
Enargus
CC BY-SA 3.0 DE (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>)
- Seite 130, Abbildung p-n-Übergang:
Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d14511-2/*/*p-n-Übergang.html?op=Wiki.getwiki
Enargus
CC BY-SA 3.0 DE (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>)
- Seite 132, Abbildung Verluste einer Solarzelle:
Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d13357-2/*/*Verluste_einer_Solarzelle.html?op=Wiki.getwiki
Enargus
CC BY-SA 3.0 DE (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>)

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bilder unter eine CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.