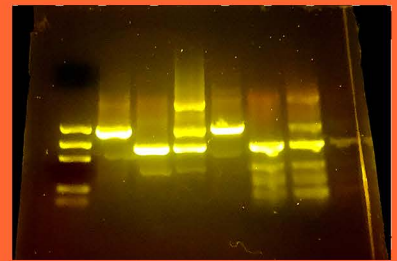
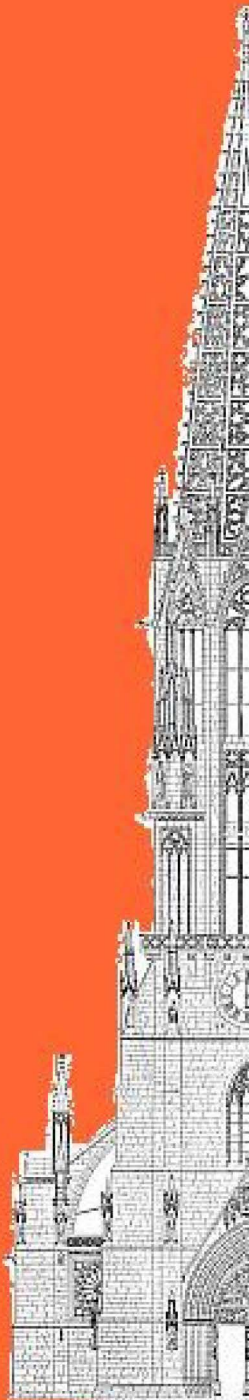


Freiburg Seminar

Schuljahr
2024/2025

*für Mathematik
und Naturwissenschaften*

Regierungspräsidium Freiburg





im Schuljahr 2024/2025

**Bericht der Seminarleitung
& der AG-Leiterinnen und AG-Leiter**



**Regierungspräsidium Freiburg
Abteilung Schule und Bildung**

Impressum

Redaktion: Ingo Kilian & Dr. Markus Eppinger (Seminarleitung)
unter Mitarbeit von Dr. Franziska Lüder und
den Leiter*innen der Arbeitsgemeinschaften
sowie von Seminarschülerinnen und Seminarschülern

Herausgeber: Regierungspräsidium Freiburg
Abteilung 7 - Schule und Bildung
Freiburg-Seminar
Oltmannsstraße 22, 79100 Freiburg,
Tel.: +49 761 595249-700, info@freiburg-seminar.de

Druck: Regierungspräsidium Freiburg

Partner · Förderer · teilnehmende Schulen

Gisela und Erwin Sick Stiftung

Förderverein des Freiburg-Seminars

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport

Stadt Freiburg im Breisgau

Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald

SFZ Region Freiburg – Standort Freiburg

SFZ Region Freiburg – Standort Waldkirch

SFZ Region Freiburg – Standort Freiburg – Außenstelle Breisach

Fakultät für Mathematik und Physik, Universität Freiburg

Institut für Biochemie & Molekularbiologie, Universität Freiburg

PH Freiburg – Institut für Mathematische Bildung

Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, EMI

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik, IPM

Industrie- & Handelskammer Südlicher Oberrhein

Technologiestiftung BioMed Freiburg

Verband der Chemischen Industrie, VCI

Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg

Endress+Hauser SE+Co KG

Sparkasse Freiburg-Nördlicher Breisgau

Wirtschaftsjunioren

NaT-Working Projekt Molekularbiologie

Kreisgymnasium Bad Krozingen

Martin-Schongauer-Gymnasium Breisach

Erasmus-Gymnasium Denzlingen

Goethe-Gymnasium Emmendingen

Berthold-Gymnasium Freiburg

Deutsch-Französisches Gymnasium Freiburg

Droste-Hülshoff-Gymnasium Freiburg

Freie Christliche Schule Landwasser Freiburg

Friedrich-Gymnasium Freiburg

Goethe-Gymnasium Freiburg

Kepler-Gymnasium Freiburg

Montessori Zentrum Angell Freiburg

Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule Freiburg

Rotteck-Gymnasium Freiburg

St. Ursula-Gymnasium Freiburg

Theodor-Heuss-Gymnasium Freiburg

Wentzinger-Gymnasium Freiburg

Albert-Schweitzer-Gymnasium Gundelfingen

Schule Birklehof Internat und Gymnasium Hinterzarten

Gymnasium Kenzingen

Marie-Curie-Gymnasium Kirchzarten

Clara-Schumann-Gymnasium Lahr

Scheffel-Gymnasium Lahr

Markgräfler-Gymnasium Müllheim

Kreisgymnasium Neuenburg

Faust-Gymnasium Staufen

Kolleg St. Sebastian Stegen

Kreisgymnasium Titisee-Neustadt

Geschwister-Scholl-Gymnasium Waldkirch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
One day or day one	8
- ein kleiner Rückblick auf sechs Jahre beim Freiburg-Seminar	8
Freiburg-Seminar.....	9
Kuratorium	10
Seminarist*innen - Seminarjahr 2024/2025.....	12
Schüler*innen-Verteilung Stadtkreis/Landkreis(e)	12
Schülerzahlen im Vergleich Allgemeinbildende Gymnasien & Berufliche Schulen	12
Arbeitsgemeinschaften	13
des Freiburg-Seminars im Schuljahr 2024/2025	13
Berichte der Arbeitsgemeinschaften	15
Biologie AG – „Mikroben – winzige Arbeiter in der Biotechnologie“	15
Biologie AG – „Molekularbiologische Methoden der Biologie“	17
Chemie AG – „Chemie eine bunte Sache“	19
Chemie AG – „Bierbrauen – Entwicklung eines automatisierten Bioreaktors“ ..	22
Chemie AG – „Molekularbiologie und Biochemie der Entwicklung“	25
Geografie AG – „Zukunftsperspektiven – globale Herausforderungen und Lösungsansätze“	27
Informatik AG – „Handy Apps - Ein Programmierkurs für Einsteiger*innen“ ...	28
Informatik AG – „Algorithmik - fit für den Jugendwettbewerb Informatik und mehr“	29
Informatik AG – „Virtuelle Welten im Computer erstellen“	31
Mathematik AG – „Matrizen - wie man mit Tabellen rechnet“	33
Mathematik AG – „Vom Königsberger Brückenproblem zur Graphentheorie“ ..	35
Physik AG – „Das Rätsel des Universums“	36
Physik AG – „Teilchenphysik“	37
Physik AG – „Physikalischen Phänomenen auf der Spur“	39
Technik AG – „Akustische Levitation von Mikrotropfen“	42
Technik AG – „Angewandte Robotik“	43
Technik AG – „Mikrocontroller und Automatisierung“	45
„Science-Junior-Club“	47
„Mathe-Junior-Club“	49

Vorträge	51
17.10.2024 – „Plasmabrenner als Beitrag zum Klimaschutz – Wie können wir die Zukunft vorhersagen?“	51
13.11.2024 - „Blaue Energie“	52
10.12.2024 - „Lernen von der Natur: bioinspirierte Materialien für eine nachhaltigere Gesellschaft“	53
03.02.2025 - „Der Wald im Stress – ECOSENSE klärt auf“	53
Veranstaltungen & Wettbewerbe	55
Eröffnungsveranstaltung des Seminarjahres	55
Kuratoriumssitzung des Freiburg-Seminars	55
Abschlussveranstaltung	56
World Robot Olympiad	57
Internationale Junior-Science Olympiade	57
Jugendwettbewerb Informatik	57
Exkursionen	58
zum Universitätstag – NaT-Working Projekt Molekularbiologie • 25.09.2024 ..	58
zu den Science Days 2024 in Rust • 25.10.2024	59
zum BioValley College Day in Basel • 29.11.2024	59
zum Schullabor Novartis in Basel • 09.01.2025	59
zum CERN in Genf • 19.02.2025 (ältere Schüler*innen)	60
zum CERN in Genf • 28.06.25 (jüngere Schüler*innen)	62
zu Novartis in Basel – Chemie Mittelstufen AG • 14.03.25	65
zur Hochschule Offenburg • 31.08.2025	66
zum Tag der Raumfahrt am Fraunhofer-Institut EMI in Freiburg • 28.03.2025 ..	67
zum physikalischen Institut der Universität Freiburg, Arbeitsgruppe Schumacher/Fischer Dunkle Materie • 03.07.2025	67
Schüleruniversität	69
INFORMATIK - Emily Zhang	69
MATHEMATIK - Leon Kling	70
BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE - Leonita Sahitaj	70
MATHEMATIK - Felix Burgmann	71
RECHTSWISSENSCHAFTEN - Aurelia Eltgen	72



Abbildung 1: Prof. Kuwert - Mathematisches Institut - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Vorwort

Ich heiße Ernst Kuwert und bin seit 1996 Professor für Mathematik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Mein Forschungsgebiet liegt an der Schnittstelle von Geometrie und Analysis, genauer werden geometrische Fragen mit Methoden der partiellen Differentialgleichungen untersucht. Das Freiburg-Seminar veranstaltet regelmässig Vorträge aus der Forschung, mit einem solchen Vortrag habe ich das Seminar im Jahr 2006 kennengelernt. Außerdem haben zwei Töchter von mir am Programm im Bereich der Biologie teilgenommen, eine hat dann Medizin studiert.

An den Hochschulen hat die Epidemie eine Zäsur bedeutet. Statt der konservativen Vorlesung gab es Online-Angebote, häufig war da nur ein Bildschirm zu sehen und eine Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden kam kaum zustande. Die Digitalisierung der Lehre wirkt sich weiter aus, und manche Studierende ziehen der Vorlesung heute ein Youtube-Video im Home-Studium vor. Es geht mehr in Richtung Kochrezepte und Kompetenzen, weniger um wissenschaftliche Bildung.

Seit 35 Jahren werden am Freiburg-Seminar junge Talente in Projekten, Exkursionen, Vorträgen und Praktika gefördert. Im Bereich der Naturwissenschaften, Informatik, Mathematik und Technik bietet es persönliche Begegnungen mit Vertreter*innen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Industrie. Auch schon seit 20 Jahren gibt es das Schülerstudium, mit persönlicher Begleitung im Rahmen des Freiburg-Seminars.

All das beruht auf dem Engagement der Lehrenden, aber auch auf der Unterstützung durch Unternehmen, Fraunhofer-Institute, Universität und die beteiligten Städte. Ich wünsche mir, dass dieses so erfolgreiche Bildungskonzept weiter besteht, gefördert und fortentwickelt wird!

Prof. Dr. Ernst Kuwert

One day or day one

- ein kleiner Rückblick auf sechs Jahre beim Freiburg-Seminar

Vor ungefähr sechs Jahren stand ich hibbelig und nervös in einem Gang der Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule und wartete auf mein Aufnahmegespräch. Ich war von meiner damaligen Physik-Lehrerin ermutigt worden, mich für das Freiburg-Seminar anzumelden. Um mich abzulenken, blätterte ich im ausliegenden Jahrbuch und sah mir die Bilder an. Auf so einem Foto wollte ich auch mal sein. Und durch die Jahre hinweg konnte ich das auch.

ERSTE AG: CHEMIE BEI HERRN BÜRGER

Von Chemie hatte ich reichlich wenig Ahnung, aber Farben klangen gut und die Aussicht, selbst Geheimtinte herzustellen, war verlockend (das Rezept habe ich übrigens noch heute ;)).

Ob ich begeistert wurde? Sagen wir mal so, ich besuchte dieselbe AG gleich noch zwei weitere Jahre und benutze Herr Bürgers „verrücktes Hotel“ bis heute, um das Bohr'sche Atommodell zu veranschaulichen. Ich sage immer gern, dass ich mein chemisches Interesse im Grunde aus dem Seminar habe und auch nur deshalb, Jahre später, im Leistungskurs gelandet bin.

ZWEITE AG: BIOLOGIE BEI HERRN KILIAN

In diesem Jahr konnte ich die meisten Jahrbuchfotos sammeln. Auf diversen Exkursionen habe ich mich geärgert, dass mein Mobilfunktarif die Schweiz nicht umfasst, wenn wir zum Beispiel zum Novartis-Campus (Basel) oder den Tagen der Genforschung (FMI Basel) reisten. Auch musste ich mein Französisch für den trinationalen Schülerkongress in Straßburg auskramen.



Abbildung 2: Nina Rück – Rotteck-Gymnasium Freiburg

Ein Jahr, in dem ich für mich lernte, dass Biologie doch spannend ist – solange das Betrachtete die Größe einer Zelle nicht überschreitet. Wir hatten viel Spaß, die eigene DNA zu extrahieren um sie als Anhänger mitzunehmen, mit der Gelelektrophorese eigene Proteine zu analysieren, und uns mögliche Situationen für Elisa-Tests auszudenken, um dann zum Beispiel Schwangerschaftsroulette mit den Ergebnissen zu spielen.

DRITTE AG: ASTRONOMIE BEI HERRN KÜMMELL

Im allerersten Vortrag, den ich mir im November 2019 im Planetarium angehört hatte, ging es um dunkle Materie, und auch das Forschungszentrum CERN bei Genf wurde kurz vorgestellt.

An jenem Tag entstand in mir der dringende Wunsch, das CERN einmal selbst zu besuchen. Jahre später – endlich alt genug, um mitzudürfen – am 27.06.2024 konnte ich mir mit der Astronomie-AG diesen Traum erfüllen.

Besonders in Erinnerung bleibt auch unser Spaziergang an der Dreisam entlang, bei dem wir uns astronomische Distanzen anhand einer 1-Meter-Sonne vergewärtigen wollten, und noch vor dem Jupiter abgebrochen haben, um rechtzeitig wieder zurück an der Schule zu sein.

VIERTE AG: TECHNIK BEI HERRN DR. GREINER

Hier habe ich das wohl realistischste Bild bekommen, wie Forschung, beziehungsweise wissenschaftliche Arbeit aussehen kann. Unser akustischer Levitator erlebte nämlich eine wilde Achterbahn aus Hochs und Tiefs. In stundenlanger Arbeit haben wir unsere Geduld und Feinmotorik auf die Probe gestellt, um die Apparatur präziser, störungsfreier und leistungsfähiger zu gestalten, um einige Zeit später doch wieder vieles zu verwerfen und mehr oder weniger von vorne anzufangen. Obwohl wir unser Ziel, kleine Wassertropfen im Ultraschallfeld schweben zu lassen, nicht ganz erreicht haben (unser Rekord lag bei etwa 5 Polysterolkügelchen), hatten wir viel Spaß am Basteln.

Vor allem hervorzuheben ist, was alles möglich gemacht wurde, das auf den ersten Blick unmöglich erschien:

Zu Zeiten der Corona-Lockdowns dachte ich, das Wochenhighlight Chemie-AG würde mir nun auch entfallen. So wie das, gerade in der ersten Phase mit dem Online-Unterricht in der Schule lief, war ich wenig optimistisch, überhaupt noch AG-Treffen zu haben, geschweige denn welche, die (zumindest fast) genauso viel Spaß machen wie in Präsenz.

Herr Bürger aber packte unserer Chemie-AG große Boxen mit Material zum Mitnehmen, sodass jede und jeder einzelne von uns das Experiment während der Videokonferenz am Schreibtisch durchführen konnte.

Auch nach den Zeiten der Videokonferenz durfte ich über Wochen hinweg an meiner AG online teilnehmen, da ich mit einer Knieverletzung, nun ja, etwas immobil und unflexibel war. Vielen Dank an Herrn Kümmell, der diesen Mehraufwand wie selbstverständlich betrieben hat.

Ich bedanke mich bei allen, die diese tollen Jahre möglich gemacht haben und für hunderte unbezahlbare Erinnerungen, die hier keinen Platz gefunden haben.

Nina Rück

Freiburg-Seminar

für Mathematik und Naturwissenschaften

DAS FREIBURG-SEMINAR

wurde 1990 vom Oberschulamt Freiburg eingerichtet. Es ist ein Bestandteil des Programms „Förderung besonders befähigter Schülerinnen und Schüler“, das an den weiterführenden Schulen in Baden-Württemberg seit Beginn des Schuljahrs 1984/85 durchgeführt wird.

AUFGABE DES SEMINARS

ist die Förderung besonders befähigter Schülerinnen und Schüler in Mathematik und Naturwissenschaften. Jeder Teilnehmer entscheidet sich für eine der angebotenen Arbeitsgemeinschaften mit besonderem Anspruchsniveau. Gemeinsames Band für alle Seminarschüler ist eine Veranstaltungsreihe mit Vorträgen und Betriebsbesuchen. Dieses Angebot wird durch Studienfahrten und Wochenendseminare ergänzt und abgerundet.

DIE TEILNEHMER DES SEMINARS

kommen von allen Freiburger allgemeinbildenden und beruflichen Gymnasien. Vom Schuljahr 1994/95 an wurde das Seminarangebot auch auf die Gymnasien des

Landkreises Breisgau-Hochschwarzwald ausgedehnt. Jährlich bewerben sich ca. 300 Schülerinnen und Schüler (SuS) auf einen Platz im Freiburg-Seminar, von denen im Schuljahr 2024/25 insgesamt 228 SuS aufgenommen werden konnten.

TRÄGER DES FREIBURG-SEMINARS

sind das Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, die Stadt Freiburg und der Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald. Unterstützt wird das Seminar von Institutionen aus Industrie, Handel und Wirtschaft, sowie von den Hochschulen und Forschungseinrichtungen der Stadt bzw. von Verbänden.

EIN KURATORIUM,

in dem das Kultusministerium, die Schulverwaltung, die Stadt Freiburg, der Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, verschiedene Fakultäten der Universität Freiburg, das Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, die Sparkasse Freiburg-Nördlicher Breisgau, die Industrie- und Handelskammer Südlicher Oberrhein und die

Wirtschaftsjunioren vertreten sind, begleitet die Arbeit des Seminars beratend (vgl. S. 10).

DER FÖRDERVEREIN DES FREIBURG-SEMINARS

wurde im Jahr 2009 gegründet. Zweck des Vereins ist die ideelle und finanzielle Förderung des Freiburg-Seminars. Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke. Unterstützen Sie die Arbeit des Freiburg-Seminars, **werden Sie Mitglied im Förderverein**. Jeder Beitrag ist willkommen.

SPENDEN

an den Förderverein des Freiburg-Seminars e.V. sind steuerlich abzugsfähig.

Sparkasse Freiburg-Nördlicher Breisgau

IBAN: DE87 6805 0101 0012 8490 39

LEITUNG

Ingo Kilian

Dr. Markus Eppinger

ANSCHRIFT

Oltmannsstraße 22

79100 Freiburg

Phone +49 761 595249-700

info@freiburg-seminar.de

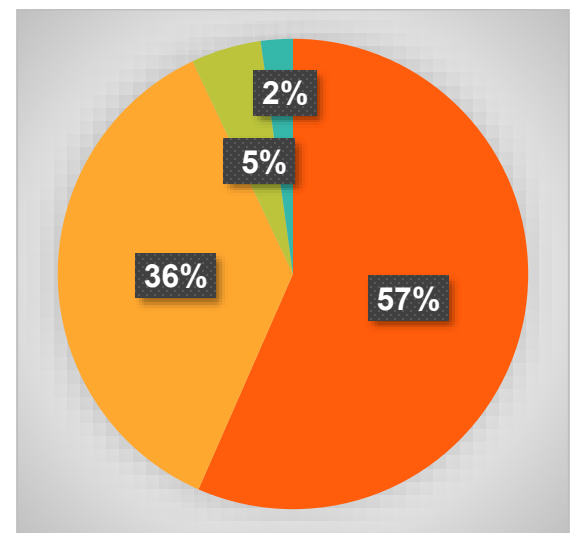
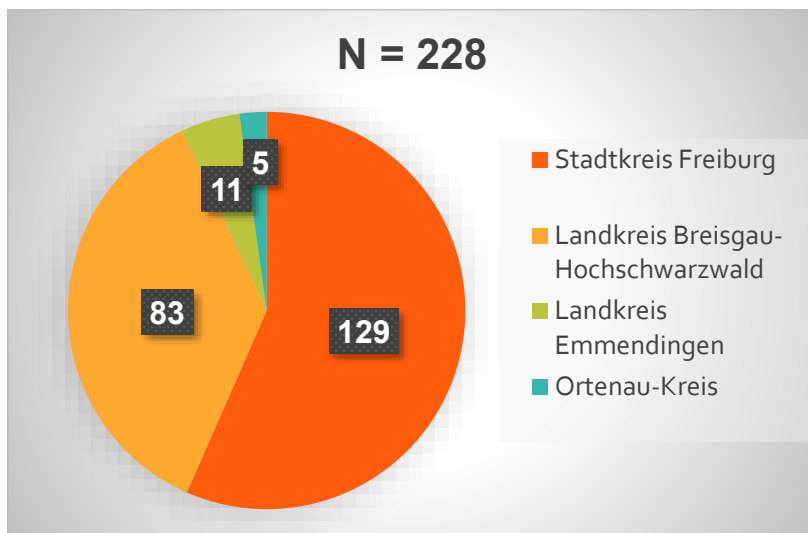
Kuratorium

Vorsitzender	Prof. Dr. F. Schäfer
Stellvertretender Vorsitzender	StD Dr. Th. Schonhardt
Schriftführer	Herr Dr. Ralf Erens
Regierungspräsidium Freiburg	Schulpräsident Th. Hecht Ltd. RSD C. Sturm Ltd. RSD M. Müller
Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Stadt Freiburg im Breisgau	vakant Bürgermeisterin C. Buchheit Frau S. Donnermeyer Vakant
Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald Fakultät für Mathematik und Physik der Universität Freiburg	Prof. Dr. E. Kuwert
Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Technologiestiftung BioMed Freiburg Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg – Südwestmetall	OStD A. Gorgas Dr. M. Richter Herr Dr. M. Kiefer
Sparkasse Freiburg-Nördlicher Breisgau IHK Südlicher Oberrhein Wirtschaftsjunioren	vakant Herr D. Salomon Herr L. Schleithoff Herr A. Rutz
Landkreis Emmendingen	vakant
Schülerforschungszentrum Region Freiburg	Herr B. Bohn
Geschäftsführende Schulleiter der Gymnasien	OStD M. Rupp OStD E. Fritz OStD Dr. M. Mühl
Schülerstudium Universität Freiburg Leitung des Freiburg-Seminars	Herr Dr. R. Erens StD Dr. M. Eppinger StD I. Kilian

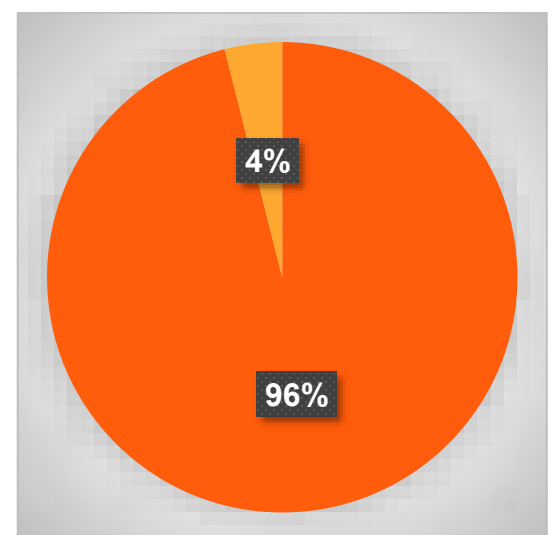
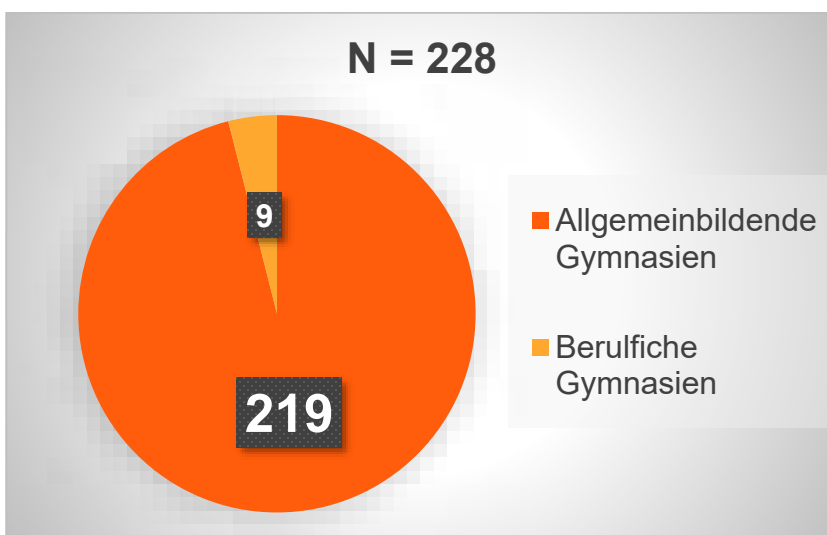
Seminarist*innen - Seminarjahr 2024/2025

228 Schüler*innen,
davon 147 Schüler (64%) und 81 Schülerinnen (36%) – Stand 31.01.2025

Schüler*innen-Verteilung Stadtkreis/Landkreis(e)



Schülerzahlen im Vergleich Allgemeinbildende Gymnasien & Berufliche Schulen



Zusätzlich besuchten 13 Schüler*innen Vorlesungen und Seminare an der Universität Freiburg.

Arbeitsgemeinschaften

des Freiburg-Seminars im Schuljahr 2024/2025

Technik	Thema:	Akustische Levitation von Mikrotropfen
	Leiter:	Dr. A. Greiner, Institut für Mikrosystemtechnik Universität Freiburg
Mathematik	Thema:	Vom Königsberger Brückenproblem zur Graphentheorie
	Leiter:	Dr. G. Metzger, Marie-Curie-Gymnasium Kirchzarten (a.D.)
Physik	Thema:	Teilchenphysik
	Leiter:	Dr. C. Zorn, Rotteck-Gymnasium Freiburg (a.D.)
Astronomie:	Thema:	Die Rätsel des Universums
	Leiter:	F. Kümmell, Rotteck-Gymnasium Freiburg
Chemie 1	Thema:	Chemie: Molekularbiologie und Biochemie der Entwicklung
	Leiter:	Dr. B. Bonengel, Merianschule Freiburg
Chemie 2	Thema:	Bioreaktor – Entwicklung einer automatisierten Bierbrauanlage
	Leiter:	S. Bendig, Dr. J. Fürst, Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule Freiburg
Biologie	Thema:	Molekularbiologische Methoden der Biologie
	Leiter:	I. Kilian, Martin-Schongauer-Gymnasium Breisach am Rhein

Arbeitsgemeinschaften stufenübergreifend differenziert nach Vorkenntnissen

Biologie	Thema:	Mikroben – winzige Arbeiter in der Biotechnologie
	Leiter:	H. Holtorf, Merian-Schule Freiburg
Informatik I	Thema:	Algorithmik – fit für den Jugendwettbewerb Informatik und mehr
	Leiterin:	L. Dietrich, Kreisgymnasium Bad Krozingen
Informatik II	Thema:	Handy Apps programmieren
	Leiter:	P. Spitznagel, Albert-Schweitzer-Gymnasium Gundelfingen
Informatik II	Thema:	Virtuelle Welten im Computer erstellen
	Leiter:	Dr. F. Jasch, Kepler-Gymnasium Freiburg
Elektronik	Thema:	Mikrocontroller und Automatisierung
	Leiter:	W. Wolff, Marie-Curie-Gymnasium Kirchzarten
Geografie	Thema:	Zukunftsperspektiven – globale Herausforderungen & Lösungsansätze
	Leiter:	A. Kalt, Kreisgymnasium Neuenburg

Arbeitsgemeinschaften für Schüler und Schülerinnen der Mittelstufe

Mathematik	Thema:	Matrizen – wie man mit Tabellen rechnet
	Leiter:	Dr. D. Brandt, Berthold-Gymnasium Freiburg (a.D.)
Physik	Thema:	Physikalischen Phänomenen auf der Spur
	Leiter:	J. Pohl, Rotteck-Gymnasium Freiburg
Chemie	Thema:	Chemie eine bunte Sache
	Leiterin:	T. Seller, Theodor-Heuss-Gymnasium Freiburg

Arbeitsgemeinschaften für Schüler und Schülerinnen der Unterstufe

Technik I/II	Thema:	Angewandte Robotik 1 & 2
	Leiter:	J. Deipenwisch, St. Ursula Gymnasium Freiburg Dr. M. Eppinger, Kreisgymnasium Neuenburg
Mathe Junior-Club	Thema:	Mathematik macht Spaß
	Leiterin:	A. Löwe, Berthold-Gymnasium Freiburg
Science Junior-Club	Themen:	Biologie Chemie Physik
	Leiterteam:	P. Bartholomé, H. Härtner, K. Hesse Kreisgymnasium Bad Krozingen

AG-Leiterinnen und AG-Leiter

Abbildung 3: AG-Leiterinnen und AG-Leiter, fehlend: I. Kilian (Fotograf), L. Dietrich, A. Löwe, T. Seller, W. Wolff, C. Zorn

Berichte der Arbeitsgemeinschaften

Biologie AG - „Mikroben - winzige Arbeiter in der Biotechnologie“

Biologisches Forschen

ALLGEMEINES

Eine Gruppe interessierter Schülerinnen und Schüler der 9. Jahrgangsstufe setzte sich in diesem Schuljahr zum Ziel, die Bedeutung von Mikroorganismen im Alltag und Labor kennenzulernen. Zentrales Thema waren die klassischen Mikroorganismen Hefe und Milchsäurebakterien, die eine sehr wichtige Rolle bei traditionellen biotechnologischen Prozessen spielen.

Ziel war es außerdem wichtige Labormethoden der Mikrobiologie kennenzulernen und anzuwenden. Folgende große Themenblöcke wurden bearbeitet:

1. Labormethoden zur Kultivierung und Untersuchung von Mikroorganismen
2. Identifikation von Mikroorganismen
3. Anreicherung verschiedener Milchsäurebakterien aus Joghurt-Proben
4. Genetischer Fingerabdruck auf Basis des 16S rDNA-Gens

In allen vier Bereichen standen – wie auch schon im letzten Jahr – die experimentelle Methodik und die kritische Diskussion der Versuchsergebnisse im Mittelpunkt. Die wirtschaftliche Bedeutung und die Relevanz der Mikroorganismen für die Biotechnologie wurden den jungen Kursteilnehmern dabei immer wieder verdeutlicht.

LABORMETHODEN DER MIKROBIOLOGIE

Zu Beginn der experimentellen Arbeiten wurde eine gründliche Sicherheitsbelehrung im Labor der Merian-Schule

durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler (SuS) wurden danach an die Herstellung steriler Medien für die Kultivierung von Mikroorganismen herangeführt. Erstes Ziel war es, unbekannte Keime auf diversen Oberflächen bzw. aus der Luft „einzufangen“ und das Wachstum auf Agarplatten zu beobachten. Die SuS konnten auf ihren Platten, nach Bebrütung bei 37 °C, die unterschiedlichsten Mikroorganismen und deren Wuchsformen begutachten (Abbildung 4).



Abbildung 4: Wachstum diverser „Luftkeime“ auf einer Agarplatte

Unbekannte und bekannte Mikroorganismen sind oft Teil von Mischkulturen. Ziel ist es in der Regel die einzelnen Arten in Reinkultur zu nehmen. Dies setzt immer eine Vereinzelnung der Zellen voraus. Dies gelingt mit einem sog. Drei-Ösen-Ausstrich, der mehrfach eingeübt und durchgeführt wurde.

Um die Zellen von Mikroorganismen mit den eigenen Augen zu sehen, wurden Proben des Bakteriums *Escherichia coli* und der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* im Mikroskop betrachtet.

Die Zellen einer dichten Suspension von Hefezellen konnten anschließend mit Hilfe einer sog. Zählkammer und des Mikroskops einzeln gezählt werden (Abbildung 5).



Abbildung 5: Hefezellen in einer Zählkammer

Eine weitere Methode wurde eingesetzt, um eine Wachstumskurve von Hefe aufzunehmen. Dabei bestimmten die SuS die Zelldichte einer wachsenden Kultur durch Messung des Wertes für die optische Dichte. Das verwendete Messgerät, ein sog. Photometer, ermöglicht eine Trübungsmessung bei einer Wellenlänge von 600 Nanometern. Die gemessenen Werte wurden gegen die Zeit aufgetragen und zeigten den typischen Verlauf einer Wachstumskurve von Mikroorganismen.

EXKURSION ZUR FIRMA AGRANO

Eine thematisch sehr passende Exkursion wurde Anfang Dezember durchgeführt. Die Firma AGRANO in Riegel produziert Bio-Hefe durch großtechnische Fermentation. Die SuS konnten direkt vor Ort sehr interessante Einblicke in die Produktionsabläufe einer Firma erhalten, deren gesamte Produktpalette auf einem Mikroorganismus basiert.

IDENTIFIKATION VON MIKROORGANISMEN

Nach den ersten grundlegenden Arbeiten zu mikrobiologischen Kultur- und Analyse-Methoden wurde es ernst. Ziel der folgenden Arbeitsschritte sollte die Isolation und Identifikation einzelner Mikroorganismen aus einer Mischprobe sein. Zu diesem Zweck wurde der *Activia*-Joghurt gewählt, der laut Hersteller unterschiedliche Arten von Milchsäurebakterien enthält.

Da die Verunreinigung mit Fremdkeimen bei solchen Arbeiten ausgeschlossen werden muss, lernten die SuS zunächst das sterile Arbeiten an einer Reinluftwerkbank kennen.

Die SuS stellten unterschiedliche sterile Agar-Medien her, mit Hilfe derer Milchsäurebakterien unter idealen Umständen angereichert werden können. Unter den gewählten Bedingungen in Kombination mit den speziellen Agar-Medien konnten unterschiedliche Bakterienklone isoliert werden.

Zusätzlich wurde mit den Isolatn eine Gram-Färbung durchgeführt, die eine nähere Charakterisierung der Klone

erlaubte. Auch zwei Schnelltests als Alternative zur klassischen Gram-Färbung wurden mit guten Ergebnissen durchgeführt (Abbildung 6, Abbildung 7).

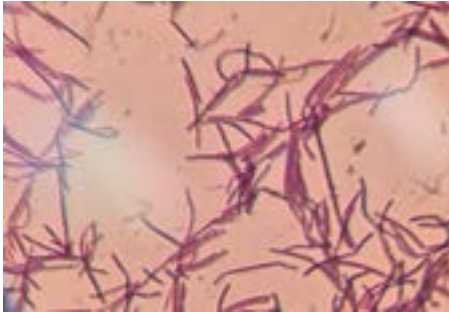


Abbildung 6: Gram-Färbung eines Isolats



Abbildung 7: Alternative Schnelltests zur Gram-Färbung: KOH-Test

Wenn die vier getesteten Bakterienkulturen 1 bis 4 jeweils tatsächlich zu den Milchsäurebakterien gehören, dann würde man folgende Eigenschaften erwarten:

- Denaturierung von Milchproteinen, das sog. „Dicklegen“ von Milch
- Abbau von Milchzucker (Lactose)
- Bildung von Milchsäure durch Milchsäuregärung

Um die erste Möglichkeit zu testen, wurde jeweils Milch mit den einzelnen Bakterienisolaten 1 bis 4 versetzt und bebrütet. Es kam in allen Fällen zu einer sichtbaren und messbaren Eindickung der Milch, was auf die Milchsäuregärung der „Joghurtbakterien“ zurückgeführt werden konnte.

Bei erfolgreicher Milchsäuregärung sollten geringere Mengen Lactose in den Versuchsansätzen gefunden werden. Diese Frage wurde mit Hilfe der sog. Wöhlk-Probe, einem Test zur qualitativen Bestimmung von Lactose, geklärt. In den Ansätzen der vier Bakterienklone konnte deutlich eine Verminderung des Lactosegehalts festgestellt werden.

Als letztes wurde die Konzentration von Milchsäure in den Ansätzen gemessen. Zu diesem Zweck wurde die sehr genaue Methode des gekoppelten enzymatischen Tests eingesetzt. Die gemessenen Werte zeigten deutlich ansteigende Milchsäuregehalte in den vier analysierten Proben. Die Werte lagen leicht unter den Standardwerten, die man für handelsüblichen Joghurt erwarten kann – passend zur noch vorhandenen Rest-Lactose.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Isolation und Charakterisierung von Milchsäurebakterien durch die SuS erfolgreich durchgeführt werden konnte. Die SuS hatten innerhalb des Projekts die Gelegenheit eine Vielzahl gängiger Labormethoden kennenzulernen und erfolgreich durchzuführen. Die lebhaft kritische Auseinandersetzung mit den Versuchsergebnissen war stets Bestandteil des Projekts.

Zu guter Letzt wurde „in silico“ eine Charakterisierung der 16S-rDNA unbekannter Bakterien durchgespielt. Diese Methode kombiniert die Polymerasekettenreaktion mit einer DNA-Sequenzierung, um die DNA-Sequenz des 16S rDNA-Gens eines unbekannten Bakteriums auf die Base genau zu bestimmen (Abbildung 8).



Abbildung 8: Schematische Darstellung der Struktur des 16S rDNA-Genortes mit den variablen Regionen V1 bis V9 und den PCR-Primern F und R

Die SuS konnten so das Prinzip eines genetischen Fingerabdrucks am Beispiel der Identifikation einer Bakterienart erarbeiten.

Autor: Hauke Holtorf

Biologie AG - „Molekularbiologische Methoden der Biologie“

Biologisches Forschen

ALLGEMEINES

Die AG Molekularbiologische Methoden der Biologie wurde so konzipiert, dass die 9 Schülerinnen und Schüler aus Klasse 9 bis K1 die Möglichkeit erhielten verschiedene Bereiche Molekularbiologie kennenzulernen. Neben der inhaltlichen und praktischen Auseinandersetzung mit den wissenschaftlichen Aspekten stand der Besuch von Firmen und Instituten der Region im Fokus, die sich mit diesen Inhalten beschäftigen. Die jeweiligen Exkursionen wurden in Theoriesitzungen vor- und nachbereitet. Besonders kostenintensive Experimente wurden durch den Förderverein des Freiburg-Seminars ermöglicht.

GENETIK UND ENZYMATIK

Im ersten Teil der AG wurden zunächst theoretische Grundlagen erarbeitet, um alle Teilnehmer*innen aus den verschiedenen Klassenstufen auf ein mehr oder weniger einheitliches Niveau zu heben. Inhalte waren u.a. die Grundlagen der Genetik und der Enzymatik.

Im Anschluss erfolgte die Besprechung verschiedener Experimente, wie z.B. der Extraktion von DNA aus der Mundschleimhaut menschlicher Zellen oder enzymatisch katalysierte Leuchterscheinungen von Kleinkrebsen.



Abbildung 10: Leuchtkrebse *Cypridina hilgendorffii* unter dem Binokular

SNP-GENOTYPING IM SCHUL- LABOR NOVARTIS

Im folgenden Termin der AG wurde die Exkursion zum Schullabor Novartis bzw.

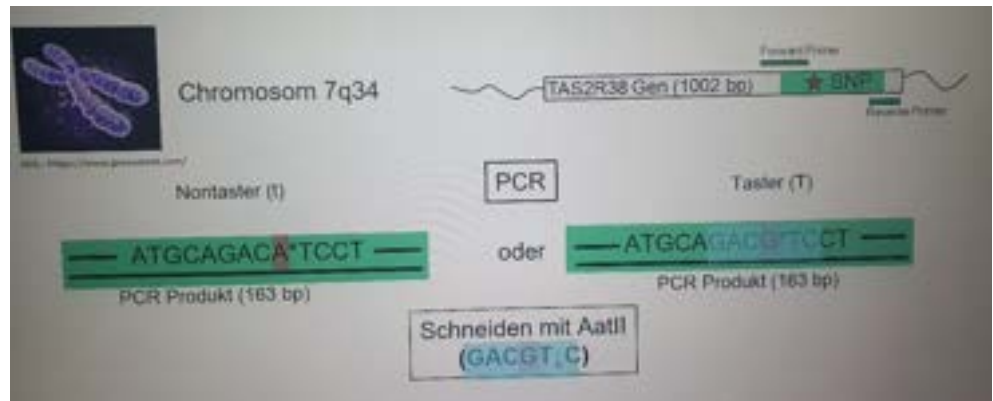


Abbildung 9: Basenunterschied zwischen Nontastern und Tastern – Quelle Schullabor Novartis

zum Campus Novartis vorbereitet. In diesem Kurs arbeiteten die SuS mit ihrer eigenen DNA. Zunächst extrahierten sie DNA aus ihren Mundschleimhautzellen. Ein Teil davon wurde daraufhin mittels einer Polymerase Ketten Reaktion (PCR) vervielfältigt. Dieses Stück DNA beinhaltet die Codierung eines Protein-Rezeptors für die Geschmackswahrnehmung «Bitter». Ein Unterschied in nur einem Basenpaar (SNP) ist verantwortlich dafür, ob jemand einen bestimmten Bitterstoff wahrnehmen kann oder nicht.

Zu Beginn des Kurses hatten die Schüler ihre „phänotypische“ Ausprägung der Bitterwahrnehmung praktisch getestet.

Im Anschluss an die PCR wurden die Produkte einem Restriktionsenzymverdau unterworfen. Das Wildtyp-Allel der sogenannten Taster wurde dabei geschnitten, jedes der Nontaster aufgrund des Basenunterschieds nicht. Anhand einer Gelelektrophorese wurden die resultierenden Fragmente aufgetrennt und anhand des Ergebnisses auf dem Gel konnten die Schüler ihren Genotyp bestimmen.

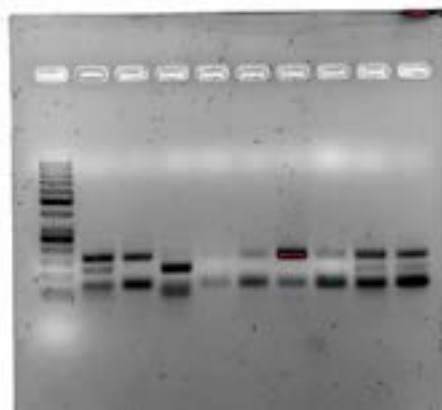


Abbildung 11: Ergebnis der Gelelektrophorese

Am Ende des Kurses konnten die Schüler ihren Genotypen für den betrachteten SNP und die Korrelation zwischen Genotyp und Phänotyp für die Bittergeschmackswahrnehmung.



Abbildung 12: Schüler bei der Auswertung ihrer Ergebnisse

Ein SNP in einem Rezeptor kann bewirken, dass ein Medikament nicht effizient bindet und somit nicht effizient wirkt. Die Bestimmung von SNPs wird deshalb in der pharmazeutischen Forschung angewendet. Das Wissen über SNPs und das Genom generell ist wichtig für die personalisierte Medizin der Zukunft.

Schlüsselbegriffe des Kurses waren DNA-Aufbau, SNP, Genotyp, Phänotyp, Schlüssel-Schloss-Prinzip. Methoden des Kurses waren DNA-Extraktion, PCR, Restriktionsenzymverdau und Gel Elektrophorese.

GENETISCHER FINGERABDRUCK

- DNA-Fingerprint - Restriktionsfragment-Längen-Polymorphismus (RFLP)

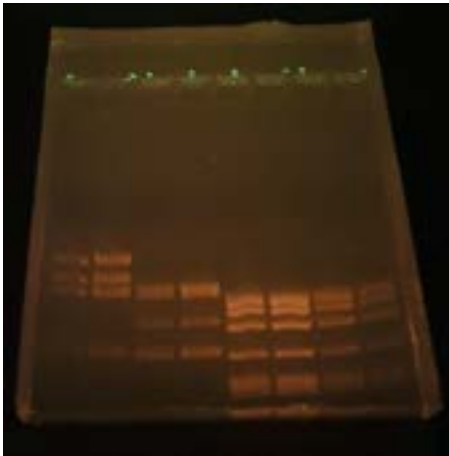


Abbildung 13: Ergebnis der Gelelektrophorese des DNA-Fingerprints; von links: 2x Verdächtiger A, 2x Verdächtiger B, 2x Verdächtiger C, 2x Tatortprobe -> Verdächtiger C = Täter

Der dritte Teil der AG befasste sich mit den molekularbiologischen Möglichkeiten im Bereich der Forensik. Hierzu wurden zunächst Grundlagen zu Themen wie Aufbau der DNA (Durchführung einer DNA-Extraktion), Restriktionsenzymen, Gelelektrophorese und PCR behandelt. Im Anschluss führte die Arbeitsgemeinschaft ein vierstündiges Praktikum durch, in dessen Verlauf ein fiktiver Täter anhand seiner Tatortspur überführt wurde.

In Abbildung 13 sieht man die Bandenmuster von drei Verdächtigen jeweils zweimal aufgetragen. Die letzten beiden Bandenmuster gehören zur Tatortprobe. Man erkennt gut, dass der dritte Verdächtige der Täter gewesen sein muss, da sein Bandenmuster mit jenem des Tatorts übereinstimmt.

Die oben beschriebene Methode ähnelt der älteren Methode des DNA-Fingerprints, dem sogenannten Restriktionsfragment-Längen-Polymorphismus (RFLP), bei dem das gesamte Erbgut zerschnitten und die resultierenden Bandenmuster miteinander verglichen wurden.



Abbildung 14: AG-Teilnehmer beim Experimentieren

IMMUNBIOLOGIE



Abbildung 15: Schülerinnen beim Pipettieren des ELISAs

Nach der Einführung in die relevanten theoretischen Details der spezifischen humoralen und zellulären Immunantwort, wurde zunächst der Antigen-Schnelltest vertieft behandelt. Hier dient der sogenannte ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) als methodische Grundlage. Daneben wurden auch der Antikörpertest bzw. der RT-PCR-Test besprochen. Bei letzterem wird zunächst die virale RNA mit dem Enzym Reverse Transkriptase in DNA umgeschrieben, worauf sich eine PCR (Polymerase Kettenreaktion) anschließt. Bei dieser werden spezifische virale Gene mit Hilfe von Sonden nachgewiesen. Im weiteren Verlauf der AG konnten die Schülerinnen und Schüler dann auch selbst eine PCR durchführen.

PROTEINFINGERPRINT

Im neu aufgebauten Schullabor des NaT-Working Projekts Molekularbiologie des Regierungspräsidiums Freiburg am Rotteck-Gymnasium hatten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit einen Proteinfingerprint durchzuführen. Dieses Testverfahren ermöglicht es u.a. aufgrund der Analyse der Proteinzusammensetzung eine unbekannte

Fleischprobe einwandfrei zu identifizieren. Hierfür wurde den Schülern eine unbekannte und fünf bekannte Fleischproben zur Verfügung gestellt.



Abbildung 16: Vorbereitung der Gelelektrophorese für den Proteinfingerabdruck im Labor des Rotteck-Gymnasiums

Durch Isolation und Denaturierung der Proteine der Proben und deren gelelektrophoretische Auftrennung konnten die Schüler die Herkunft der unbekannten Fleischprobe ermitteln.

Angeleitet wurde das Experiment durch Jacob Friedrich vom Rotteck-Gymnasium. Neben den Teilnehmern des Kurses „Moderne Methoden der Biologie“ konnten weitere Freiburg-Seminaristen anderer AGs am Experiment teilnehmen.

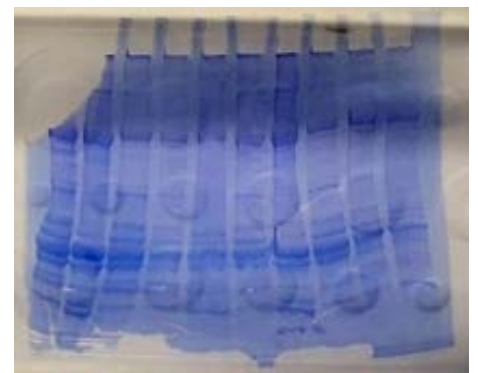


Abbildung 17: Ergebnis des Proteinfingerabdrucks

Autor: Ingo Kilian

Chemie AG - „Chemie eine bunte Sache“

EINBLICK IN DIE FASZINIERENDE WELT VON CHEMIE UND FARBEN

Das vergangene Jahr stand bei der Chemie-Mittelstufen AG ganz im Zeichen der faszinierenden Welt von Chemie und Farben. Im Rahmen spannender Projekte und Experimente durften 7 Schülerinnen und 3 Schüler erleben, wie Wissenschaft und Kreativität Hand in Hand gehen können. Dabei lernten die Schüler*innen, wie Farben auf atomarer Ebene entstehen, Farben auch eine „Funktion“ besitzen und welche Anwendung sie in Wissenschaft und Alltag erfüllen.

FUNKEN, FARBEN UND ATOME

Der Auftakt unserer Reise in die Welt der Chemie und Farben begann mit der Herstellung von eigenen Wunderkerzen. Doch es ging nicht nur um das Staunen über den glitzernden Funkenregen – wir tauchten tief in den Zusammenhang zwischen dem Aufbau von Atomen und den entstehenden Farben ein. Dieses Experiment eröffnete uns eine neue Perspektive auf die faszinierenden Wechselwirkungen der chemischen Elemente und angeregter Elektronen.



Abbildung 18: Wunderkerze

SPRUDELNDE IDEEN: LAVA-LAMPEN UND BRAUSERAKETEN

Mit einer Mischung aus Chemie und Physik entstanden in einem weiteren Projekt farbenfrohe Lavalampen und Brauseraketen. Die Schüler*innen lernten, wie durch einfache chemische Reaktionen mit Hilfe von Haushaltschemikalien, wie

Zitronensäure und Natron, durch das Entstehen von Kohlenstoffdioxid, beeindruckende visuelle Effekte erzielt werden können und wie sich die Dichte von Flüssigkeiten auf das Verhalten dieser faszinierenden Objekte auswirkt.

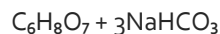


Abbildung 19: sprudelnde Lavalampe

LEUCHTENDE MOMENTE: FLUORESZIERENDE BUBBLES-NACHTLEUCHTSTERNE

Um fluoreszierende Bubbles zu erhalten, mussten aus Knicklichtern die Glasampullen mit dem entsprechenden Farbstoff herausgeholt werden. Dieser wurde dann zu einer Natriumalginatlösung gegeben und diese, wie in der Molekarküche, in eine Calciumchlorid-Lösung getropft. Dabei bildeten sich, bei richtiger Durchführung, kleine Kugeln, die Bubbles. Gibt man zu diesen Bubbles nun eine Wasserstoffperoxidlösung, dann wird der Farbstoff zum Leuchten angeregt, man spricht von Chemolumineszenz. Dieses Leuchten konnte man besonders gut im Dunkeln beobachten. Die Schüler*innen hatten viel Spaß dabei, verschiedene Formen und Schriftzüge zum bunten Leuchten zu bringen.

Aber Bubbles gibt es nicht nur in bunt, sondern auch in lecker. Dazu wurden verschiedene Fruchtpräpares in Alginatbällchen eingeschlossen und damit aromatische Bubbles für Bubble Tea hergestellt.



Abbildung 20: Eintropfen der Fruchtlösung in CaCl_2

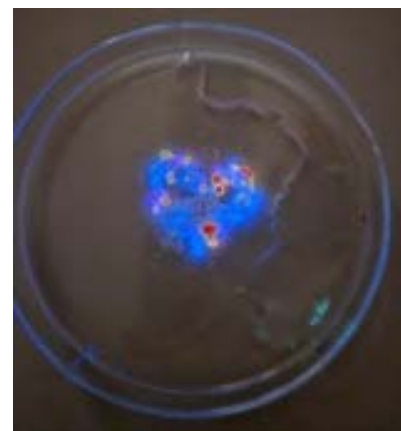
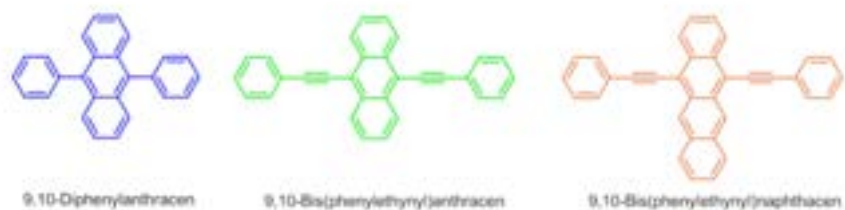


Abbildung 21: fluoreszierende Bubbles



Quelle: → Redaktion SimplyScience.ch

Abbildung 22: Fluoreszenzfarbstoffe aus Knicklichtern

Zum gleichen Thema wurden aus Styroporresten, Essigsäureethylester und Nachleuchtpigmenten verschiedenfarbig leuchtende Nachleuchtfiguren in Plätzchenformen gegossen. Diese konnten mit UV-Schwarzlichtlampen zum Leuchten angeregt werden.

WISSENSCHAFT TRIFFT ALLTAG: KOSMETIK UND FASCHING

Passend zur Faschingszeit kombinierte die Gruppe Wissenschaft mit Kreativität, indem sie eigene Produkte wie Creme, Sonnencreme und Schminke herstellte. Zum Thema Sonnencreme erfolgte auch eine Exkursion zu Novartis nach Basel. Dort wurde dann eine selbst hergestellte Sonnencreme mit Titandioxid auf ihren UV-Schutz getestet. Dieses Projekt verdeutlichte, wie chemisches Wissen genutzt werden kann, um individuell abgestimmte Alltagsprodukte zu entwickeln. In verschiedenen Experimenten wurde die Filterwirkung und Absorptionskraft des Titandioxids in verschiedenen Konzentrationen untersucht.

NATÜRLICHE FARBEN: OSTERN MAL ANDERS



Abbildung 23: Vorbereitung der Ostereier

Zu Ostern stand die Chemie der Natur im Mittelpunkt. Mit verschiedenen

Pflanzenstoffen und Techniken wurden Ostereier gefärbt. Dabei erkundeten die Jugendlichen die Vielfalt der natürlichen Farbpalette und lernten, wie chemische Prozesse die Farbintensität und Haltbarkeit beeinflussen können.



Abbildung 24: Fertiges Ergebnis der Ostereier

SCHREIBEN – KORRIGIEREN – MALEN: GEHEIMNISSE DER TINTE – AQUARELLFARBEN

Ein besonderes Highlight war die Entwicklung von dokumentenechter Tinte und eines Tintenkillers. Die Schüler*innen erforschten die chemischen Grundlagen hinter diesen alltäglichen Gegenständen und erlebten, wie Chemie das Schreiben und Löschen revolutionieren kann. Ausgehend von Vorversuchen mit Tee, Tannin, Eisennägeln, Eisentabletten und Galläpfeln, mussten die Schüler*innen eigene Rezepte entwickeln und auf zwei verschiedene Arten eine dokumentenechte Tinte herstellen.



Abbildung 25: Galläpfel

Danach wurden sie vor die Aufgabe gestellt, herauszufinden, warum ein „normaler“ Killer nicht funktioniert und welche Stoffe für diese Eisengallustinte geeignet sind.

Schnelle Schüler*innen stellten aus verschiedenen anorganischen Pigmenten noch Aquarellfarben her.

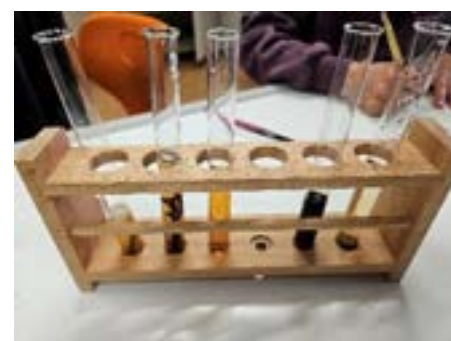


Abbildung 26: Vorversuche zur Eisengallustinte



Abbildung 27: Aquarellfarben

SÜßE EXPERIMENTE: CHEMIE IN DER KÜCHE

In einem kulinarischen Experiment kreierte die Gruppe klassische und vegane Gummibärchen. Dabei lernten sie die chemischen Eigenschaften von Gelatine und pflanzlichen Alternativen kennen und erhielten Einblicke in die Welt der Lebensmittelchemie.

FARBEN ENTSCHLÜSSELN: CHLOROPHYLL UND CHROMA- TOGRAFIE

Die Anwendung komplexerer wissenschaftlicher Messmethoden erfolgte bei der Analyse von Blattfarbstoffen mittels Chromatografie. Mithilfe eines Photometers untersuchten die Schüler*innen anschließend das Absorptionsspektrum der Farbstoffe Chlorophyll und Carotin und entdeckten die chemischen Geheimnisse hinter den grünen Farbtönen der Pflanzen.

FARBEN ZUM ANFASSEN: FÄRBEMETHODEN IM TEST

Zum Abschluss unseres farbenfrohen Jahres färbten wir Stoffe mit verschiedenen Methoden wie Küpen- und Beizenfärben und verschiedenen Naturstoffen und untersuchten, wie Chemie die Farbgebung beeinflusst. Ob Naturstoffe oder synthetische Farbstoffe – jedes Experiment brachte faszinierende Erkenntnisse. Dazu wurden Stoffe wie Indigo, Krappwurzel, Blauholz aber auch Kurkuma verwendet.



Abbildung 28: Beizen-gefärbte Seidentücher



Abbildung 29: Färben mit Kurkuma

Zusammenfassend war das vergangene Jahr für die Chemie-AG eine außergewöhnliche Reise voller Entdeckungen, bei der Wissenschaft, Kreativität und Alltagsbezug auf spannende Weise miteinander verwoben wurden.

Autorin: Tanja Seller

Chemie AG - „Bierbrauen - Entwicklung eines automatisierten Bioreaktors“

Entwicklung einer automatisierten Bierbrauanlage

PROLOG

Von der Kunst zur Wissenschaft: Ein Jahrhundert der Braukunst im Wandel.

In der Zeit um 1800, als die industrielle Revolution Europa erfasste, begann ein Wandel, der sich auch auf die Jahrtausende alte Tradition des Bierbrauens auswirkte. Bier, das einst in handwerklicher Kleinstarbeit und nach geheimen Familienrezepten gebraut wurde, begann sich langsam, aber sicher, zu einem Produkt industrieller Fertigung zu wandeln. Die Einführung neuer Technologien wie Dampfmaschinen und mechanischer Rührwerke veränderte das Brauhandwerk grundlegend und ermöglichte eine konstante Qualität und größere Produktionsmengen.

VON DER VERGANGENHEIT ZUR ZUKUNFT: AUTOMATISIERUNG IM KLEINEN MEISTERN

Die Geschichte zeigt uns, wie sich das Bierbrauen im Laufe der Zeit weiterentwickelt hat und wie Technik eine immer größere Rolle dabei spielte. Heute können wir viele Teile des Brauprozesses durch moderne Technologien weiter vereinfachen und verbessern. In unserem Seminarkurs wollen wir genau das ausprobieren, aber nicht im großen Stil wie in einer Brauerei, sondern im kleinen Rahmen.

Unser Ziel ist es, bestimmte Teile des Bierbrauprozesses zu automatisieren. Das kann zum Beispiel die Überwachung der Rasttemperaturen sein. Es geht nicht darum, eine riesige Anlage zu bauen, sondern um eine kleine, praktische Lösung, die zeigt, wie wir durch Technik einen Prozess verbessern können.

BIERBRAUEN

Um den Prozess des Bierbrauens besser zu verstehen, haben wir in unserem Seminarkurs selbst Hand angelegt und Bier

von Grund auf gebraut. Unser besonderer Fokus lag dabei auf dem Maischen, dem Schritt, den wir später auch automatisieren wollten.

Wir begannen mit dem Malzschroten, bei dem das Getreide, in unserem Fall, dass sogenannte „Pale-Ale Malz“, in einer einfachen Handmühle grob zerkleinert wurde. Diese Schrotung ist notwendig, um die im Malz enthaltene Stärke freizulegen, die später in Zucker umgewandelt wird.

ARBEITSBERICHTE DER TEAMS

Um die Fortschritte des Projekts in diesem Seminarjahr fortzusetzen arbeiteten wir in Teams, die sich mit Teilbereichen der Bierbrauanlage auseinandersetzten.

1. Deckel



Abbildung 30: Fertiger Deckel für den Braukochtopf

Wir mussten den Motor, zwei Schläuche für den Ausgleich des PH-Wertes, den PH-Sensor und den Temperatursensor in den Deckel einfügen.

Unser Becherglas hat einen Ausguss. Da wir aber einen Deckel haben wollten, der von oben das Becherglas umschließt, mussten wir eine Lücke lassen.

Problem war, dass der Motor starke Vibrationen verursacht hat. Deswegen haben wir eine Kuhle gebaut in den wir ihn reingelegt haben.

Wir haben die Löcher für die Sensoren exakt ausgemessen, aber da sich das heiße Plastik nach dem Drucken zusammengezogen hat waren die Löcher häufig zu klein. Aber nach einigen Versuchen haben wir doch noch die richtigen Maße gefunden.

2. Display und Temperaturregelung

In unserem Team haben wir uns auf die Temperaturregelung der Brauanlage konzentriert. Anfangs regelten wir die Temperatur eines 50-ml-Gefäßes (Abbildung 31) ganz simpel: zu warm – Heizung aus, zu kalt – Heizung an.

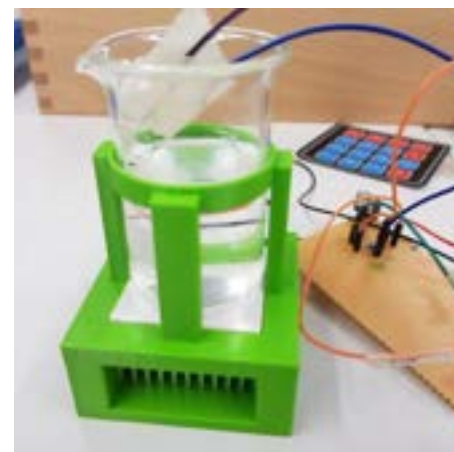


Abbildung 31: Aufbau der Brauanlage mit 50-Milliliter-Gefäß

Das führte zu Schwankungen von etwa $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Um das zu verbessern, haben wir eine PID-Regelung im Arduino-Code implementiert.



Abbildung 32: Temperaturregelung der on/off-Heizung in blau. Im Vergleich dazu die PID-Regelung der Temperatur in rot

Nach etwas Feintuning erreichten wir eine deutlich stabilere Temperatur mit nur noch $\pm 0,2^\circ\text{C}$ Abweichung – das zeigt auch unser Vergleichsdiagramm (Abbildung 32).

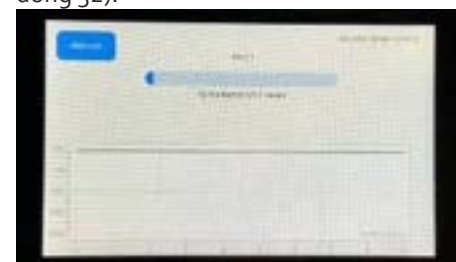


Abbildung 33: Display beim Start des Brauvorgangs

Außerdem sind wir vom Arduino UNO auf den leistungsfähigeren GIGA mit Touchdisplay umgestiegen. Darauf haben wir mit LVGL eine Benutzeroberfläche entwickelt, über die sich Temperatur und Zeit der Braurasten einstellen lassen. Das Display ist in Abbildung 33 zu sehen. Live-Daten wie Temperatur, Restzeit und ein Temperaturverlauf werden direkt angezeigt.

3. Rührwerk

Im Rahmen unseres Seminarprojekts zur Entwicklung einer automatisierten Bierbrauanlage entstand ein zentrales Modul: das Rührwerk. Ziel war es, einen bürstenlosen Gleichstrommotor (BLDC) so zu integrieren, dass er in einem großen Becherglas zuverlässig für die Umwälzung sorgt – mit einstellbarer Geschwindigkeit und stabiler Mechanik. Der fertige Aufbau ist in Abbildung 34 zu sehen.

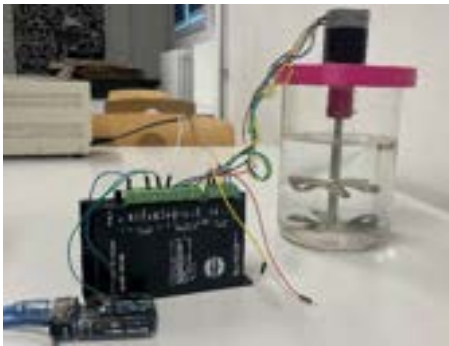


Abbildung 34: Treiber, Motor, Deckel und Rührer im fertigen Aufbau. Im Vordergrund ist der Arduino Mikro-Controller zu sehen

Das Rührwerk besteht aus einem leistungsfähigen BLDC-Motor, der über einen Treiber (Modell BLDC8015A) angesteuert wird. Der Motor ist mechanisch in einem eigens 3D-gedruckten Deckel montiert, der passgenau auf dem Becherglas sitzt. Eine zentrale Aussparung im Deckel ermöglicht dem Rotor freien Lauf, während zusätzliche Bohrungen den Einbau eines pH- und Temperatursensors sowie Schlauchanschlüsse für die spätere Flüssigkeitszu- und -abfuhr erlauben. Als Rührer verwenden wir einen gekauften Edelstahlrührstab, den wir per Säge exakt auf die benötigte Länge angepasst haben.

Besonders herausfordernd war die Regelung der Drehzahl. Ursprünglich versuchten wir dies per PWM über den

SPEED-Pin des Treibers, was jedoch nicht funktionierte – vermutlich, weil dieser nur als Ausgang konfiguriert ist. Selbst als wir es mit einer Tiefpassschaltung probierten – die auch zur ein oder anderen Explosion führte – blieb der Erfolg aus. Auch der analoge Eingang (AVI) führte zunächst zu keinem Erfolg, da der Treiber standardmäßig das interne Potentiometer zur Geschwindigkeitsregelung verwendet. Nachdem wir dies erkannt hatten, konnten wir den analogen Eingang aktivieren – vermutlich durch das Entfernen einer Brücke, die ursprünglich das interne Poti priorisierte. Am Ende reichte es aus, den AVI-Eingang direkt mit einem analogen Ausgangspin des Arduino zu verbinden. Dadurch konnten wir die Geschwindigkeit des Motors zuverlässig steuern, indem wir über den Arduino Werte im Bereich von 0 bis 256 ausgaben. Damit war die zentrale Steuerung des Rührwerks erfolgreich abgeschlossen.

4. pH-Wert Kontrolle

Unser Teil des Projekts bestand aus zwei Abschnitten.

Einmal die pH-Wert Messung und die Pumpensteuerung für die Anpassung des gemessenen pH-Werts.

Den Arduino-Code für die pH-Wert Messung haben wir von der Gruppe des letzten Jahres übernommen, erklärt bekommen und leicht angepasst. Für die Messung haben wir zuerst Kalibrierungswerte mit bekannten alkalischen und sauren Lösungen gesammelt, wodurch die pH-Werte der Maische später bestimmt werden können. Das hat recht schnell funktioniert und somit konnten wir den pH-Wert von unbekannten Lösungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1,5$ messen.



Abbildung 35: pH-Wert Messung mit Arduino

Als nächstes war die Steuerung der Pumpen dran, um den gemessenen pH-Wert zu verändern und dadurch den bestmöglichen Wert für unser Bier zu erreichen. Um die zunächst einzelne Pumpe zu steuern haben wir einen Transistor eingebaut und um weniger Wasser auf einmal durch die Pumpe laufen zu lassen einen Tiefpassfilter (Abbildung 36). Dass wir einen Tiefpassfilter brauchen, haben wir erst nach mehreren Versuchen gemerkt, als keine Veränderung des Codes zu Verbesserung geführt hat. Dieser Tiefpassfilter wandelt Wechselstrom (Spannungsquelle) in Gleichstrom um, indem er hohe Frequenzen blockiert und niedrige durchlässt.

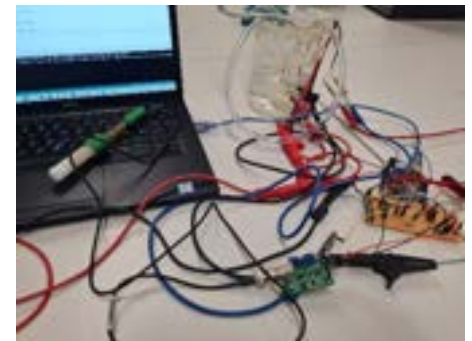


Abbildung 36: Pumpenansteuerung komplett mit pH-Sensor

Für die zweite Pumpe (um sowohl Basen als auch Säuren hinzufügen zu können), war der Plan, dieselbe Schaltung parallel zur ersten noch einmal anzulöten. Das hat auch soweit geklappt, jedoch ist uns ein kleiner Fehler unterlaufen. Wir hatten ein Elektronikteil, welches dieselbe Form wie der zuvor benutzte Transistor hat, eingebaut. Dies war jedoch keiner, was sich durch die Erhitzung des echten Transistors und des Kaltbleibens des anderen Bauteils herausstellte. Sobald wir also einen echten Transistor einbauten, funktionierte die gesamte Schaltung fast einwandfrei. Wir haben herausgefunden, dass es wichtig ist, den Strom nicht völlig auszuschalten, um keine verfälschenden Luftblasen in die Pumpen zu führen. Der aktuelle Stand ist also, dass beide Pumpen, auch in Kombination mit dem pH-Sensor, funktionieren und nur noch so programmiert werden müssen, wie sie dann beim Bierbrauen laufen sollen. Die erste Pumpe lässt sich verlässlicher programmieren als die zweite. Es muss noch zur Einstellung des pH-Werts in

Erfahrung gebracht werden, wie das Zusammenspiel aus ausströmender Menge und Konzentration der Titrierlösung zu pH-Änderung steht.

Dieses Projekt hat uns Geduld (immer erst ein paar Durchläufe lang ausprobieren) und das Achten auf Kleinigkeiten, sowie, dass auch kleine Probleme Lösungen erfordern, da auch diese kleinen Probleme eine große Wirkung auf das Gesamte haben können, gelehrt.

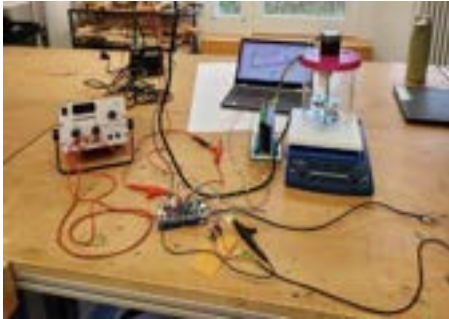


Abbildung 37: Pumpenansteuerung komplett mit pH-Sensor

AUSBLICK KOMMENDES SEMINARJAHR

Nachdem wir im Freiburg-Seminar weitestgehend erfolgreich den Maischprozess im kleinen Stil automatisiert haben, schauen wir optimistisch auf das kommende Jahr. Unser Ziel ist es, weitere Schritte zu automatisieren und dabei neue Ideen für die Umsetzung im größeren Maßstab zu entwickeln. Bisher haben wir uns auf den Maischprozess konzentriert, der ein wichtiger Schritt im Bierbrauen ist. Für das nächste Jahr planen wir, nicht nur die Sensorik weiter zu verfeinern, sondern auch andere Aspekte des Brauvorgangs zu untersuchen, die sich für eine Automatisierung eignen könnten.

Desweiteren werden wir versuchen noch weitere Einsatzgebiete für unsere Anlage auszuloten und erste Versuchsreihen im kleinen Maßstab umzusetzen. Wir sind gespannt auf die Herausforderungen und Möglichkeiten, die das kommende Jahr bringen wird, und freuen uns darauf, unser Projekt weiter auszubauen und zu verbessern.

Autoren: Simon Bendig & Dr. Josef Fürst

Chemie AG - „Molekularbiologie und Biochemie der Entwicklung“

Biochemie

ÄUßERE GEGEBENHEITEN

Die AG war auch dieses Jahr geprägt durch eine aufgeweckte Teilnehmer-schar, welche interessiert mitarbeitete. Ein herzlicher Dank in Form des traditionellen Eisessens am letzten AG-Tag ging an alle Schüler*innen, welche die AG in diesem Jahr bis zum Ende besucht haben:

Yiwen, Sara, Johanna, Nikolai, Julia, Moritz, Marlene, Magdalena und Lars.

ZIEL: LABORPRAXIS

Wie immer war das Ziel, die Infrastruktur der biotechnologischen Laboratorien der Merian-Schule zu nutzen, um die Schülerinnen und Schüler über die Beschäftigung mit grundlegenden Verfahren und Methoden der Biochemie und Molekularbiologie an praktisches wissenschaftliches Arbeiten heranzuführen. In diesem Jahr hat sich das Thema der AG geändert. Wir wollten versuchen, praktische Aspekte der molekularen Entwicklungsbiologie nachzuvollziehen. Dabei nutzten wir das genetische Modellsystem *Drosophila melanogaster*. Es zeigte sich, dass ein fundiertes Verständnis der Prinzipien der Entwicklungsgenetik auch eine detaillierte Einführung in die Grundlagen der Molekularbiologie nötig macht. Daher wurde der praktische Anteil des Kurses etwas reduziert.

GRUNDLAGEN

Laborsicherheit und gute Laborpraxis: Zunächst erfolgte eine Einweisung in das sichere Arbeiten im Labor. Erstmals thematisiert wurde hier auch die Wichtigkeit der Arbeitsplatzorganisation und das Zusammenspiel von Experimentieren und Aufzeichnen der eigenen Arbeiten im Sinne wissenschaftlicher Reproduzierbarkeit.

GENE, MUTANTEN UND PHÄNOTYPEN

Zunächst wurden anhand von Beispielen aus der Drosophila-Genetik genetische Grundbegriffe wie Gen, Mutation, Mutante und Allel erarbeitet. Das Grundprinzip der Genetik ist die Herstellung von Mutanten, welche sich phänotypisch, also in ihrem Aussehen, von ihren Eltern unterscheiden. Aus den Unterschieden zwischen dem mutierten und dem wildtypischen, unmutierten Gen kann man auf die Funktion des Gens bei der Entstehung der normalen Struktur des Organismus schließen.

DER LEBENSZYKLUS VON DROSOPHILA MELANOGASTER

Wir betrachteten die verschiedenen Lebensstadien der Fruchtfliege Drosophila. Es handelt sich um ein holometaboles Insekt, das heißt, die von den erwachsenen Tieren gelegten Eier entwickeln sich zunächst zu Larven. Diese wachsen sehr schnell in der Größe und lagern viele Fettvorräte ein. Nach der Verpuppung entwickelt sich in der Puppenhülle das adulte Tier, welches ca. 10 Tage nach der Eiablage aus der Puppenhülle schlüpft.



Abbildung 38: Mikroskopische Beobachtung verschiedener embryonaler Entwicklungsstadien von *Drosophila melanogaster*

Die Entwicklungsgenetiker haben am Modellsystem viele Erkenntnisse darüber gewonnen, wie Gene die Entwicklung dieser Prozesse steuern. In diesem Jahr standen die Methoden der Entwicklungsbiologie und auch deren chemische Grundlagen im Vordergrund.

DNA, PROTEINE UND REGULATION DER GENEXPRESSION

Um die Funktion von Genen verstehen zu können, muss man sich mit deren molekularen Grundlage beschäftigen. Proteine sind äußerst komplex aufgebaute hochmolekulare Naturstoffe mit einer teils sehr empfindlichen Raumstruktur, die sich aus der komplexen Faltung einer Aminosäurekette ergibt. Auf der einen Seite sind sie komplexe Moleküle, auf der anderen Seite kann man sie auch als nanoskopische Maschinen betrachten, welche komplexe Funktionen übernehmen können. Sie sind die wichtigsten Funktionsträger in der Zelle, welche spezifische Aufgaben in der Zelle übernehmen. Die Struktur der Proteine ist in der Basensequenz der DNA, also in den Genen aufgeschrieben. Wann und in welchen Zellen ein Protein exprimiert wird, entscheidet sich aufgrund der Regulation der Genexpression durch Signale von innerhalb und außerhalb der Zelle. Wir betrachteten die Struktur von Genen exemplarisch am Beispiel des Insulins.

In der Folge wurden in diesem Kurs verschiedene Methoden betrachtet und durchgeführt, mit denen die Expression von Genen direkt im Organismus betrachtet werden kann.

ENHANCER TRAPPING

In der Entwicklungsbiologie betrachtet man die Wirkung von Genen auf die Entstehung von Strukturen in Organismen. Enhancer trapping ist eine Methode, bei der ein Reportergen mit einem schwachen Promoter zufällig irgendwo im Genom eingefügt wird. Kommt der schwache Promoter des Reportergens unter den Einfluss der regulatorischen Region eines Entwicklungsgens, so wird das Reportergen im gleichen Muster exprimiert wie das Entwicklungsgen. Wir verwendeten zwei Fliegenstämme, um diese Methode kennenzulernen.

In der Line nub-gfp wird das green fluorescent Protein (GFP) im gleichen Muster exprimiert wie das Entwicklungsprotein Nubbin.

Das Reportergen GFP wurde direkt mit dem Fluoreszenzmikroskop dargestellt. Dabei konnte z.B. gezeigt werden, dass

nubbin im Embryo in verschiedenen Nervenzellvorläufern exprimiert wird.

NACHWEIS DER EXPRESSION VON PROTEINEN DURCH SDS-PAGE UND WESTERN BLOT

Eine wichtige Methode in der Molekularbiologie zur Analyse von Proteinen ist SDS-PAGE. Dabei werden Proteine zunächst unter der Einwirkung von Natriumdodecylsulfat denaturiert und einheitlich mit einer negativen Ladung versehen, dazu die Disulfidbrücken mittels Dithiothreitol reduziert. Die negativ geladenen Proteine wandern dann abhängig von der Länge der Proteinkette mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch ein Gelnetzwerk. Wir führten diese Methode mit unterschiedlichen Körperteilen von adulten Fliegen erfolgreich durch. Dabei ermittelten wir zunächst die optimale Menge an Probenmaterial, um zu guten Gelbildern zu kommen. Anschließend versuchten wir, anhand der Gelmuster, Unterschiede in der Genexpression zwischen Kopf, Thorax und Abdomen zu finden. Die Ergebnisse hier waren nicht eindeutig, da eine Identifikation einzelner Banden in einem SDS-Gel aus einem Gewebe relativ schwierig ist.

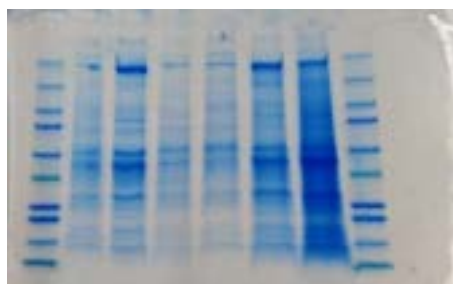


Abbildung 39: SDS-PAGE von Proteinlysaten aus Kopf, Thorax und Abdomen von *Drosophila*. 1, 8: Proteingrößenstandard, 2, 5: Kopf, 3, 6: Thorax, 4, 7: Abdomen. Aufgrund des Musters kann man erkennen, dass die Genexpression sich in den analysierten Körperteilen teilweise unterscheidet.

Daher versuchten wir anschließend noch, einen Western Blot durchzuführen, bei dem einzelne Proteine des Gelmusters spezifisch durch Antikörper markiert werden. Die Antikörper können dann durch eine enzymkatalysierte Farbreaktion nachgewiesen werden. Der Blot selbst war nicht eindeutig auswertbar und wurde aus Zeitgründen nicht

wiederholt. Hier muss im nächsten Jahr weitergearbeitet werden.

NACHWEIS DES VERTEILUNGSMUSTERS VON PROTEINEN DURCH IMMUNHISTOCHEMIE

Antikörper können nicht nur im Western Blot verwendet werden. Die Markierung von Proteinen kann man auch direkt im Gewebe durchführen. Diese Methode wollten wir an *Drosophila*-Embryonen etablieren. Das Problem dabei ist, dass vor der Zugabe von Färbungsreagenzien zunächst die Eihülle entfernt werden muss. Dies geschieht in zwei Schritten zunächst unter der Einwirkung von Natriumhypochlorit, welches die äußere Eihülle auflöst. Danach muss fixiert werden. Wir versuchten, ein Protokoll zur Fixierung zu etablieren, welches ohne die Einwirkung des in der Schule verbotenen Fixiermittels Formaldehyd auskommt. Dazu sollte ein Protokoll mit dem in der Schule erlaubten Fixiermittel Glyoxal etabliert werden. In einem ersten Vorversuch wurde die Herstellung von säurefreiem Glyoxal in Angriff genommen, allerdings nicht erfolgreich zum Abschluss gebracht. Dieser Versuchsteil soll im nächsten Jahr weiter betrieben werden.

BETRACHTUNG DER GRUNDLEGENDEN MUSTERBILDUNGSPROZESSE DER EMBRYONALENTWICKLUNG

Nach der praktischen Beschäftigung mit der Struktur von Embryonen sollte zumindest im Ansatz betrachtet werden, wie denn nun Gene die Entwicklung von der befruchteten Eizelle, einer Zelle mit einem einzelnen Zellkern, zu einer kompliziert aufgebauten Larve steuern. Dazu beschäftigten wir uns mit den genetischen Grundprinzipien der Differenzierung von Zellen aufgrund unterschiedlicher Genexpression. Anhand von Videos einer Einführungsvorlesung von Eric Wieschaus konnte eine Vorstellung von der Musterbildung anhand von asymmetrischer Verteilung von Musterbildungsgenen erreicht werden. Eine Reihe von selbsterstellten Arbeitsblättern ermöglichte den Teilnehmern, eine vertiefte Vorstellung vom Zusammenspiel der Gene und Proteine bei der

Entstehung der anteroposterioren und der dorsoventralen Körperachsen.

ENTSTEHUNG DER AUGENFARBE DURCH DAS ZUSAMMENSPIEL VON VERSCHIEDENEN TRANSPORTPROTEINEN UND ENZYMEN

Die Augen von *Drosophila* sind leuchtend rot. Der Farbeindruck entsteht durch das Vorhandensein einer Reihe von unterschiedlichen, meist braunen und rötlichen Farbstoffen. Auch an diesem Beispiel sollte der Zusammenhang zwischen Phänotyp (rote Augen) und Genotyp untersucht werden. Die Farbstoffe entstehen aus zellulären Vorläufersubstanzen unter dem Einfluss von Enzymen. Ist ein Gen, welches für eines dieser Enzyme codiert, aufgrund einer Mutation verändert und dadurch die Enzymwirkung beeinträchtigt, so kommt es zum Verlust eines oder mehrerer Augenfarbstoffe. Dies resultiert in einer Änderung der Augenfarbe. Um die Augenfarbstoffe näher untersuchen zu können, wurden im Labor zwei Methoden zur Trennung der Farbstoffe mittels TLC (Dünnschichtchromatographie) versucht. Die ersten Ergebnisse waren ermutigend und die Methode soll im nächsten Schuljahr optimiert werden. Anschließend können dann unterschiedliche Augenfarbenmutanten auf das Vorhandensein bestimmter Farbstoffe untersucht werden.

FAZIT

Der Schwerpunkt in diesem Jahr lag weniger als sonst auf der praktischen Durchführung der Methoden. Dafür wurde mehr Zeit frei, um das Verständnis der zugrundeliegenden Prinzipien der Entwicklungsbiologie anzugehen. Es entwickelte sich eine freundliche Arbeitsatmosphäre in Praxis und Theorie, geprägt von gut motivierten und interessierten Schülerinnen und Schülern mit vielen interessanten Fragen.

Autor: Dr. Bernhard Bonengel

Geografie AG - „Zukunftsperspektiven - globale Herausforderungen und Lösungsansätze“

In der AG Zukunftsperspektiven ging es auch dieses Schuljahr darum, einige der transformativen globalen Herausforderungen besser zu verstehen und herauszuarbeiten, wie man als Mensch und wie die Menschheit sinnvoll und produktiv damit umgehen kann.

Wie starteten in das Schuljahr mit der Frage, wie realistisch die Schüler*innen den Zustand der Welt einschätzen. Dazu nutzten wir das Factfulness Quiz (factfulnessquiz.com) zum gleichnamigen Buch von Hans Rosling. Es stellte sich heraus, dass die Schüler*innen den Entwicklungsstand vieler Regionen der Erde recht systematisch schlechter einschätzten als er der Datenlage nach ist. Das ist nicht untypisch – die meisten Menschen in westlichen Gesellschaften machen diesen Fehler. Mit dieser Erkenntnis gingen wir auf die Suche nach den Ursachen und möglichen Lösungen: Überrepräsentation negativer Nachrichten in den Medien, die psychologische Tendenz, sich Negatives mehr einzuprägen als Positives und die Tatsache, dass positive Entwicklung in der Regel in kleinen, vermeintlich kaum berichtenswerten Schritten verläuft im Gegensatz zu großen Negativereignissen wie Hungersnöten, Kriegen und Naturkatastrophen, von denen man entsprechend viel öfter erfährt.

Ausgestattet mit diesen Einsichten untersuchten wir die Art und Weise, wie über „Zukunftsthemen“ in den Medien berichtet wird und was nötig ist, wenn wir sie möglichst objektiv und auf der Basis von Daten verstehen wollen. Die Schülerinnen und Schüler lernten, Informationen kritisch zu hinterfragen, nach Quellen zu suchen und Hintergründe zu analysieren. Anschließend wandten sie diese neu erworbenen Fähigkeiten auf selbst gewählte Themen, wie z.B. die Hitzeregulierung in Großstädten, der Frage nach einer effektiven Klimapolitik oder auch dem Einfluss der Energiewende auf den Klimaschutz an.

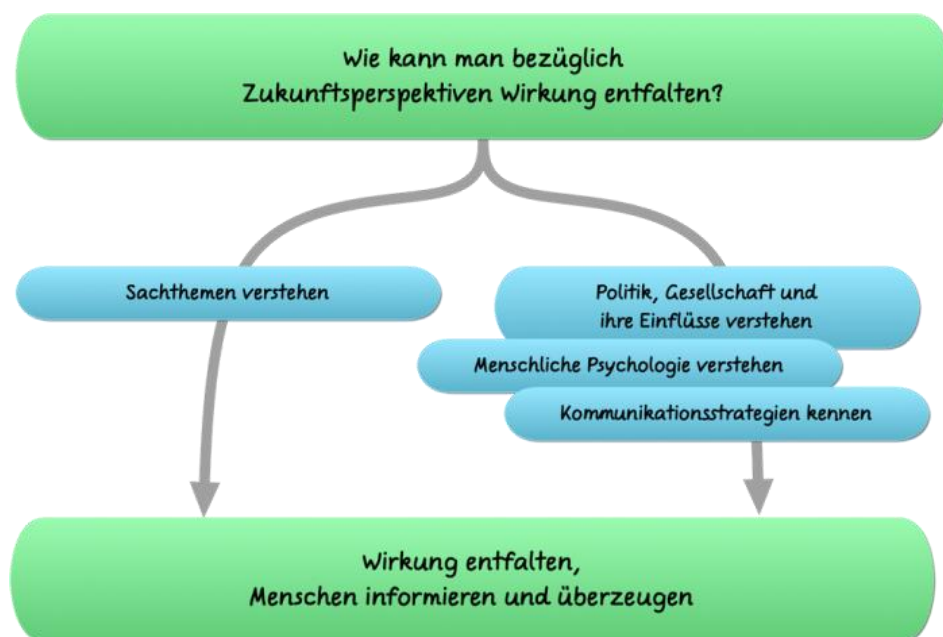


Abbildung 40: Wie kann man bezüglich Zukunftsperspektiven Wirkung entfalten?

Eine Idee kann sich nur dann effektiv verbreiten, wenn Menschen in der Lage sind, sie klar und nachvollziehbar zu kommunizieren. Daher stand als nächstes die Frage auf dem Plan, wie man sein Fachwissen anderen Menschen in einem effektiven Vortrag vermitteln kann. Die Schüler*innen vertieften also ihre Präsentationskompetenz und stellten am Ende ihre Vorträge der Gruppe vor.

Nun schwenkten wir auf die zentrale globale Herausforderung des 21. Jahrhunderts ein: den Klimawandel. Wir erarbeiteten die physikalischen Grundlagen des Strahlungshaushalts der Erde und lernten, warum dieses Wissen zentral für das Verständnis des Klimawandels ist. Anschließend vertieften wir uns in die wissenschaftliche Datenlage zum Klimawandel und lernten zahlreiche Lösungsansätze zur Eindämmung der Klimakrise kennen.

Wenn man sich mit dem Thema Klimawandel beschäftigt, kommt irgendwann unweigerlich die Frage auf, warum so viele Menschen ihr Verhalten nicht ändern möchten, obwohl die Sachlage so klar zu sein scheint. Also stiegen wir in die Psychologie ein und erkundeten, welche psychologischen Mechanismen dahinterstecken und wie man Menschen überzeugen kann, ohne sie zu brüskieren oder auf der menschlichen Ebene zu „verlieren“.

Am Ende des Schuljahres sollte noch einmal ein methodischer Ansatz mit einem inhaltlichen kombiniert werden: In Zeiten von allgegenwärtiger KI-Nutzung bestand die Aufgabe darin, einen Lösungsansatz für eine globale Herausforderung in einem eigenen Text klar und strukturiert darzustellen – mithin also die eigenen Gedanken so in die Schriftform zu übertragen, dass andere Menschen die eigenen Ideen gut nachvollziehen können.

Verschiedene KI-Tools sollten dazu genutzt werden, die Ergebnisse der Recherche besser zu verstehen und den eigenen Text zu verbessern. Trotz sommerlicher Hitze und dem fortgeschrittenen Schuljahr verliefen die AG-Sitzungen sehr konzentriert und alle arbeiteten intensiv an ihren Texten.

Auch dieses Schuljahr hatte der AG-Leiter große Freude daran, sich mit den Schülerinnen und Schülern quer durch die globalen Herausforderungen zu arbeiten und gemeinsam Inhalte, Methoden und menschliche Begegnung zu kombinieren.

Autor: Andreas Kalt

Informatik AG - „Handy Apps - Ein Programmierkurs für Einsteiger*innen“

HANDY PROGRAMMIERUNG MIT DEM APP INVENTOR

Die AG Handyprogrammierung wurde in diesem Jahr zum fünften Mal angeboten. Da sich viele Schülerinnen und Schüler angemeldet hatten, wurde die AG als halbjährige AG für 2 Gruppen angeboten.

Mit der ursprünglich von Google entwickelten und dann vom [Massachusetts Institute of Technology](#) (MIT) bereitgestellten Entwicklungsumgebung **App Inventor** können Programme für Android Geräte entwickelt werden. Per Drag and Drop können in dieser Umgebung sehr leicht Apps entwickelt und direkt getestet werden. Während der Programmierung wird die entstehende Anwendung bereits über die **App Inventor** App auf das Endgerät übertragen und kann direkt getestet werden. Ist die Anwendung fertig programmiert, kann eine entsprechende APK Datei (Android Package Kit) erstellt werden, und die App damit dauerhaft auf dem Handy installiert werden.

Die Programmierungsumgebung teilt sich in einen Teil, in dem das Design der App erstellt wird und in einen Teil, in dem die Programmierung der App erfolgt. Über die graphische Programmierungsumgebung kann auf alle wesentlichen Funktionen der Endgeräte zugegriffen werden. Sehr motivierend ist, dass man schnell zu Ergebnissen kommt, die direkt auf dem Handy getestet werden können.

In der AG wurden verschiedene Programme aus unterschiedlichsten Bereichen entwickelt.

Nach einer Einführung und kleineren Programmierversuchen war das erste größere Projekt eine App zum Kopfrechnen.

Auf unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus wird dabei gegen einen virtuellen Gegner um die Wette gerechnet. Richtige Ergebnisse bewegen einen Ball auf einem Fußballfeld in Richtung des gegnerischen Tores. In die andere Richtung wird der Ball, je nach eingestellter Schwierigkeit, unterschiedlich schnell durch einen Timer bewegt. Im Rahmen dieses Projektes konnten die

wesentlichen Elemente der Programmierungsumgebung sowie zentrale Bausteine der Programmierung erklärt werden. Es wurde thematisiert, wie Objekte auf der Spieloberfläche angesteuert werden, wie ein Timer funktioniert und welche Strukturen es in einer Programmiersprache gibt.



Abbildung 41: Darstellung der Spieloberfläche im App Inventor

Nach diesem ausführlichen und kleinschrittigen Einstieg folgte eine freiere Arbeitsphase. Es sollten kleine Spiele programmiert werden, in denen Objekte auf der Spielfläche bewegt und zur Kollision gebracht werden. Gemeinsam wurde zunächst in kleinen Programmen das notwendige Wissen erarbeitet. Dann wurden erste kleine Spiele programmiert, die an die klassischen Tennisspiele aus der Anfangszeit der Computerspiele erinnerten. Zur Steuerung der Objekte wurde neben Steuerungstasten auch der Bewegungssensor des Handys eingesetzt. Nachdem die Schüler*innen das notwendige Grundwissen in diesem Bereich vermittelt bekommen hatten, gab es eine offene Aufgabenstellung.

Es sollten verschiedene Spieloberflächen gestaltet werden, auf denen man einen Ball auf unterschiedliche Weise bewegen konnte. Die Ballbewegung konnte über

eine Fingerbewegung auf dem Display, über Tasten oder über die Nutzung des Beschleunigungssensors erfolgen. Die Schüler*innen freuten sich über das offene Arbeiten und kamen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Im letzten Teil des Kurses erstellte die erste Gruppe Programme in denen weitere Sensoren und Medien der Endgeräte genutzt wurden.

Besonders begeistert waren die Teilnehmer*innen von einer Übersetzungsapp, in der der zu übersetzende Text sowohl über die Tastatur eingegeben werden als auch über die Spracherkennung eingegeben werden konnte. Die Übersetzung in eine der klassischen Schulsprachen erfolgte durch die Auswahl der entsprechenden Länderflagge. Neben den klassischen Schulsprachen suchten die Schüler*innen nach weiteren Sprachen, in die der Text übersetzt und dann vorgelesen werden konnte. Die Sprachenwahl wurde dabei auf verschiedene Arten umgesetzt. So konnte man in einer der Apps die Sprache über die Ländererkennung wählen, während in einer anderen App die Wahl durch ein Auswahlménü erfolgte.

Die zweite Gruppe versuchte in den letzten Sitzungen mit viel Engagement eine Version des Spiels *Impostor* zu programmieren und mit eigenen Ideen zu ergänzen. Dabei spielten insbesondere zufällige Auswahlen und Speichermöglichkeiten eine wichtige Rolle.

Im Laufe der AG wurde den Teilnehmer*innen des Kurses auch ein kurzer Einblick in den Google Playstore gegeben. Dabei ging es um den Zugang zum Playstore wie auch um die Anforderungen, die eine App erfüllen muss, um im Playstore veröffentlicht zu werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Kurs neben einer Einführung in die Programmierung auch einen Einblick in die Entstehung einer App, von der Ideenfindung über die grafische Umsetzung bis zur Fertigstellung, gegeben hat.

Autor: Peter Spitznagel

Informatik AG - „Algorithmik - fit für den Jugendwettbewerb Informatik und mehr“

Zu Beginn des Kurses haben wir Einstiegsaufgaben des Jugendwettbewerbs Informatik (JW Inf) zum Erlernen der wichtigsten Kontrollstrukturen, Zerlegung von Problemen in Teilprobleme, Nutzen von Variablen, Parametern und Unter-programmen bis hin zu Listen und Strings als Datenstrukturen bearbeitet.



Abbildung 42: Code 1

Eingabe:
54
62
48
53
64
67

Abbildung 43: Eingabe 1

Ausgabe:
166

Abbildung 44: Ausgabe 1

Anschließend wurden diese vielen Bausteine durch Anwendung und vertiefende Übungen mit Aufgaben des Jugendwettbewerbs Informatik Runde 1, 2 und 3 aus den Vorjahren geübt, vertieft und in Projekten genutzt. Dabei haben wir die gestellten Probleme im Pairprogramming gelöst und auch Lösungsplanungen erstellt.



Abbildung 45: Junioraufgabe Code Ablaufsteuerung



Abbildung 46: Junioraufgabe Code Debugging und Ausgabe



Abbildung 47: Junioraufgabe Code Teil 1

Datenzustand nach Einlesen der Eingabe:

Aktueller Zustand

AnzahlTüten: 11
AnzahlSorten: 5
AnzahlJeSorte: 2,11,6,2,1

Tüte 1: 0,0,0,0,0
Tüte 2: 0,0,0,0,0
Tüte 3: 0,0,0,0,0
Tüte 4: 0,0,0,0,0
Tüte 5: 0,0,0,0,0
Tüte 6: 0,0,0,0,0
Tüte 7: 0,0,0,0,0
Tüte 8: 0,0,0,0,0
Tüte 9: 0,0,0,0,0
Tüte 10: 0,0,0,0,0
Tüte 11: 0,0,0,0,0

Abbildung 48: Junioraufgabe Ausgabe Teil 1



Abbildung 49: Junioraufgabe Code Teil 2

Datenzustand nach Verteilen Schritt 1:

Aktueller Zustand

AnzahlTüten: 11
AnzahlSorten: 5
AnzahlJeSorte: 2,11,6,2,1

Tüte 1: 0,1,1,0,0
Tüte 2: 0,1,1,0,0
Tüte 3: 0,1,1,0,0
Tüte 4: 0,1,1,0,0
Tüte 5: 0,1,1,0,0
Tüte 6: 0,1,1,0,0
Tüte 7: 0,1,1,0,0
Tüte 8: 0,1,1,0,0
Tüte 9: 0,1,1,0,0
Tüte 10: 0,1,1,0,0
Tüte 11: 0,1,1,0,0

Abbildung 50: Junioraufgabe Ausgabe Teil 2



Abbildung 51: Junioraufgabe Code Teil 3

Datenzustand nach Verteilen der Reste:

Aktueller Zustand

AnzahlTüten: 11
AnzahlSorten: 5
AnzahlJeSorte: 2,11,6,2,1

Tüte 1: 1,1,1,0,0
Tüte 2: 1,1,1,0,0
Tüte 3: 0,1,2,0,0
Tüte 4: 0,1,2,0,0
Tüte 5: 0,1,2,0,0
Tüte 6: 0,1,2,0,0
Tüte 7: 0,1,2,0,0
Tüte 8: 0,1,2,0,0
Tüte 9: 0,1,1,1,0
Tüte 10: 0,1,1,1,0
Tüte 11: 0,1,1,0,1

Abbildung 52: Junioraufgabe Ausgabe Teil 3

Im Frühjahr sind wir dann ein wenig in Python eingestiegen und haben in dieser Sprache einfache Anweisungen, Verzweigungen, bedingte Anweisungen und Wiederholungen in der JW Inf Umgebung und übergehend dann auch in Thonny als unabhängigem Werkzeug kennengelernt.

Da es Interesse aus der Gruppe an der Übersetzung von einer Hochsprache zur Prozessoranweisung gab, haben wir uns den Bonsai-Rechner angeschaut und eine Vorstellung von Assembler- und Maschinensprache entwickelt. Mit dem Spiel Human Resource Machine haben

wir Erfahrungen in der Assemblerprogrammierung gesammelt.



Abbildung 53: Junioraufgabe Bild

In Vorbereitung der Runde 3, die im Herbst startet, haben wir dann Python-Aufgaben mit Thonny bearbeitet: Wir haben Textadventures implementiert. Die drei Projektideen aus den Teams:

- Eine Weltreise mit Aufgaben und Überraschungen, an den unterschiedlichen Stationen.
- "Spiel des Lebens" - von Geburt an treffen wir (oder andere) Entscheidungen, die unseren Lebensweg beeinflussen. Diesen Weg kann man mit diesem Adventure durchlaufen - manchmal sind die Entscheidungen selbstgesteuert (z.B. möchtest du studieren oder eine Ausbildung machen?), manchmal zufällig (du gewinnst im Lotto...) und manchmal von anderen bestimmt (beispielsweise in einem Multiplayer-Modus, in dem nur einer der Spieler einen bestimmten Beruf ergreifen kann).

Für die Umsetzung der Spiele haben wir professionelle Entwicklungsmethoden kennengelernt: den agilen Zyklus.

Für die Umsetzung waren folgende Programmierkonstrukte notwendig:

- einfache Anweisungen
- Verarbeitung von Nutzereingaben und deren Normalisierung
- Verzweigungen und bedingte Anweisungen
- Schleifen
- Variablen (z.B. Punktestand, Leben, ...)
- Datenstrukturen (z.B. Listen für einzusammelnde Gegenstände)

Im nächsten Jahr wollen wir daran weiterarbeiten und uns grafische Elemente sowie das Laden von Bildern, Ton und Videos aus Dateien aneignen. Damit wird aus dem einfachen Textadventure dann

ein medial angereichertes Computerspiel.

Parallel zur Implementierung der Textadventures haben wir am Jugendwettbewerb Informatik teilgenommen.

Februar: Proberunde zur 1. Runde

März: Teilnahme am JW Inf 1. Runde -
Ergebnisse: 7 erste Plätze, 1 zweiter Platz

Mai: Teilnahme am JW Inf 2. Runde -
Ergebnisse: 2 erste Plätze, 4 zweite Plätze

Acht Teilnehmer der AG sind für die Endrunde des Jugendwettbewerbs qualifiziert - wir sind also gespannt auf den Herbst!

Nach der zweiten Runde haben wir dann mit dem Training für Runde 3 begonnen: wir haben die Junioraufgaben aus dem Vorjahr bearbeitet und in kleinen Teams Lösungsideen entwickelt und dann in Programme umgesetzt.

Im September startet dann die Teilnahme am JW Inf 3. Runde und BW Inf - wir haben bereits Teams für diese Wettbewerbe gebildet, damit die Bearbeitung direkt mit Start des Wettbewerbs Anfang September beginnen kann.

Autorin: Leonore Dietrich

Informatik AG - „Virtuelle Welten im Computer erstellen“

EINLEITUNG

Um moderne Computerspiele mit fotorealistischer 3D-Grafik zu entwickeln, bedarf es bedeutender Anstrengungen. Dazu gehört auch die Entwicklung neuer mathematischer Algorithmen zur Berechnung von Oberflächeneigenschaften und Lichtverhältnissen. Um den erheblichen Rechenaufwand zu bewältigen, wurden Grafikkarten entwickelt, die speziell für diese Rechenoperationen optimiert sind. Die Berechnungen von Grafikkarten unterscheiden sich von denen herkömmlicher CPUs dadurch, dass sie in größerem Maße parallel ablaufen. Ein bedeutender Nebeneffekt dieser Entwicklung ist der Durchbruch in der Verwendung neuronaler Netze, die auf diesen ursprünglich für Computerspiele entwickelten Grafikkarten berechnet werden.

Virtuelle Welten finden jedoch nicht nur in Computerspielen Anwendung. Ein Beispiel hierfür ist Augmented Reality, das in der industriellen Fertigung komplexer Geräte mit großem Erfolg eingesetzt wird.

PROGRAMMIERUNG IN JAVASCRIPT MIT DER [P5.JS](#) BIBLIOTHEK

Zum Einstieg haben wir uns mit der Programmierung eines einfachen 2D-Spiels in JavaScript beschäftigt, das im Browser läuft. Javascript bietet den Vorteil, dass es nicht nur auf PCs, sondern auch auf Tablets oder Smartphones läuft, wobei kein spezieller Compiler installiert werden muss, da die Programme vom Browser ausgeführt werden. Ein besonderer Charme von JavaScript besteht dabei darin, dass man seine Programme sehr leicht der ganzen Welt zur Verfügung stellen kann, indem man sie als Webseite hostet.

Um mit überschaubarem Aufwand ansprechende Computergrafik zu erzeugen, benötigt man eine geeignete JavaScript-Bibliothek. Die wohl einfachste für diesen Zweck ist p5.js, die JavaScript-Version von Processing, das für den Einsatz von Computern im

kreativ-künstlerischen Bereich konzipiert wurde.

DIE UNITY ENGINE

Die großen Hersteller der Computerspiele entwickeln 3D-Engines, mit denen dann Programmierer und Designer die Computerspiele entwerfen. Erstaunlicherweise werden diese Engines, die ja das Produkt von jahrzehntelanger Entwicklungsarbeit darstellen, kostenlos und open source zur Verfügung gestellt. Die beiden bekanntesten Beispiele hierfür sind die Unreal und die Unity Engine. Prinzipiell kann also jeder diese Engines verwenden, um sein eigenes Spiel zu entwickeln. Wenn er das Spiel jedoch verkaufen möchte, so muss er einen bestimmten Anteil seines Gewinnes an die Entwickler der verwendeten Engine abgeben. Diese Engines stellen jedoch relativ komplexe Computerprogramme dar. Sie sind so konzipiert, dass ihre Shader und Klassen zunächst durch umfangreiche Menüs konfiguriert werden und dann mithilfe der gängigen objektorientierten Programmiersprachen C++ (Unreal) oder C# (Unity) daraus ein Spiel erstellt werden kann. Da die Unreal Engine beträchtliche Hardwareressourcen benötigt, haben wir uns dieses Jahr für die Unity Engine entschieden. Diese konnte sogar im Image des Betriebssystems der Schulrechner aufgenommen werden.

CHARAKTERE UND ANIMATIONEN MIT MIXAMO

Für die Unity Engine gibt es einen Assetstore, aus dem man sich Objekte und Charaktere für sein Spiel besorgen kann. Eine kostenlose interessante Alternative besteht in der Mixamo Webseite, von der man sich nicht nur Charaktere, sondern auch die dazugehörenden Animationen herunterlädt. Diese lassen sich direkt in Unity integrieren und mithilfe eines sogenannten „Animators“ zu komplexen Bewegungsabläufen verknüpfen. Eine sogenannte State Machine legt dabei fest, welche Animation bei welcher Spielaktion abgespielt wird. Die Verknüpfung verschiedener Animationen mit den jeweiligen Tastaturbefehlen führt schnell zu relativ

komplexen Zusammenhängen, die im Animator über einen Graphen dargestellt werden.



Abbildung 54: Die State Machine des Charakters unseres Multiplayer-Spiels



Abbildung 55: Der Mixamo-Charakter in Aktion

Wir haben die Unity Engine verwendet, um ein Multiplayer Spiel zu erstellen, bei dem die Spieler auf einer Insel im Meer gegeneinander in Völkerball antreten.

REKURSIVE GRAFIK



Abbildung 56: Ein selbstähnliches Ahornblatt, das durch Rekursion erzeugt wurde

Eine faszinierende Möglichkeit auf einfache Weise Formen zu erzeugen, die an Beispiele aus der Natur erinnern, besteht in der Erstellung von selbstähnlichen Figuren durch Rekursion. Hierzu muss analysiert werden, auf welche Weise sich das jeweilige Objekt vollständig in Verkleinerungen von sich selbst zerlegen lässt. Das Ergebnis dieser Analyse kann dann am einfachsten durch die Definition einer rekursiven Methode umgesetzt werden. Rekursive Methoden stellen ein sehr mächtiges Werkzeug der meisten Programmiersprachen dar. Diese basieren darauf, dass sie sich selbst mit einem verkleinerten Wert des Funktionsargumentes aufrufen. Ein Ergebnis wird in dieser Kaskade von wiederholten Aufrufen erst dann geliefert, wenn der Wert des Argumentes eine bestimmte Schranke unterschreitet. Dies ist die sogenannte Abbruchbedingung, die natürlich nie fehlen darf, wenn man eine unendliche Schleife vermeiden will.

TERRAIN GENERATION

Eine Kunst für sich besteht in der Erzeugung eines realistischen Höhenprofils einer Landschaft. Auf Webseiten wie Tangramm Heightmapper kann man sich Bilder besorgen, bei denen die Höhenfunktion einer Region über Graustufen dargestellt ist.

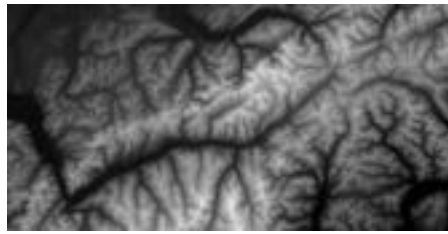


Abbildung 57: Das Höhenprofil des Berner Oberlandes über Graustufen dargestellt

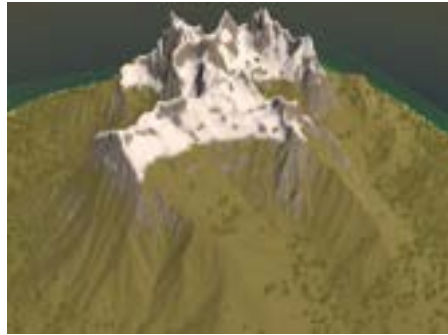


Abbildung 58: Das Terrain der Insel, das aus einer Heightmap erzeugt wurde

Bemerkenswerterweise ist die fraktale Struktur dieser Oberflächen relativ unabhängig von der Gebirgsregion, die man betrachtet. Mathematisch kann diese Struktur imitiert werden, indem man von einer 2D Zufallsfläche ausgeht (z.B. Perlin oder Simplex Noise) und diese mit der berühmten Weierstraß Konstruktion zur Erzeugung einer stetigen, aber nirgends differenzierbaren Funktion selbstähnlich macht. Wird anschließend noch eine Art Erosionsprozess angewendet, so können sehr hübsche Berglandschaften erzeugt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Unsere Informatik-AG hat gezeigt, wie vielseitig und spannend die Programmierung von virtuellen Welten sein kann. Von der Entwicklung von Multiplayer-Spielen über die Erstellung realistischer 3D-Grafiken bis hin zur Erzeugung komplexer Landschaften und selbstähnlicher Objekte haben wir viele faszinierende Aspekte der Informatik kennengelernt.

Autor: Dr. Florian Jasch

Quellen:

- p5js.org
- mixamo.com
- tangrams.github.io/heightmapper/

Mathematik AG – „Matrizen – wie man mit Tabellen rechnet“

Viele Vorgänge, die sich mathematisch beschreiben lassen, kann man mithilfe von Matrizen bearbeiten. Matrizen sind – vereinfacht gesagt – Tabellen, mit denen man rechnen kann. So kann man z.B. unter bestimmten Voraussetzungen Matrizen multiplizieren und den „Kehrwert“ – die inverse Matrix bilden. Dabei gelten Gesetze wie für Zahlen – allerdings nicht immer. In der AG haben wir Theorie und Praxis von Matrizen an vielen Beispielen und Aufgaben behandelt. Als Hilfsmittel für teilweise umfangreiche Berechnungen haben wir das modulare Mathesystem (MMS) Geogebra Suite verwendet.

WIRTSCHAFTLICHE VORGÄNGE

Als Einführung in die Welt der Matrizen haben wir Berechnungen behandelt, wie sie in ähnlicher Weise im Wirtschaftsleben angewendet werden. Aus bestimmten Einheiten von Ausgangsprodukten werden Endprodukte wie hier bei einer Kaffeemaschine hergestellt:

	Espresso	Latte Macchiato	Cappuccino
Kaffeepulver	7	9	7
Wasser	2	2	4
Milch	0	1	1

Abbildung 59: Tabelle „Kaffeemixturen“

Die „Bedarfs-Matrix“ $\begin{pmatrix} 7 & 9 & 7 \\ 2 & 2 & 4 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ be-

schreibt den Mischvorgang in kompakter Weise und ermöglicht Berechnungen:

Um z.B. 5-mal Espresso, 4-mal Latte Macchiato und 2-mal Cappuccino herzustellen, braucht man an Einheiten von Kaffeepulver: $7 \cdot 5 + 9 \cdot 4 + 7 \cdot 2 = 85$,
Wasser: $2 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 4 \cdot 2 = 26$,
Milch: $0 \cdot 5 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 = 6$.

Diese Rechnung stellt man mit Matrizen

$$\text{dar: } \begin{pmatrix} 7 & 9 & 7 \\ 2 & 2 & 4 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 85 \\ 26 \\ 6 \end{pmatrix}.$$

Eine Matrix mit nur einer Spalte nennt man auch Vektor. Aus dieser Darstellung haben wir zunächst die Multiplikation von Matrizen mit Vektoren abgelesen. Das haben wir dann auf die

Multiplikation von Matrizen übertragen. Auch die Addition bzw. Subtraktion von Matrizen sowie die Multiplikation einer Zahl mit einer Matrix ließen sich an einfachen Beispielen bei den Kaffeemixturen einführen.

EIGENSCHAFTEN VON MATRIZEN

Nachdem das neue mathematische „Objekt Matrix“ eingeführt wurde, haben wir dessen mathematische Eigenschaften untersucht. Allgemein wird eine $m \times n$ – Matrix A definiert als Tabelle mit m Zeilen und n Spalten. Wir haben Addition und Multiplikation von Matrizen eingeführt, abgeleitet aus dem einführenden Beispiel. Wir haben erkannt, dass man im Wesentlichen mit Matrizen wie mit Zahlen rechnen kann, dass aber nicht alle Gesetze von Zahlen übertragbar sind. Die Rolle der Zahl Null übernimmt die Nullmatrix, deren Elemente lauter Nullen sind, die Rolle der Zahl Eins spielt bei „quadratischen Matrizen“ die Einheitsmatrix

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- hier als Beispiel bei 3×3 – Matrizen.

Das Addieren von Matrizen funktioniert mit denselben Gesetzmäßigkeiten wie bei Zahlen: Die Menge der Matrizen mit gleicher Zeilen- bzw. Spaltenzahl sind mit der Matrizenaddition eine abelsche Gruppe. Dagegen gibt es beim Multiplizieren Einschränkungen, wobei wir uns auf „quadratische“ Matrizen (gleiche Zeilen- und Spaltenzahl) beschränkt haben. Insbesondere ergibt das Produkt $A \cdot B$ zweier Matrizen nicht immer dasselbe wie das Produkt $B \cdot A$ – das Kommutativgesetz der Multiplikation gilt nicht bei Matrizen. Auch das Invertieren von Matrizen, das dem Kehrwertbilden bei Zahlen entspricht, klappt bei vielen Matrizen nicht. So gibt es z.B. zu der Matrix

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 4 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

keine Matrix M^{-1} , so dass $M \cdot M^{-1} = E$ gilt. Eine solche Matrix wird „singulär“ genannt. Viele Matrizen haben dagegen eine Inverse, sie heißen „regulär“. Inverse haben wir mithilfe von

Gleichungssystemen oder auch mit einem Verfahren, das auf die Mathematischer Gauß und Jordan zurückgeht, anfangs händisch bestimmt. Nachdem die Methoden verstanden waren, haben wir wegen des beträchtlichen Rechenaufwands das MMS verwendet.

Wir haben erkannt, dass es mit der Determinante einer (quadratischen) Matrix eine Maßzahl gibt, die Auskunft über die Invertierbarkeit gibt: Nur wenn die Determinante nicht Null ist, ist eine Matrix invertierbar. Determinanten haben wir händisch durch „Entwickeln nach Zeilen und Spalten“ – einer Standardmethode – berechnet, dann auch mit dem MMS.

Wir haben auch erkannt, dass man ein lineares Gleichungssystem mithilfe einer Matrix A in der kompakten Form $A \cdot x = y$ schreiben kann. Falls A quadratisch und invertierbar ist, haben wir dann die Lösung x analog wie bei Zahlen als $x = A^{-1} \cdot y$ erhalten – wieder eine Parallele zum Rechnen mit Zahlen.

AFFINE ABBILDUNGEN MIT MATRIZEN

Nach dem theoretischen vorangegangenen Abschnitt haben wir Anwendungen behandelt, zunächst aus der Geometrie. Viele geometrische Abbildungen wie Spiegelungen oder Drehungen lassen sich mit Matrizen beschreiben, wobei wir uns auf Abbildungen in der Ebene beschränkt haben. Beispielsweise beschreibt die Matrix $\begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$ eine Abbildung der Ebene, die sich durch das rote Parallelogramm als Bild des blauen „Einheitsquadrates“ veranschaulichen lässt:

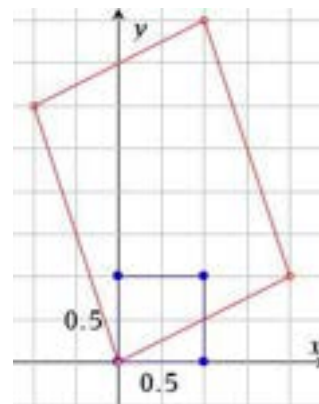


Abbildung 60: Bild (rot) des Einheitsquadrats

Solche Abbildungen werden „affine Abbildungen“ genannt. Wir haben erkannt, dass sie bestimmte algebraische und geometrische Eigenschaften haben:

- Wenn man das Bild des Einheitsquadrates kennt, kann man die Abbildungsmatrix ablesen.
- Geraden werden auf Geraden abgebildet (Geradentreue), parallele Geraden werden auf parallele Geraden abgebildet (Parallelentreue) und wenn ein Punkt X eine Strecke $\overline{AB}$ in einem bestimmten Verhältnis teilt, dann teilt der Bildpunkt X' die Strecke $\overline{A'B'}$ in demselben Verhältnis (Teilverhältnistreue).

Auch bei den Abbildungen erwies sich das MMS als sehr hilfreich und ermöglichte insbesondere dynamisch, Variationen zu analysieren.

Mithilfe der Determinanten einer Abbildungsmatrix lässt sich die Änderung beim Flächeninhalt einer Figur einfach erfassen: Wenn man den Flächeninhalt einer Figur mit dem Betrag der Determinante der Abbildungsmatrix multipliziert, erhält man den Flächeninhalt der Bildfigur. Das haben wir an Abbildung 3 mit einer Matrix der Form $\begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{pmatrix}$ mit positiven Elementen nachgewiesen:

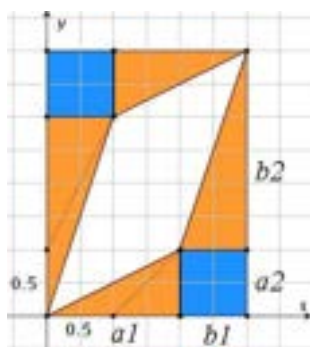


Abbildung 61: Flächenänderung

Die Situation kann man auf andere Fälle, bei denen auch negative Elemente in der Matrix vorkommen, übertragen.

STOCHASTISCHE PROZESSE

Als weiteren Anwendungsbereich haben wir zufällige Vorgänge behandelt, die beliebig lange dauern können.

Beispiel: Ein Glücksspieler hat nur einen Euro, er braucht aber 3 Euro. Dazu setzt er seinen Euro. Dann wird eine Münze

geworfen. Fällt Kopf, verliert er den gesetzten Euro, er ist pleite. Andernfalls erhält er einen Euro hinzu. Er setzt dann wieder einen Euro. Das Spiel endet, wenn der Spieler pleite ist oder 3 Euro besitzt.

Zur Veranschaulichung haben wir ein Prozessdiagramm verwendet, das man aus einem Baumdiagramm entnehmen kann:

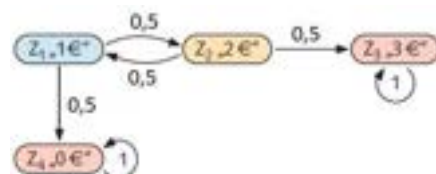


Abbildung 62: Prozessdiagramm

Es gibt vier Zustände Z_1 bis Z_4 , die gekennzeichnet sind durch den Besitz des Spielers in Euro. Die Zahlen an den Pfeilen geben an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Zustand bei einer Durchführung in einen anderen Zustand übergeht. Die Zustände Z_3 und Z_4 sind „absorbierende Zustände“, bei denen das Spiel endet.

Man kann das Spiel mithilfe der „Übergangs-Matrix“

$$U = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

und der Startverteilung $v_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

beschreiben. In der 2. Spalte von U stehen dabei beispielsweise die Wahrscheinlichkeiten, mit denen der Spieler von Z_2 in die anderen Zustände gelangt.

Wir haben erkannt, dass man die Zustandsverteilung nach n Durchführungen beschreiben kann, indem man die „Iteration“ $v_i = U \cdot v_{i-1}$ für $i = 1, 2, \dots, n$ durchführt. Die Iteration lässt sich analog wie beim Berechnen von Zinseszinsen zusammenfassen in einem Schritt: $v_n = U^n \cdot v_0$. Man kann hier also sogar Potenzen von Matrizen gebrauchen. Wenn man n groß genug wählt, kann man damit eine Näherung für die Wahrscheinlichkeiten bestimmen, dass der Spieler am Ende 3 € besitzt. So erkennt man z.B. für $n=100$ mit dem

MMS, dass die Wahrscheinlichkeit, die 3 € zu gewinnen, etwa $1/3$ beträgt.

$$v_{100} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 7.83861e-31 \\ 0 \\ 0.333333 \\ 0.666667 \end{bmatrix}$$

Abbildung 63: Berechnung der Zustandsverteilung nach 100 Schritten

Auch in komplexen Situationen, die man nicht so leicht überblickt, liefert die Methode klare Ergebnisse. So konnten wir bei folgendem Spiel eine intuitive Einschätzung der Gewinnchancen widerlegen:

Oliver schlägt dir folgendes Spiel vor: „Wir würfeln mit einem Würfel so lange, bis drei ungerade Zahlen nacheinander fallen oder bis nacheinander gerade-ungerade-gerade fällt. Im ersten Fall gewinnst du, sonst gewinne ich.“

Auch wenn man vielleicht meinen könnte, dass beide Spieler die gleiche Gewinnchance haben. Mithilfe von Berechnungen wie oben angedeutet, kann man nachweisen, dass Oliver eine größere Gewinnchance hat.

REFERATE

Alle Teilnehmenden haben ein Referat gehalten mit den Themen:

- Matrizen bei Geogebra
- Vektoren: Objekte der Geometrie
- Inverse bestimmen mit der erweiterten Matrix (Gauß-Jordan-Verfahren)
- Lineare Gleichungssysteme lösen a) mit Matrizen b) mit Determinanten
- Schrägspiegelung
- Das 3-Euro-Spiel (s.o.)
- Oliver's Spiel (s.o.)

Autor: Dr. Dieter Brandt

Quellen:

- Dieter Brandt, Alexander Wollmann, Arnold Zitterbart: Lambacher-Schweizer, Mathematik mit CAS-Einsatz, ISBN 978-3-12-735611-3, 2016
- Dieter Brandt, Thomas Jörgens u.a.: Lambacher-Schweizer, Mathematik Qualifikationsphase NRW, ISBN 978-3-12-735441-6, 2015

Mathematik AG – „Vom Königsberger Brückenproblem zur Graphentheorie“

In dieser AG wurden die verschiedensten Probleme aus der Graphentheorie bearbeitet.

Unser Ausgangspunkt war das Königsberger Brückenproblem: Kann man einen Spaziergang durch St. Petersburg machen und dabei jede Brücke nur einmal passieren? Wir beschäftigten uns aber auch mit dem GWE-Problem: Kann man drei Villen so mit einem Gaswerk, einem Wasserwerk und einem Elektrizitätswerk verbinden, dass sich die Leitungen nicht kreuzen? Mit Methoden der Graphentheorie begründeten wir aber auch, warum es nur fünf dreidimensionale Platonische Körper gibt. Daraus konnten wir dann ableiten, dass es sechs Platonische Parkettierungen der Kugel gibt.

Eines der bekanntesten mathematischen Probleme ist das Vierfarbenproblem. Auch mit diesem Problem haben wir uns beschäftigt. Hierbei geht es um die minimale Anzahl von Farben, mit denen man jede Landkarte derart färben kann, dass keine benachbarten Länder dieselbe Farbe bekommen. Dabei wird vorausgesetzt, dass das Staatsgebiet jedes Landes zusammenhängend ist.

Dass Problems des Färbens einer Landkarte lässt sich nun in ein Färbungsproblem für

Graphen übersetzen, bei dem die Ecken eines Graphen so zu färben sind, dass keine

zwei Ecken, die durch eine Kante verbunden sind, dieselbe Farbe bekommen.

Dazu ersetzen wir jedes Land durch seine Hauptstadt und verbinden die Hauptstädte

zweier Länder mit gemeinsamer Grenze durch eine Kante. Dadurch entsteht ein ebener

einfacher Graph, d.h. ein Graph ohne Schleifen oder parallele Kanten.

Mit unseren Methoden können wir recht einfach das folgende Ergebnis beweisen:

Satz: Jeder ebene einfache Graph lässt sich mit höchstens sechs Farben färben.

BEWEIS

- Zuerst beweisen wir, dass jeder ebene einfache Graph eine Ecke von Grad höchstens 5 hat, d.h. dass von ihr höchstens 5 Kanten abgehen.
- Dazu bezeichnen wir die Zahl der Ecken mit e , die Zahl der Kanten mit k und die Zahl der Gebiete mit f .
- Jedes Gebiet dieses Graphen wird von mindestens drei Kanten begrenzt.
 $\Rightarrow 3f \leq 2e$, also gilt für die Zahl der Gebiete $f \leq 2/3k$.

ANNAHME

- Jeder Eckengrad ist mindestens 6.
 $\Rightarrow 6e \leq 2k$, dann gilt für die Eckenzahl $e \leq 1/3k$
- Für ebene Graphen gilt der Satz von Euler: $e - k + f = 2$.
- Setzen wir in diese Gleichung unsere obigen Abschätzungen ein, so erhalten wir den Widerspruch
 $2 = e - k + f \leq 1/3k - k + 2/3k = 0$.
- Also ist die Annahme falsch und es gibt eine Ecke, deren Eckengrad höchstens 5 ist.

Nun beweisen wir die oben angegebene Behauptung durch vollständige Induktion über die Zahl der Ecken.

Für eine Eckenzahl kleiner oder gleich 6 ist die Behauptung trivialerweise erfüllt.

Sei nun ein ebener einfacher Graph gegeben mit mehr als 6 Ecken. Nach der Vorüberlegung gibt es eine Ecke mit Grad ≤ 5 . Eine solche Ecke mit allen ihren Kanten entfernen wir aus dem Graphen.

Der dadurch entstehende Graph ist wieder eben und einfach, hat aber eine Ecke weniger. Nach Induktionsvoraussetzung ist er mit 6 Farben färbbar.

Die Nachbarn der entfernten Ecken haben maximal fünf verschiedene Farben.

Also bekommt die entfernte Ecke die sechste Farbe. Damit kann auch der anfängliche Graph mit 6 Farben gefärbt werden.

Dieses Ergebnis kann noch verbessert werden:

- Satz (Heawood, 1890): Jeder ebene schlichte Graph kann mit höchstens 5 Farben gefärbt werden.
- Satz (Apel, Haken, 1976): Jeder ebene schlichte Graph kann mit höchstens 4 Farben gefärbt werden.

Damit kann auch jede Landkarte mit höchstens vier Farben gefärbt werden.

Der Beweis für diese beiden Ergebnisse ging aber über die Möglichkeiten unserer AG hinaus.

Darüber hinaus haben wir uns in dieser AG mit vierdimensionalen Würfeln, gerichteten Graphen, Turniergraphen und einigen anderen Themen beschäftigt.

In dieser AG ging es aber auch darum, neben der Graphentheorie auch allgemeine mathematische Beweismethoden wie z.B. direkter und indirekter Beweis, dem doppelten Abzählen, Beweise durch günstiges Färben, der vollständige Induktion, dem Schubfachprinzip, Färbungsbeweise kennenzulernen, um nur einige zu nennen.

Autor: Dr. Gerhard Metzger

Physik AG – „Das Rätsel des Universums“

Die AG bestand aus bis zu 18 Schülerinnen und Schülern, die zum Teil weite Wege auf sich genommen haben, um sich dienstagsabends mit Astronomie zu beschäftigen. Da in der Schule die Astronomie eine sehr untergeordnete Rolle spielt, ergreife ich gerne die Gelegenheit des Freiburg-Seminars, diese Lücke für interessierte Schülerinnen und Schüler etwas zu schließen.

Dabei geht es um die großen Fragen des woher und wohin, auf die es aus der Sicht der Astronomie mittlerweile einige Antworten gibt.

SONNENSYSTEM

Unser Sonnensystem mit seinem Zentralgestirn, acht Planeten, vielen Monden und noch viel mehr Asteroiden ist erstaunlich stabil. Seit über vier Milliarden Jahren bewegen sich die Planeten auf stabilen Bahnen um die Sonne, aber während der Bildung des Sonnensystems war das nicht immer so. Als sich das Sonnensystem aus einer kollabierenden Gaswolke gebildet hat, sind möglicherweise Jupiter und Saturn nach innen gewandert, um sich etwas später wieder vom Zentrum zu entfernen. Uranus und Neptun haben eventuell ihre Plätze getauscht. Aber in den letzten über vier Milliarden Jahren haben sich die Verhältnisse beruhigt, so dass auf dem dritten Planeten von der Sonne aus Leben entstehen konnte und dann noch so viel Zeit zur Entwicklung hatte, dass dieses Leben eine intelligente Spezies hervorbrachte, die sich über diese Fragen Gedanken machen kann.

SONNE

Woher kommt aber die Energie, die dieses Leben nötig hat? Natürlich von der Sonne. Im Verhältnis zu Geschichte der Menschheit, wissen wir noch gar nicht lange, woher diese Energie kommt. Als man im 19. Jahrhundert langsam eine Idee für die Zeiträume der Erdentwicklung bekam, wurde deutlich, dass alle bekannten Energiequellen ausschieden. Würde die Sonne z. B. aus Kohle bestehen, würde sie keine 5000 Jahre leuchten können. Das Rätsel löste sich mit der Erforschung der Atomkerne, so wurde

dann endlich klar, dass es Kernprozesse sein müssen, die die Energie liefern. Genauer gesagt verschmelzen vier Wasserstoffkerne in einen Heliumkern. Dabei wird viel Energie frei, die nach der Einsteinschen Formel $E = mc^2$ auch zu einem Massenverlust der Sonne führt, immerhin 4,3 Mio. Tonnen pro Sekunde.

LEBEN DER STERNE

Wenn man sich fragt, wieso es uns gibt, muss man auch fragen, woher denn eigentlich die Materie stammt, aus der wir bestehen. Diese Frage kann man beantworten, wenn man sich mit dem Lebensweg der Sterne beschäftigt. Zuerst gibt es nur Wasserstoff und etwas Helium. In der Sonne verschmilzt Wasserstoff zu Helium. Das geht so lange gut, solange genügend Wasserstoff im Kern vorhanden ist. Wenn der Anteil an Helium größer wird, kann immer weniger Wasserstoff verschmelzen, es wird nicht mehr so viel Energie freigesetzt. Das führt zu einer Abkühlung, so dann sich das Innere der Sonne zusammenzieht und damit wieder heißer wird. Ab einer bestimmten Temperatur fängt das Helium an, zu Kohlenstoff zu verschmelzen. Damit ist dann bei der Sonne Schluss. Für die nächsten Schritte braucht es größere Sterne, dort kann der Prozess weitergeführt werden, bei sehr viel größeren Sternen kann es bis zur Verschmelzung von Silizium zum Eisen gehen. Erst in den gewaltigen Supernovae werden noch schwerere Elemente erzeugt.

Man muss sich also klar machen, dass alle Elemente, aus denen wir bestehen und die wir um uns sehen, die schwerer sind als Helium, in Sternen entstanden sind!

KOSMOLOGIE

In der Kosmologie geht dann um die Entstehung und die Entwicklung des Universums als ganzes. Das Modell des Urknalls ist dafür Standarderklärung. Auf die Idee des Urknalls kam man durch die Beobachtung Edwin Hubbles, dass sich alle Galaxien von uns entfernen, und zwar desto schneller, je weiter weg sie sind. Gestützt wird dieses Modell ganz maßgeblich durch die kosmische Hintergrundstrahlung, die nur mithilfe dieses Modells erklärt werden kann. Sie entstand, als sich Materie und Strahlung

entkoppelte, also das Universum plötzlich durchsichtig wurde.

Es gibt aber auch noch große Rätsel: die Dunkle Materie, die nur durch ihre gravitative Wirkung bekannt ist, und die Dunkle Energie, die dafür sorgt, dass sich unser Universum immer schneller ausdehnt. Das „Dunkel“ bedeutet, dass noch völlig unklar ist, was das eigentlich ist.

BEDINGUNGEN FÜR LEBEN

Was macht unsere Erde so besonders? Es müssen viele Bedingungen erfüllt sein, damit ein Planet die Bedingungen für Leben erfüllt, so wie wir uns das vorstellen können. Das Planetensystem darf nicht zu nah am Galaxienkern sein, aber auch nicht zu weit weg; der Zentralstern darf weder zu groß noch zu klein sein und muss außerdem noch genügend schwere Elemente (d. h. schwerer als Helium) besitzen.

Es zeigt sich, dass unsere Erde ein großes Wunder ist, das es zu bewahren und zu schützen gilt!

Dies ist ein Überblick über die Themen, mit denen wir uns beschäftigt haben. Ein Spaziergang an der Dreisam sollte die Dimensionen des Sonnensystems veranschaulichen, einmal konnten wir auch durch größere Feldstecher eine Reihe von Planeten und den Mond beobachten. Mit zwei Gruppen sind wir nach Genf zum CERN gefahren, um zu sehen, wie man den kleinsten Bausteinen der Natur auf die Schliche kommt, die heutzutage auch in der Astronomie eine große Rolle spielen. Siehe die Berichte dazu.

Autor: Felix Kümmell

Physik AG - „Teilchenphysik“

Schwingung und Teilchen

Zum Abschluss meiner 24 Jahre als AG-Leiter im Freiburg-Seminar möchte ich eine kurze Übersicht über Ablauf und Inhalte der Arbeitsgemeinschaften in dieser Zeit geben.

Zu und vor meinem Einstieg 2001 waren im Fach Physik neben angewandter Physik stark theoretisch ausgerichtete Angebote im Programm: Quantentheorie, Relativitätstheorie, Elementarteilchenphysik.

Der Wunsch der Seminarleitung damals (Günter Neugart, Dr. Th. Schonhardt) war ein experimentelles Angebot: Experimente in der Physik. Daher wurde den Schüler*innen angeboten, anspruchsvolle Experimente selbst durchzuführen, die im Schulunterricht eher nicht oder höchsten als Demonstrationsexperimente vorkamen. Wichtiger Vorteil war, dass die Experimente nicht in der üblichen Doppelstunde abgeschlossen werden mussten, sondern über mehrere Wochen entwickelt und verstanden werden konnten.

Themengebiete waren a) Experimente mit dem Röntgengerät (BRAGG-Spektren und ihre Deutung, DEBYE-SCHERRER- und LAUE-Diagramme, PLANCKsche Konstante h aus der Grenzwellenlänge) sowie b) Untersuchung ionisierender Strahlung (Detektortypen, Reichweiten der Strahlung, gamma- und alpha- Spektren radioaktiver Präparate). c) Parallel liefen jeweils Untersuchungen zu Schwingungen und Wellen: Akustik von Musikinstrumenten (Eigenfrequenzen von Luftsäulen und Saiten verschiedener Länge, erstellen von Klang-Spektren durch FOURIER-Analyse, Resonanzen in flächigen Objekten {Muster in Gitarrenboden, Paukenfellen, Blechplatten}). Ergebnisse haben die AGs in den Abschlussveranstaltungen 2001, 2002, 2003, 2004 und 2006, sowie 2009 in der Poster-Sitzung zum 20-jährigen Bestehen des Freiburg-Seminars und in der Kuratoriumssitzung 2005 vorgetragen.

Im Jahr 2008 ergab sich ein Umbruch. Während einer zweiwöchigen

Abwesenheit des AG-Leiters haben sich Fachleitung und Strahlenbeauftragter am Rotteck-Gymnasium der umfangreichen und lästigen Sammlung an radioaktiven Präparaten durch kurzfristige und entschlossene Entsorgung entledigt. Dadurch war der experimentelle Teil zu Themen der Teilchenphysik, die sich als ein Schwerpunkt herausgebildet hatte, unmöglich geworden. Zugleich ergab sich, dass der sinnvoll erscheinende Stoffumfang des Themas eine Reduktion des experimentellen Teils unumgänglich machte. So wurde aus der Experimental-AG mit jährlich wechselnden Projekten als Angebot ein Kurs Teilchenphysik, dessen Curriculum immer angepasst an neue Entwicklungen und Erkenntnisse der Wissenschaft, im Wesentlichen gleichblieb. Die zahlreichen positiven Rückmeldungen der Teilnehmenden, für die der Kurs ja immer neu war, bestärkten mich in dem Vorgehen. Die Bestandteile und Grundideen möchte ich im Folgenden kurz darlegen.

A. Eine Grundidee: Über anschaulich erlebbare Schwingungsphänomene sollen analoge Ansätze und Vorgehensweisen der Teilchenphysik für wenig vorgebildete Jugendliche verstehbar werden. Das soll an zwei für die Quantenphysik zentralen Begriffen gezeigt werden: HEISENBERGs Unschärfe-Relation und Überlagerung von Zuständen zu neuen Eigenzuständen mit ihren Eigenwerten.

Ansatz 1 Unschärfe-Relation: klassisch und quanten/teilchenphysikalisch

Im Praktikumsversuch erzwungene Schwingungen von Federpendeln und elektromagnetischen Schwingkreisen nehmen die Teilnehmenden Resonanz-Kurven auf, d.h. die Stärke der erzwungenen Schwingung hängt in einer Maximumskurve von der erregenden Frequenz ab. Das Maximum entspricht dabei der Eigenfrequenz. Wir haben daneben in einem selten genutzten Ansatz die Breite des Maximums (Halbwertsbreite) Δf mit der Lebensdauer Δt der jeweils einmal angestoßenen Schwingung in Beziehung gesetzt. Wir fanden heraus, dass die beiden Größen so in Beziehung stehen, dass ihr Produkt $\Delta f \cdot \Delta t$ konstant ist, was wir klassische Unschärferelation genannt haben. Ein gleiches Ergebnis lieferte die Spektralanalyse von

Stimmgabeltönen, die nach kurzer Zeit Δt abgebrochen wurden. In Worten: Kurze Zeit Δt liefert eine ungenaue Messung der Frequenz f .

Hier liegt die Ähnlichkeit zur HEISENBERGschen Unschärfe-Relation in der Form für Energie W und Zeit t nahe:

$\Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar = h/(2\pi)$ mit h PLANCKsches Wirkungsquantum

Kurze Messzeit liefert unvermeidlich ungenaue Messung der Energie.

Anwendung in der Teilchenphysik:

Fall 1: Energie $W=0$ Ein Zustand oder Ort kann nicht genau die Energie 0 haben. Folgerung: Die Natur kann auch dem leeren Raum für eine kurze Zeit Δt die Energie $\Delta W = \hbar / \Delta t$ „herleihen“. Es können Paare von Teilchen und Antiteilchen kurzfristig entstehen und verschwinden. Diese Überlegung nutzte YUKAWA 1935 um für ein hypothetisches Austausch-Teilchen der Kernkräfte aus der sehr geringen Reichweite und damit Lebensdauer die Masse dieser Teilchen, der Mesonen, vorherzusagen.

Fall 2: Teilchenphysiker variieren die Energie bei Stoßexperimenten und erhalten Resonanzkurven für die Häufigkeit von Folgeereignissen. Die Maxima dieser Kurven liefern dann die Energie (Masse) neu erzeugter Teilchen. Die Breite der Kurven liefert aber Information über die Lebensdauer dieser Teilchen vor ihrem Zerfall.

Ansatz 2: Überlagerung von Zuständen führt zu neuen Eigenzuständen mit jeweiligem Eigenwert

Klassisch: Zwei Schwere-Pendel a und b sind durch eine Feder verbunden/gekoppelt. Wird z.B. Pendel a angestoßen, so überträgt sich im Verlauf einiger Schwingungen die Schwingungsenergie vollständig auf Pendel b, während das angestoßene Pendel zur Ruhe kommt. Periodisch wandert die Schwingungsenergie und -amplitude hin und her: Oszillation. Die Spektralanalyse der Bewegung eines Pendels zeigt 2 Frequenzen an. Die sind die Eigenfrequenzen des Systems und sie gehören zu den Eigenschwingungen 1 (Pendelbewegung gegeneinander) und Eigenschwingung 2 (Pendelbewegung parallel). Anstoßen

eines Pendels a erregt gleichzeitig beide Eigenschwingungen. Die Phasenverschiebungen durch unterschiedliche Frequenzen bewirkt durch Überlagerung mal konstruktiv verstärkte Schwingung bei einem Pendel, dabei destruktiv Ruhe beim anderen Pendel und vice versa. Dieser Zusammenhang lässt sich in einem linearen Gleichungssystem und verkürzt mit einer Matrix darstellen. Überlagerungen von Pendelschwingungen lassen sich durch Eigenschwingungen des Systems darstellen, die jeweils einen Eigenwert die Frequenz haben. Man kann die Schwingung entweder im System der Pendel a und b darstellen oder im System der Eigenschwingungen 1 und 2.

Neutrino-Oszillation: Es gibt Neutrinos in drei verschiedenen Flavours e , μ und τ . In diesen werden sie erzeugt und nachgewiesen. Bei Ausbreitung im Raum z.B. von der Sonne zur Erde wechseln sie ihren Flavor, ein als e -Neutrino entstandenes kann dann als μ -Neutrino nachgewiesen werden. Das kann analog zu den gekoppelten Pendeln verstanden werden. Es gibt bei den Neutrinos nämlich Eigenzustände zur Größe Flavor, diese lassen sich aber darstellen als Überlagerung von Eigenzuständen zum Eigenwert Masse. Ein e -Neutrino ist dann eine Überlagerung von verschiedenen Massen-Eigenzuständen. Durch unterschiedliche Ausbreitungseigenschaften dieser kann dann der Anteil μ -Neutrinos (die Wahrscheinlichkeit ein μ -Neutrino nachzuweisen) so zunehmen, wie bei den Pendeln die Amplitude des nicht-angestoßenen Pendels im Lauf der Zeit zunimmt.

B. Der Kurs enthielt immer die Standard-Themen: historische Entwicklung zum heutigen Standardmodell der Teilchenphysik mit Teilchen und Kräften, Teilchenbeschleuniger und Detektorsysteme, Schwerpunkt Neutrino: die Notwendigkeit, sie zu erfinden, erste Nachweise und aktuelle Untersuchungen und Erkenntnisse durch kosmische Neutrinos als astronomische Messenger.

C. Eine Praktikumseinheit war immer - und meist besonders beliebt - das händische Auswerten von Original-Blasen-kammer-Bildern von Proton-Proton-Stößen vom CERN. Hier zeigte sich, dass zur Auswertung der Energie-Bilanzen die

klassische Mechanik nach NEWTON nicht reichte. Mit dem relativistischen Dreieck musste die spezielle Relativitätstheorie nach EINSTEIN eingesetzt werden. Bei fehlendem Impuls konnte die Natur bei Stoß erzeugter neutraler also „unsichtbarer“ Teilchen nach Art, Energie und Impuls bestimmt werden.

D. Die Bearbeitung von mathematischen Grundlagen und weiteren Anwendungen der FOURIER-Analyse wurde in späteren Jahren aus Zeitgründen zurückgestellt.

E. Im Oktober lag immer die Besprechung der frisch vergebenen Nobelpreise an.

F. Exkursionen fast regelmäßig zum CERN in Genf, zum GSI-Praktikum in Darmstadt u.a. sind in gesonderten Berichten beschrieben.

Der diesjährige Kurs begann mit 8 Teilnehmenden (m/w 6/2, Klassen 9 bis 12), am Ende waren es 6 (4/2).

Zum Abschluss möchte ich danken:

- den teilnehmenden Schülern und Schülerinnen in den 24 Jahren für ihren Einsatz (Anfahrten maximal von Kändern und Ettenheim), ihrer Offenheit auch für Schwieriges und ihre vielen anregenden Fragen, die mich immer wieder zu neuem Erkunden angeregt haben.
- Dem Freiburg-Seminar für die Möglichkeit, auch nach meiner Pensionierung, diese schöne Aufgabe wahrnehmen zu können und für die Unterstützung bei meinen Vorhaben.
- Herrn Prof. Horst Fischer der Universität Freiburg für vielfältige Unterstützung bei CERN-Besuchen wie auch bei Laborbesuchen in Freiburg.

Autor: Dr. Christian Zorn

Physik AG – „Physikalischen Phänomenen auf der Spur“

Der Kurs

Wer aufmerksam durch die Welt geht entdeckt zahlreiche naturwissenschaftliche Phänomene und Fragestellungen, die spannend sind und zum Grübeln anregen. Warum fällt das Marmeladenbrot stets auf die Marmeladenseite? Schlägt ein Blitz immer in das höchste Gebäude ein?

Im Mittelpunkt des Kurses standen genau solche Phänomene aus dem Alltag. Dazu wurden zuerst Themen und Fragestellungen gesammelt und anschließend experimentell und zum Teil theoretisch untersucht.

Unser Kurs am Rotteckgymnasium bestand in diesem Jahr aus 11 zuverlässigen und wissensbedürftigen Schülerinnen und Schülern der Klassenstufen 7-10. Die Teilnehmer der AG kamen in diesem Jahr zum Großteil aus Freiburg, es gab aber auch Teilnehmer aus dem Elztal und aus Bad Krozingen.

Unterschiede im Vorwissen waren aufgrund der Altersstreuung selbstverständlich gegeben, was jedoch nicht weiter schlimm war, da die Stimmung im Kurs stets gut war und die älteren Schüler ihre Kompetenzen für alle gewinnbringend einsetzen konnten. Beim Experimentieren waren praktische Fähigkeiten, Ausdauer, und technisches Verständnis gefragt, was letztlich alle in gleichem Maße forderte.

Einige Teilnehmer kannten sich bereits davor, über die Zeit entstanden, aber auch neue Freundschaften.

Inhalte

SCHALL

Beim Thema Schall haben wir uns mit folgenden Themen auseinandergesetzt:

Das menschliche Gehör

Hierbei ging es darum herauszufinden wie gut unser Gehör und unser Gehirn in der Lage sind folgende Parameter richtig einzuschätzen:

- Wie genau können wir Richtungen einschätzen?
- Wie genau können wir Entfernungen einschätzen?

Hierzu haben wir uns unter anderem in verschiedenen Richtungen und auch auf verschiedenen Höhen auf dem Schulhof verteilt und Geräusche gemacht, um zu prüfen, wie gut eine Person in der Mitte mit geschlossenen Augen die etwaigen Winkel einschätzen konnte.

Unsere Ergebnisse:

- Unsere Ohren sind in der Lage die Richtung von Schallquellen relativ genau ($\pm 10^\circ$) zu bestimmen.
- Dazu sind allerdings beide Ohren notwendig. Mit nur einem Ohr ist es wesentlich schwieriger eine Schallquelle zu orten. Schall der von vorne oder hinten kommt ist etwas weniger gut zu lokalisieren als Schall von der Seite. Schall der aus der Höhe kommt ist auch weniger gut zu lokalisieren.
- Die Entfernung kann bei bekannten Geräuschen relativ genau geortet werden, bei unbekannten Geräuschen ist es bereits viel schwieriger.

Der Dopplereffekt

Unser Ziel war es, die Fahrzeuggeschwindigkeit aus der Frequenz-Veränderung der Fahrgeräusche beim Vorbeifahren zu bestimmen. Das Problem war jedoch, dass es an der Stelle zu viel Umgebungslärm gab, so dass wir stattdessen die Veränderung der Hup-Ton Frequenz benutzt haben.

Hierfür ist unser Lehrer Herr Pohl hupend auf der Straße an uns vorbeigefahren, während wir den dabei entstehenden Ton auf Band aufgenommen haben.



Abbildung 64: Bestimmung der Fahrzeuggeschwindigkeit mit Hilfe des Dopplereffekts

Mithilfe der App Schallanalysator haben wir dann die Frequenz davor und danach bestimmen können, welche wir in eine Formel einsetzen konnten, womit wir auf die Geschwindigkeit des Autos von Herrn Pohl schließen konnten.

Die somit von uns ermittelte Geschwindigkeit hat ± 2 km/h mit der vom im Auto eingebauten Geschwindigkeitsmesstechnologie übereingestimmt, was man durchaus als recht präzise werten kann.

Leonhard Wendisch

BLITZE

Blitze sind ein faszinierendes Phänomen. Kein Wunder hat dieses Thema einmal wieder seinen Weg in die AG gefunden.

In diesem Jahr ging es dabei um folgende Fragestellungen:

1. Wann entstehen Blitze?
2. Welche Spannung hat ein Blitz?
3. Wie entsteht der Knall bei einem Blitz?
4. Wovon hängt die Lautstärke des Knalls ab?

Diese einfachen Fragen hatten es jedoch wirklich in sich.

Frage 1 war relativ einfach zu beantworten. Durch Versuche mit Luftballons konnten bereits Miniblitze erzeugt werden.

Die Spannung der Luftballons wurde mit dem Elektroskop gemessen und betrug einige Tausend Volt.

Fazit: Damit ein Blitz oder Funken entsteht, braucht es eine Ladungstrennung und eine sehr hohe Spannung.

Um Frage 2 zu beantworten benutzen wir die schuleigenen Influenzmaschinen. Da unser Voltmeter mit dem größten Spannungsbereich nur bis 20 kV messen konnte, vermaßen wir die Spannung in Abhängigkeit zur Funkenstrecke für kleine Abstände und dadurch auch kleine Spannungen und extrapolieren diese dann für große Funkenstrecken.



Abbildung 65: Langzeitbelichtung von Blitzen der Influenzmaschine

Erkenntnis: Unsere große Influenzmaschine liefert Spannungen bis ca. $170\,000\text{ V} \pm 20\,000\text{ V}$ und erreicht dabei Funkenstrecken von maximal 7 cm.

Übertragen auf Blitze in der Natur hieße das: Für eine Blitzlänge von 1000 m ist eine Spannung von ca. 2 Milliarden Volt notwendig!

Weitere Experimente zeigten, dass diese Spannungswerte allerdings sehr variabel sind.

Die benötigte Spannung für einen Blitzüberschlag hängt noch von vielen weiteren Faktoren ab, z.B.

- Lufttemperatur bzw. Luftdichte
- Wasserdampfgehalt
- Vorhandensein von geladenen Teilchen
- Form der Elektroden

Frage 3 erwies sich als sehr knifflig. Unsere ersten Vermutungen waren:

- Schwingungen am Auftreffort, die durch die beteiligten schnellen Elektronen entstehen
- Luftschwingungen im Blitzkanal also Hohlraumresonanzen

Unsere Experimente ergaben: Der Knall des Blitzes hängt offenbar nicht vom Material oder der Form des Auftreffortes ab. Der Knall entsteht also nicht durch Schwingungen am Ort des Auftreffens des Blitzes.

Um der Vermutung mit der Hohlraumresonanz auf den Grund zu

gehen wurden die Frequenzspektren der Knallgeräusche untersucht. Aufgrund der sehr kurzen Zeitdauer des Geräusches war dies sehr herausfordernd mit unseren technischen Möglichkeiten. Es zeigten sich tatsächlich gewisse Muster. Allerdings keine scharfen Einzelfrequenzen. Eine Berechnung der Hohlraumfrequenz misslang, da eine Temperaturmessung der Blitze nicht möglich war.

Experimentell noch schwieriger zu überprüfen wäre eine Erklärung des Knalls als Überschallknall. Durch die starke Erhitzung dehnt sich die Luft im Blitzkanal explosionsartig aus. Es entsteht ein Druckanstieg, der in der Luft nicht schnell genug abgebaut werden kann. Dieser massive Druckanstieg wird dann als Knall wahrgenommen.

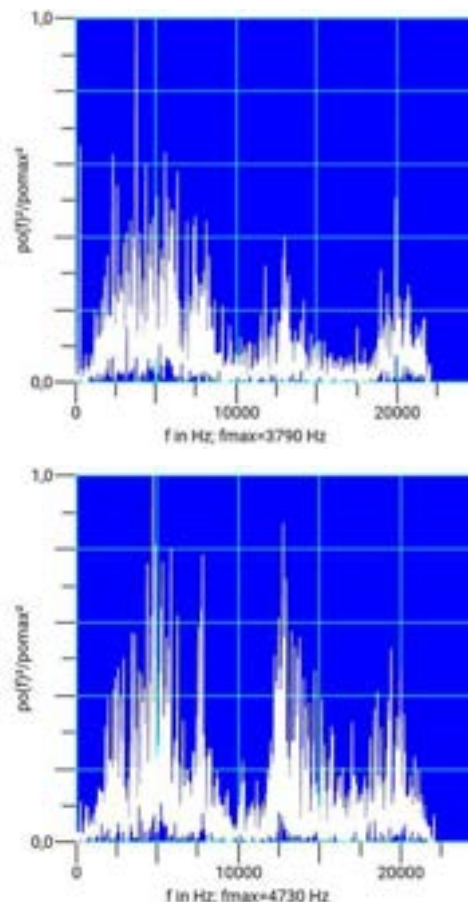


Abbildung 66: Spektren bei Funkenlänge 7 cm

Auch Frage 4 erwies sich als knifflig. Es war zum einen schwer, die einzelnen Parameter isoliert von den anderen zu erhöhen, zum anderen war es schwer die Lautstärke eines so kurzen

Schallereignisses exakt und reproduzierbar zu messen.

Nach vielen, vielen Messreihen und Herausforderungen beim Bau von eigenen Leidener Flaschen kamen wir zu dem Ergebnis, dass sowohl die Ladungsmenge, als auch die Spannung, als auch der Elektrodenabstand die Lautstärke des Funkenknalls erhöhen.



Abbildung 67: Selbstgebaute Leidener Flaschen als Ladungsspeicher

Fazit: Das Thema Blitze war in diesem Jahr besonders herausfordernd. Noch sind nicht alle Fragen abschließend geklärt. Auch ich habe durch die spannenden Schülerfragen mal wieder sehr viel Neues gelernt und dafür bin ich dankbar!

FLUGOBJEKTE

Als letztes Projekt haben wir ein Flugobjekt gebaut. Dafür teilten wir uns in Gruppen auf.

Essig-Backpulver-Rakete

Unsere Gruppe hat eine Rakete aus einer Plastikflasche gebaut. Diese wurde mit Essig und Backpulver befüllt, durch einen Stöpsel luftdicht verschlossen. Anschließend stellten wir es kopfüber in einen Startblock, sodass die Flasche senkrecht zum Boden stand.

Wir führten dies mit variierender Essigmenge durch.

Nach 5-15 Sekunden wurde der Stöpsel aus der Flasche hinausgedrückt. Die Essig-Backpulver Mischung entwich schlagartig, und die Flasche flog in die Luft.

Je nach Essigmenge veränderte sich die Flughöhe. Der Essig und das Backpulver haben reagiert und setzten ein Gas frei. Dadurch stieg der Druck in der Flasche. Nachdem sich genug Druck gebildet

hatte, wurde der Stöpsel aus der Flasche gedrückt.

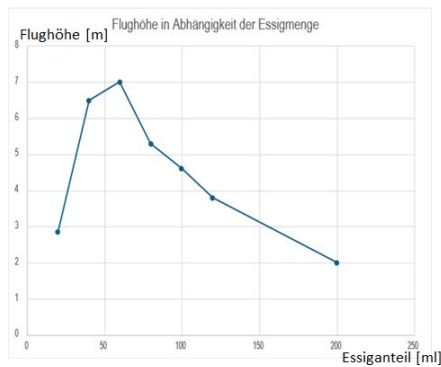


Abbildung 68: Flughöhe in Abhängigkeit der Essigmenge

Fazit: Wir hätten nicht erwartet, dass unser Experiment so gut funktionieren würde.

Mara, Shantia, Mila

Bumerang

Da wir als Gruppe das Thema Flugobjekte hatten, habe ich mich dafür entschieden einen Bumerang zu bauen. Angefangen habe ich damit einen Plan aus einem alten Buch von meinem Vater auf 300% zu kopieren und auf das Holz zu übertragen. Als nächstes habe ich die Form mit einer Laubsäge ausgesägt und dann das Profil geschliffen. Danach ging es an den ersten Testwurf den der Bumerang erstaunlich gut gemeistert hat und schon beim 3. Wurf konnte man den Bumerang mit ein bisschen laufen fangen.



Abbildung 69: Bumerangbau

Fazit: Mir hat das Bauen des Bumerangs viel Spaß gemacht und es war sehr cool, dass der Bumerang auf Anhieb geflogen ist.

Marius



Abbildung 70: Teilnehmerinnen und Teilnehmer der AG Physikalische Phänomene

FAZIT

Die AG hat auch in diesem Jahr wieder jede Menge spannender Fragestellungen der Seminarteilnehmer hervorgebracht. Die Erforschung dieser Fragestellungen war zum Teil eine echte Herausforderung, aber das ist für mich auch das Tolle am Freiburg-Seminar, man dringt in unbekannte Bereiche vor und kommt weg von der klassischen Schulphysik. Zusammen hatten wir zumeist genug Ideen um den Rätseln auf die Spur zu kommen. Manches blieb aber auch unerklärt. Wir alle sind sehr stolz auf die vielen Erkenntnisse, die wir in dieser Zeit gewonnen haben, auch wenn es noch viel mehr zu entdecken gibt.

Zum Schluss muss noch erwähnt werden, dass wir bei allem was wir gelernt haben auch einfach sehr viel Spaß zusammen hatten.

Autor: Johannes Pohl

Technik AG - „Akustische Levitation von Mikrotropfen“

Die AG hatte nur 5 Teilnehmer, von denen leider nur 3 bis zum Schluss durchhielten.

Die Seminarveranstaltungen fanden in den Räumlichkeiten des Instituts für Mikrosystemtechnik (IMTEK) der Technischen Fakultät an der Universität Freiburg statt.

AKUSTISCHE LEVITATION

Durch stehende Ultraschallwellen können kleine Objekte am Schweben gehalten werden. Die Idee war es, einen Resonator zu bauen, der mit einem Ultraschallgeber bei einer Frequenz von 40kHz betrieben wurde. Allgemein gilt der Zusammenhang

$$\lambda = c / f$$

zwischen der Wellenlänge λ , der Schallgeschwindigkeit c und der Frequenz f . Dabei ist die Schallgeschwindigkeit c ungefähr 343 m/s. Bei einer Frequenz von 40kHz haben wir damit eine Wellenlänge $\lambda=8,5\text{mm}$.

Dies war zur Erzeugung einer nutzbaren stehenden Welle eine Herausforderung, denn um Objekte schweben zu lassen mussten diese zwischen Ultraschallgeber und Reflektor injiziert werden.

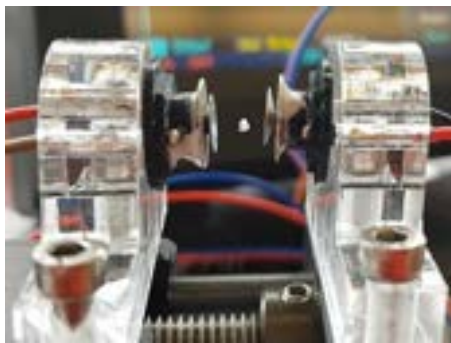


Abbildung 71: Styroporkügelchen, schwebend im Ultraschallfeld (Quelle: G. Birkle, IMTEK)

Abbildung 72 zeigt das Prinzip der Levitation im Ultraschallfeld. Im Versuchsaufbau der Abbildung wurden 2 Ultraschallgeber verwendet, von denen das Gehäuse abmontiert wurde.

Wir verfolgten einen anderen Ansatz und stellten die Achse der Anordnung

zwischen den Ultraschallgebern senkrecht, wie in Abbildung 72 zu sehen.



Abbildung 72: Senkrecht übereinander angeordnete Ultraschallgeber

Im Bild ist zu sehen, dass die Ultraschallgeber wesentlich weiter als 8,5 mm voneinander entfernt sind. Damit hatten wir die Tatsache zu berücksichtigen, dass mehrere stehende Wellen bei dieser Frequenz zwischen die Geber passen und deren Abstand dementsprechend ein Vielfaches der Wellenlänge sein musste.

ANSTEUERUNG UND MESSUNG

Zur Ansteuerung der Ultraschallgeber verwendeten wir eine Schaltung, die uns dankenswerterweise von der Abteilung für Elektrische Messtechnik und Eingebettete System des IMTEK zur Verfügung gestellt wurde (siehe Abbildung 73).



Abbildung 73: Ansteuerungs- und Messplatine für die Ultraschallgeber

Die Messung wurde mit einem digitalen Oszilloskop kombiniert mit einem Signalgenerator von Agilent durchgeführt (siehe Abbildung 74).



Abbildung 74: Digitales Oszilloskop und Signalgenerator

Die Ansteuerung erlaubte es mehrere Ultraschallgeber zu bedienen. Dies erschien notwendig, da vermutet wurde, dass für das Schweben von Flüssigkeitströpfchen ein höherer Schalldruck notwendig ist. Somit kam die Idee auf mehrere Geber parallel zu schalten, wie in Abbildung 75



Abbildung 75: Electrowetting on dielectrics – Benetzbarkeit durch Anlegen eines elektrischen Feldes

gezeigt. Leider konnte auch mit dieser Anordnung kein Schweben von Flüssigkeitströpfchen erreicht werden.

Autor: Dr. Andreas Greiner

Technik AG - „Angewandte Robotik“

Auch in diesem Jahr konnten Dank Unterstützung durch die Schulstiftung der Erzdiözese Freiburg am St. Ursula Gymnasium wieder zwei Kurse in angewandter Robotik durchgeführt werden. Die Teilnehmer*innen der AGs waren Schülerinnen und Schüler der Klassen 6 bis 8, die auch in diesem Jahr mit völlig unterschiedlichen Vorerfahrungen in den Kurs kamen. Während ein paar bereits Wettbewerbserfahrung und LEGO-spezifisches, technisches „Know-How“ mitbrachten, war es für die meisten Schüler*innen im Kurs die erste Begegnung mit LEGO-Technik Bausätzen sowie mit blockbasierten visuellen Programmiersprachen. Begeisterte LEGO-Bauer*innen wurden im Kursverlauf dann alle – denn die unterschiedlichen Aufgabenstellungen des ersten Kurshalbjahres verlangten immer wieder Umbauten am Roboter und dessen Fahrwerk. So mussten bspw. für die Aufgabenstellung „wer baut den schnellsten Roboter“ Getriebe mit günstigen Übersetzungen konstruiert und erprobt werden.

Da eine der beiden Arbeitsgemeinschaften im wöchentlichen Turnus angeboten wurde, konnten sich die besonders interessierten Schüler*innen mit zusätzlichen Projekten wie bspw. einem Roboterwettkampf intensiver mit der Thematik auseinandersetzen. Dank dem Einsatz zweier Schülermentoren, Miro Ritter und Jonathan Pullkowski vom Rotteck-Gymnasium, hatten wir erstmals auch die Expertise mit

mehrmaliger, erfolgreicher Wettbewerbserfahrung im Team.

Im Hinblick auf die anvisierte Teilnahme am Regionalwettbewerb der World Robot Olympiad (WRO) beschäftigten wir uns ab Januar mit wettbewerbsnahen Aufgabenstellungen, die ein hohes Maß an abstrakter Lösungsorientierung und programmiertechnischer Umsetzung verlangten. Elemente wie Fahren bis zu einer oder entlang einer schwarzen Linie, Aufnehmen von Gegenständen und zielgenaues Ansteuern von Fixpunkten ermöglichten den Schülerinnen und Schülern einerseits mit den Bauteilen, Sensoren und der Programmiersprache vertraut zu werden. Darüber hinaus konnten die einzelnen Elemente dann im modulartigen Vorgehen zur Lösung komplexer Aufgabenstellungen herangezogen werden.

Ziel unserer beiden Kurse ist es stets, mit mehreren Teams an der World Robot Olympiad (WRO) teilzunehmen. So stand dann auch das zweite Kurshalbjahr klar im Zeichen der Wettbewerbsvorbereitung,



wobei wir erst wenige Wochen vor dem Regionalwettbewerb entschieden haben, welche Teams für das Freiburg-Seminar an den Start gehen. An der WRO nehmen mittlerweile etwa 30.000 Teams aus rund 100 Ländern teil.

Am 24.5.2025 traten dann drei ausgewählte Teams beim WRO-Regionalwettbewerb in Waldkirch an. In diesem Jahr gab es in der

Kategorie RoboMission mehrere bedeutende Neuerungen, die sowohl die technischen Anforderungen als auch den Wettbewerb selbst betrafen. So waren erstmals alle Robotersysteme erlaubt – neben LEGO-Robotern eben auch Plattformen wie Arduino, Raspberry Pi oder andere. Auch der Wettbewerbsmodus wurde grundlegend überarbeitet, um Fairness und Vergleichbarkeit zu gewährleisten. So durften die Teilnehmer*innen ihren Roboter bereits aufgebaut zum Wettbewerb mitnehmen und damit in den zwei Wertungsrunden am Vormittag die bereits bekannte und vorbereitete Aufgabe lösen. Am Nachmittag erwartete die Teams dann eine komplett neue Tagesaufgabe mit weiteren zwei Wertungsrunden. Für diese Tagesaufgabe musste der Roboter grundlegend umgebaut und neu programmiert werden. Bei der Endwertung wurde schließlich der jeweils bessere Wertungslauf vom Vormittag und vom Nachmittag gezählt.

In diesem Jahr trug die Wettbewerbsaufgabe den Titel „Mars Exploration“. Die

Teams bauten einen Roboter, der bei der Erkundung und

Besiedlung des Mars half. Der Roboter sollte verschiedene Proben auf dem Spielfeld einsammeln und diese in die farblich passenden Labore bringen. Außerdem sollte der Roboter ein Solarpanel an einem liegen gebliebenem Mars-Rover vollständig ausklappen und eine



Abbildung 77: Programmierung der Aufgabe: Fahre bis zu einer schwarzen Linie

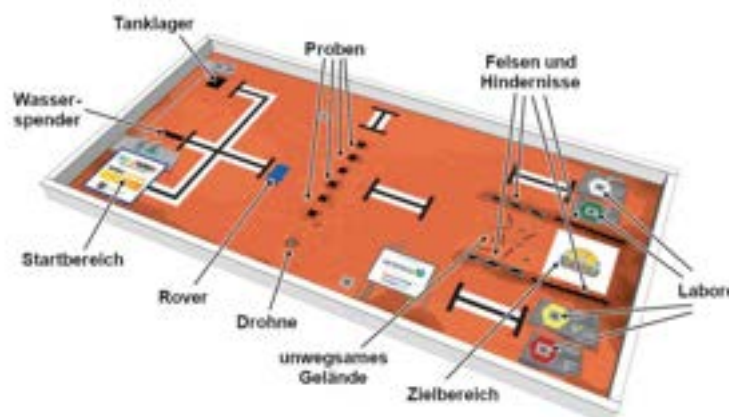


Abbildung 76: Spielfeldübersicht der Aufgabe RoboMission – Junior WRO 2025

Drohne in den Startbereich transportieren. Dabei durften die aufgebauten Felsen und Hindernisse nicht berührt oder verschoben werden. Die Teilaufgabe, bei der Wasser aus dem Spender in das Tanklager gebracht werden musste, hatten unsere Teams aus strategischen Gründen erst einmal nicht in den Programmablauf eingebaut.

Nach der Mittagspause erhielten die Teams dann die neue Tagesaufgabe, bei der die Spielfeldelemente verändert wurden und sie völlig neue Teilaufgaben bewältigen mussten. Die Teilnehmer*innen erhielten insgesamt drei Stunden Zeit, um den Roboter umzubauen und für die neuen Teilaufgaben zu programmieren. Dabei war es grundlegend wichtig, sich zunächst zu überlegen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Teilaufgaben absolviert werden sollten. Die komplexe Planung dieser Reihenfolge ist in Abbildung 78 dargestellt.



Abbildung 79: Teilnehmer*innen des Freiburg-Seminars am WRO-Wettbewerb in Waldkirch



Abbildung 80: Das zweitplatzierte Team des regionalen WRO-Wettbewerbs in Waldkirch

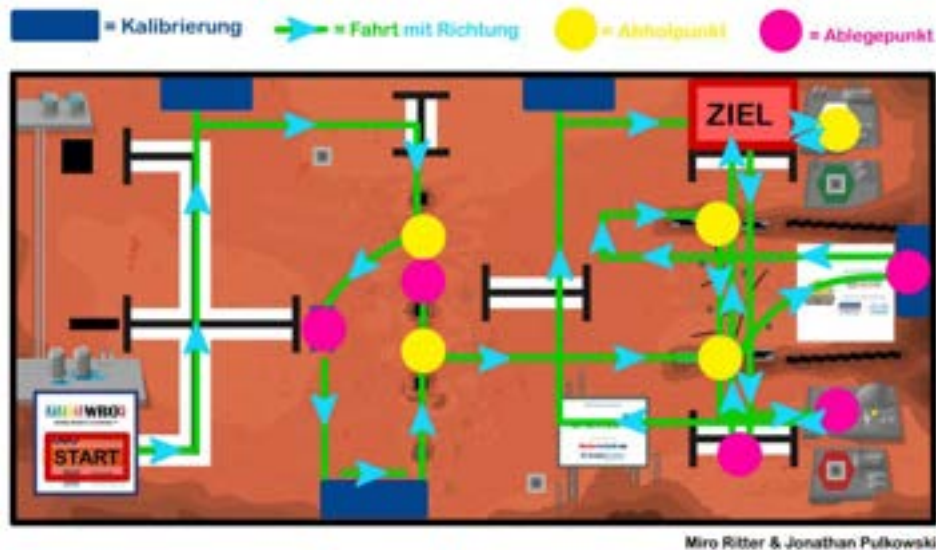


Abbildung 78: Planung der Nachmittagsaufgabe

Beim bis zum letzten Wertungslauf spannenden und überraschenden Wettbewerb in Waldkirch erreichten die Teams des Freiburg-Seminars einen zweiten, neunten und zehnten Platz.

Autoren: Jens Deipenwisch & Dr. Markus Eppinger

Technik AG – „Mikrocontroller und Automatisierung“

Diesjährige Projekte

Im Folgenden stellen Teilnehmer*innen und ich ausgewählte Projekte der AG vor.

AUTONOM FAHRENDER ROVER

Unser Projekt besteht aus einem Fahrzeug mit zwei Rädern und einem nichtmotorisierten Kugelrad. Wir haben uns aus verschiedenen Gründen für dieses Projekt entschieden:

Erstens ist das Auto eher einsteigerfreundlich, und da wir beide noch neue Erfahrungen im NWT-Bereich sammeln wollten, gut geeignet. Beispielsweise haben wir neues Wissen über den Arduino, über LCD Displays, über Motortreiber, über die Stromversorgung mit zwei Quellen und über das Empfangen von IR-Signalen gesammelt. Wir haben unsere Fähigkeiten, Fehler zu finden und zu beheben, zu löten, Arduino Programmcode zu schreiben und CAD-Modelle mit FreeCAD zu erstellen erlernt und erweitert.

Aaron und Emil

BAU EINER PULTLEUCHTE

Der Arbeitsplatz eines Lichttechnikers liegt meist im Dunkeln, z. B. bei Theateraufführungen. In meiner Schule bin ich Lichttechniker und bemerkte, dass die Bühne zwar gut beleuchtet ist, am digitalen Lichtmischpult jedoch keine Pultleuchte vorhanden ist. Dort arbeitet man oft zu zweit: Eine Person liest das Skript, die andere bedient das Pult. Ohne ausreichendes Licht ist das Lesen des Skripts nicht möglich. Daher beschloss ich, eine Pultleuchte zu bauen, die mit dem digitalen Lichtpult gesteuert werden kann. Die Leuchte kommuniziert drahtlos mit dem Pult, und es lassen sich Farbe und Helligkeit je nach Bedarf einstellen. Ein Display mit Menü ermöglicht es, die Helligkeit entweder manuell einzustellen oder vom Pult steuern zu lassen. Ich plante die Elektronik, bestellte Teile und lötete eine Platine. Zudem designte ich ein Gehäuse und einen klappbaren Mechanismus, die ich beide mit einem 3D-Drucker erstellte. Damit ist die Leuchte vielseitig in der Veranstaltungstechnik einsetzbar.

Juri

Juri hat mit seinem Projekt am Jugend Forscht Junior Regionalwettbewerb Südbaden teilgenommen und den 3. Platz im Fachgebiet Arbeitstechnik errungen.

WETTBEWERBS-DROHNE FÜR REGATTA HERO

Gregor und Herr Raue werden ihre Zusammenarbeit im folgenden AG-Jahr fortsetzen. Ziel dieser Kooperation ist die Entwicklung einer autonomen Bootssteuerung auf der Basis des RP4. Sowohl Hardware als auch Firmware sollen auf der bis jetzt erarbeiteten Grundlage entwickelt werden. Gregor hat am Ende dieses Schuljahres Abitur gemacht und wird deshalb aus meiner AG austreten. Er entwickelt gerade (Juli 2025) einen schwimmfähigen Prototypen und will diesen unter realen Bedingungen testen.

BB8-ROVER

Wir haben einen ferngesteuerten Roboter nach dem Vorbild von BB-8 aus Star Wars gebaut. Die Kugel bewegte sich durch zwei innenliegende Motoren, während der Kopf mithilfe von Magneten stabil blieb. Gesteuert wurde der Roboter über einen ESP32 per Bluetooth oder WLAN. Vorab testeten wir Motoren, Funkverbindung und fertigten 3D-Probendrucke an.

Leonard und Kay

WINDKANAL FÜR DEN FORMEL 1 IN DER SCHULE

Elias hat für seine Teilnahme am Formel 1 in der Schule Teile seines selbst entwickelten Windkanals in der AG gebaut.



Abbildung 79: Windkanal für den Formel 1

Die sehr erfolgreiche Teilnahme am Wettbewerb erfolgte außerhalb der AG.

MIT SKY2GATHER INS ALL – UNSERE REISE ZUM CANSAT WETTBEWERB

„3, 2, 1 ... Lift-off!“ – Als unsere selbstgebaute Mini-Rakete mit dem CanSat an Bord in den Himmel schoss, war das der Höhepunkt von sechs Monaten intensiver Arbeit, Tüftelei und Teamarbeit. Wir, das Team **Sky2gather** vom Freiburg-Seminar, durften im März 2025 beim **bundesweiten CanSat-Wettbewerb** in Bremen teilnehmen – ein unvergessliches Erlebnis.

Die Grundidee des Wettbewerbs: Einen Satelliten in der Größe einer Getränkedose bauen, der bei einem Raketenstart auf rund 1000 Meter Höhe gebracht wird und beim Fall zur Erde Messdaten sammelt. Neben der vom Wettbewerb vorgegebenen **Primärmission** – Messung von Temperatur und Luftdruck – entwickelten wir eine **eigene Sekundärmission**, bei der wir eine Kamera in den CanSat integrierten. Diese sollte während des Falls zur Erde möglichst stabile Aufnahmen liefern. Um das zu erreichen, setzten wir ein selbst konstruiertes **Reaktionsrad** ein, das den Satelliten aktiv stabilisieren sollte. Unsere Idee: Mit dieser Technik könnten zukünftige Minisatelliten gezielt ausgerichtet werden, um etwa Erdbeobachtungsdaten zu erfassen – ein spannender Einblick in die Grundlagen der Satellitenlageregelung.

Die Monate vor dem Finale waren intensiv: Wir recherchierten Sensoren, programmierten unsere Software, feilten an der Elektronik, feilten noch mehr an der Elektronik (Stichwort: Kabelbruch!) und testeten unzählige Male. Besonders herausfordernd war es, alles so leicht, kompakt und robust zu bauen, dass es den Raketenstart und die Landung mit dem Fallschirm übersteht. Dabei haben wir unglaublich viel über Luftdruckphysik, Mikrocontroller, Datenübertragung und Teamkoordination gelernt – und nicht zuletzt über das Planen und Durchhalten.

Die Teilnahme am Finale in Bremen war für uns das Highlight. Eine Woche lang durften wir mit sieben anderen Teams aus ganz Deutschland unsere CanSats vorstellen, präsentieren, diskutieren – und natürlich starten lassen. Der Starttag auf dem Flugplatz Rotenburg/Wümme war spektakulär: Bei klarem Himmel und frischem

Wind wurden die Raketen gezündet. Unser selbstgebauter Satellit wurde mit einer Rakete auf etwa 800 Meter Höhe befördert. Noch aufregender war es, die Daten nach der Landung auszulesen.

Neben dem technischen Teil war auch die Teamarbeit ein zentrales Element. Öffentlichkeitsarbeit, Projektmanagement, Finanzierung – all das gehörte dazu. Wir haben gelernt, als Gruppe zu funktionieren, Verantwortung zu übernehmen und uns gegenseitig zu unterstützen. Und: Wir hatten eine Menge Spaß dabei – sei es beim Löten bis spät in die Nacht oder beim Feinschliff unserer Präsentation in der Jugendherberge.

Obwohl wir nicht den ersten Platz gewonnen haben, war der Wettbewerb für uns ein voller Erfolg. Wir sind stolz auf das, was wir als Team erreicht haben. Die Erfahrung hat uns nicht nur technisch, sondern auch persönlich wachsen lassen. Vielleicht haben wir nicht das All erreicht – aber für einen Moment waren wir ihm ziemlich nah.

Daniil, David, Elias und Kay



Abbildung 80: Sky2gather Poster



Abbildung 81: Montage des Satelliten in der Größe einer Getränkedose



Abbildung 82: ESA-Gebäude



Abbildung 83: montierter Satellit in der Größe einer Getränkedose

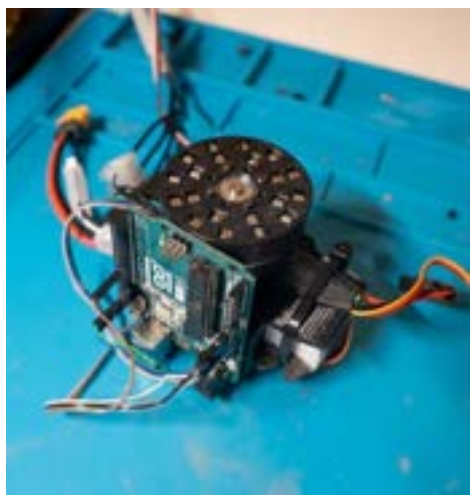


Abbildung 84: Innenraum Satellit in der Größe einer Getränkedose



Abbildung 85: Sensoreinheit des Satelliten

Ausblick auf das nächste AG-Jahr

ERNEUTE TEILNAHME AM CANSAT WETT-BEWERB

Ich bin Wiederholungstäter! Ich freue mich darauf auch im kommenden Jahr am CanSat Wettbewerb teilzunehmen, wenn wir denn ausgewählt werden!

MEIN PERÖNLICHES FAZIT DES AG-JAHRES

So viele einzelne Projekte habe ich in keinem anderen AG-Jahr betreut!

CanSat war aber der absolute Hammer! Unglaublich viel Zeit in der Vorbereitung – und unglaublich viele faszinierende Menschen kennengelernt. Durch einen Nachbau der ISS zu laufen, das im Bau befindliche ESM-Versorgungsmodul von Airbus und der ESA bestaunen, das Spacelab mit eigenen Händen berühren – all das waren eindrucksvolle Erlebnisse.

Den zweiten Start der Ariane 6 mitzerleben, gemeinsam mit dem Team, das die Oberstufe entwickelt hat, war ein weiteres Highlight.

Ich bin richtig stolz auf meine Freiburg-Seminaristinnen und -Seminaristen – dass wir das gemeinsam durchgezogen haben!

Autor: Wolfgang Wolff

„Science-Junior-Club“

Energiegewinnung der Zukunft

13 junge Forscher besuchten dieses Jahr den Science-Junior-Club und hielten die Augen weit geöffnet für die Geheimnisse der Physik und Chemie.

Physik

Im Physikteil sollte die Versorgung mit elektrischer Energie unter die Lupe genommen werden. Zunächst sorgte die Influenzmaschine für eine anregende Entwicklung der Begriffe Ladung und Spannung. Die Ladungstrennung bei Reibungsvorgängen lieferte eine erste Möglichkeit mit elektrischen Phänomenen in Kontakt zu treten.



Abbildung 86: Influenzmaschine (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Influenzmaschine>)

Viele Ideen wurden ausprobiert und letztlich die Unterscheidung der Begriffe „geladen“ und „Stärke des Unterschieds“, also Ladung und Spannung entwickelt.

Die Konzepte wurden einem ersten Praxistest unterzogen. Können einfache Zitronenbatterien genug Spannung und Stromstärke bereitstellen, um eine kleine Digitaluhr zu betreiben? Die Tricks Parallel- und Reihenschaltung halfen hier weiter und letztendlich konnte die Zeit seit Versuchsbeginn an der Uhr abgelesen werden. Nebenbei konnten der Umgang

mit den Multimetern eingeübt werden und das Modell der strömenden Ladungsträger erwies sich als tragfähig. Der Versuch, mit den Zitronenbatterien LEDs zum Leuchten zu bringen, misslang jedoch. Fazit: Eine elektro-chemische Erzeugung funktioniert, lieferte in unserem Fall aber zu wenig Energie. Außerdem verbrauchen sich die chemischen Reaktionspartner.

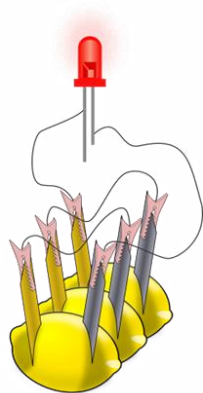


Abbildung 89: Zitronenbatterie (Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Lemon_battery)

Als Alternative erforschten die Seminarist*innen die Möglichkeiten der induktive Spannungserzeugung. Zunächst mit Spule und Magnet. Das kurze Aufblitzen von LEDs beim schnellen Bewegen der Bauteile gegeneinander wurde als Teilerfolg gewertet. Experimente mit Generatormodellen und Stabmagneten lieferten Einsichten in die Natur technisch-physikalischer Stromerzeugung und den ersten nachweisbaren selbst erzeugten Wechselstrom.



Abbildung 87: Stromerzeugung der Vergangenheit (Quelle: <https://www.wileco.de/dampfmaschinen/stationaere-dampfmaschinen>)

Die Funktionsweise einer ununterbrochenen, ohne Reaktionspartner auskommenden Stromerzeugung war damit geklärt und wir schlugen einen Bogen zur

Stromerzeugung der Vergangenheit und der Gegenwart. Eine gasbetriebene Dampfmaschine und der Blick auf die aktuelle Stromversorgung rückten viele Vorurteile gerade und konnte viel Vorwissen der Teilnehmer integrieren.



Abbildung 88: Stromerzeugung der Gegenwart

Den Bogen zurück zum Modulbeginn schloss eine abschließende Betrachtung der heutigen und der prognostizierten zukünftigen Versorgung mit elektrischer Energie und deren Auswirkung auf die Netzstruktur. Hier konnte der Wetterverlauf am letzten Geburtstag eines Seminarernteilnehmers aus den Charts der Stromerzeugung an diesem Tag rekonstruiert werden.

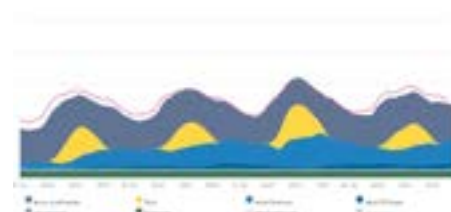


Abbildung 89: Wetterverlauf anhand Stromerzeugung (Quelle: <https://www.agora-energie-wende.de>)

Auch die Zitronenbatterie kam nochmal zu Ihrem Recht – chemische Speicherung wird ein Thema der Zukunft werden. Wir betrachteten das Thema Wasserstoff dieses Jahr deutlich genauer und auch in der Praxis. Zwei Brennstoffzellenautos wurden zuerst zusammengebaut und getestet. Danach wurden sie spontan – eine absolute Neuentwicklung – zu einem Auto mit drei Wasserstoffzellen kombiniert.

Gut, dass wir uns mit Reihen- und Parallelschaltungen genauer befasst hatten.

Autor: Klaus Hesse

Chemie

Der zweite Teil des Science-Junior-Club beschäftigte sich mit chemischen Zusammenhängen.

VERSCHIEDENE BRENNARTEN & SIEDEVERZUG

Zunächst wurde den Schüler*innen anhand eines interaktiven Computerprogramms die Handhabung des Gasbrenners nähergebracht. Dabei konnten die Schüler*innen gefahrlos alle Bedienungsarten durchspielen, die bei einem Gasbrenner möglich sind. Fehler wurden dabei sofort rückgemeldet. Am Ende stand dann die sichere Beherrschung des Gasbrenners. Darüber hinaus wurden auch die verschiedenen Brennerarten, wie Teclubrenner, Bunsenbrenner und Kartuschenbrenner thematisiert. Das Erlernen wurde dann im praktischen Versuch angewandt und der sogenannte Siedeverzug beim Erhitzen von Flüssigkeiten im Experiment nachgestellt. Die Vorteile bei der Verwendung von Siedesteinen zur Verhinderung des Siedeverzuges beim Erhitzen von Flüssigkeiten, erfuhren die Schüler*innen ebenfalls experimentell.

GLASBIEGEN & GLASBLASEN

In einer offenen Einheit wurde dann das einfache Trennen von verschiedenen Stoffen mit Hilfe des Gasbrenners erörtert und praktisch durchgeführt. Die unterschiedlichen Stoffeigenschaften, wie Siede- und Schmelztemperatur mussten dabei herausgefunden und anschließend für einen sinnvollen Versuchsaufbau angewendet werden.



Abbildung 90: Glasbiegekunst

Die Formveränderung von Stoffen ohne Stoffumwandlung wurde durch das eigenständig durchgeführte Glasbiegen und Glasblasen veranschaulicht. Hier konnten die Schüler*innen ihrer Kreativität freien Raum lassen und ihr handwerkliches Geschick erproben. Es musste dabei unter anderem auch der optimale Durchmesser des Glasmaterials herausgefunden werden. Die kunstvollen Glasbläserarbeiten hatten allerdings den Nachteil, dass sie beim Abkühlen oftmals zerspringen. Je komplexer das geformte Gebilde, desto größer war die Wahrscheinlichkeit, dass es Schaden nimmt. Hier mussten gute Kompromisse gefunden werden.

SÄURE BASE INDIKATOREN

Im weiteren Verlauf wurde aus Rotkohlr ein Säure Base Indikator hergestellt und an vielen haushaltsüblichen Stoffen, wie Zuckerwasser, Salzwasser, Seifenlösung, Backpulverlösung, Abflussreiniger, Essig u.a. getestet. Dazu wurde ein Rotkohl in kleine Teile zerschnitten und der Farbstoff in heißem Wasser extrahiert.

Die Farbvielfalt dieses Säure-Base-Indikators ist nicht nur für junge Schüler*innen immer wieder sehr faszinierend.



Abbildung 91: Rotkohllindikator in verschiedenen Milieus

Auch andere in der Chemie verwendete Indikatoren wie Bromthymolblau, wurden auf ihre Farbigkeit in Abhängigkeit vom sauren bzw. alkalischen Milieu hin überprüft. Zum Vergleich wurden dann, in einem offenen Praktikum mit Wettbewerbscharakter, Supermarktprodukte wie Johannisbeer- oder Rote Beetesaft auf ihre Tauglichkeit als Indikator geprüft. Zum Abschluss der Einheit Säuren und Basen, wurde der Begriff des pH-Wertes und der Werbeslogan „pH haut-

neutral“ an Stoffen des Alltags, wie Shampoo oder Reinigungsmitteln erörtert.

STOFFTRENNUNG

Der Seminarunterricht wandte sich dann dem Thema Stofftrennung zu.

Über die beeindruckenden Rungebilder zur Unterscheidung und Trennung von verschiedenen Farbstoffen, führte der Seminarverlauf hin zu immer komplexeren Trennungsv erfahren. Die Rungebilder entstehen bei der Trennung des schwarzen Filzstiftfarbstoffes in seine farbigen Bestandteile auf Filterpapier durch eine geeignete Flüssigkeit als Laufmittel.

Die Farbigkeit der Rungebilder und die offene Aufgabenstellung, sorgte für sehr fantasievolle und kreative Ergebnissen. Selbst Schüler*innen, die dieses Thema schon im Unterricht behandelt hatten, konnten aufgrund der nun vorhandenen Zeit, viel tiefer in die Thematik einsteigen und verschiedenste Kreationen selbst ausprobieren. Durch die abschließliche Verwendung von Wasser als Laufmittel, konnte gefahrlos experimentiert werden.

Autor: Heiko Härtner

„Mathe-Junior-Club“

Mathe macht Spaß

ALLGEMEINES

Ein Schuljahr lang trafen sich alle zwei Wochen mathematisch interessierte Köpfe aus der 5. und 6. Klasse im St. Ursula-Gymnasium in Freiburg, um gemeinsam in verschiedene Gebiete der Mathematik hineinzuschauen, in jeder Doppelstunde in ein anderes. Unsere Themen behandelten Geometrisches und genaues Zeichnen, mathematische Rätsel und ihre Lösungsstrategien, Zahlen und Rechenteknik und einiges mehr. Auch das Spielen kam nicht zu kurz. Hier ein kleiner Auszug aus unserem Programm:

KNOBELN UND RÄTSELN

Geld verschwunden?¹

Drei Gäste zahlen jeweils 20 Euro an der Bar. Der Wirt bemerkt, dass die Getränke nur 17 Euro kosten, und schickt einen Jungen mit 9 Euro zurück. Der Junge gibt jedem Gast 2 Euro, behält aber 3 Euro für sich. Nun hat jeder Gast 18 Euro gezahlt, also insgesamt wurden 54 Euro gezahlt und der Junge hat 3 Euro. Wo ist der Rest?

Die Aufgabe klingt zunächst harmlos, schließlich kommen nur kleine Zahlen und die Grundrechenarten vor; je länger die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Mathe-Junior-Clubs aber über das Problem nachdachten, desto schwieriger wurde es, sich nicht verwirren zu lassen.

Denn die in der Aufgabe angegebene Rechnung klingt ja plausibel:

1. Zahlung:

$$3 \cdot 20 \text{ Euro} = 60 \text{ Euro}$$

60 Euro sind also im Umlauf.

2. Zahlung:

$$3 \cdot 18 \text{ Euro} = 54 \text{ Euro}$$

$$54 \text{ Euro} + 3 \text{ Euro} = 57 \text{ Euro}$$

Wo sind die restlichen 3 Euro geblieben?

Umgekehrt zu rechnen, hat die Sache leichter gemacht:

60 Euro

$$- 3 \cdot 17 \text{ Euro}$$

(Preis für Getränke)

$$- 3 \cdot 2 \text{ Euro}$$

(Rückzahlung an die Gäste)

$$- 1 \cdot 3 \text{ Euro}$$

(Trinkgeld für den Jungen)

= 0 Euro

Es ist also kein Geld verlorengegangen.

Und wo liegt der Denk- oder Rechenfehler?

Die Gäste haben 17 Euro für Getränke bezahlt und je 1 Euro Trinkgeld für den Jungen, insgesamt wurden also nur 54 Euro bezahlt. Die Differenz zu 60 Euro, also 6 Euro, hat der Wirt den Gästen zurückerstattet. In der obigen Rechnung ist das Trinkgeld für den Jungen also doppelt berechnet und das zurückbezahlte Geld nicht berücksichtigt.

Nachdem wir uns durch die Aufgabe zunächst haben in die Irre führen lassen, gelang es uns dann doch, die gestellte Falle zu erkennen, das verlorene Geld zu finden und schlussendlich richtig zu rechnen.

ETWAS KOMBINATORIK

Nicht ratlos vor dem Kleiderschrank

Max steht morgens vor dem Kleiderschrank und weiß nicht, was er anziehen soll. 3 Pullover, 5 T-Shirts und 2 Hosen stehen zur Auswahl. Wie viele Kombinationsmöglichkeiten hat er denn?

Nachdem die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erste Schätzungen abgegeben hatten, sind wir die Frage systematisch angegangen und haben uns mit Hilfe

eines Baumdiagramms einen Überblick verschafft:

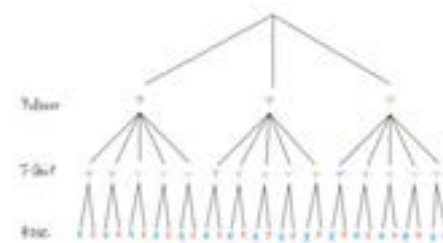


Abbildung 92: Baumdiagramm für die Kombinationsmöglichkeiten aus dem Kleiderschrank

Durch Nachzählen sieht man, dass Max 30 Möglichkeiten hat, sich einzukleiden.

Dass man nicht in allen Fällen ein Baumdiagramm zeichnen möchte, weil das schnell zu groß und unübersichtlich wird, wurde bereits bei diesem Beispiel klar. Also lieber rechnen:

$$3 \cdot 5 \cdot 2 = 30$$

Auf diese Weise konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer schnell einfache Aufgaben zur Kombinatorik lösen.

Und auch schwierigere nahmen wir uns vor: Auf wie viele Arten können sich 5 Personen in eine Reihe setzen?

$$5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$$

Und wie viele Möglichkeiten gibt es dabei noch, wenn zwei der Personen unbedingt nebeneinander sitzen wollen?

$$2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 4 = 48$$

War das System erst einmal verstanden, gelangen uns auch die Überlegungen zu komplizierteren Aufgaben, auch wenn das Thema Kombinatorik das Potential dazu hatte, Verknotungen in unseren Köpfen zu verursachen.

¹ Lambacher Schweizer 5, Mathematik für Gymnasien, Baden-Württemberg, Stuttgart 2014, S. 55.

GEOMETRISCHES

Die Koch'sche Kurve oder Schneeflockenkurve²

Zuerst hieß es: sauber zeichnen.

Begonnen wird mit dem Zeichnen einer Strecke, die z.B. 27 cm lang ist. Im nächsten Schritt wird diese Strecke in drei gleichlange Teilstrecken unterteilt, also in drei Strecken der Länge 9 cm. Nun wird das mittlere Streckenstück entfernt, verdoppelt und wieder hinzugefügt, so dass ein gleichseitiges Dreieck entsteht:



Abbildung 93: Die ersten Schritte beim Zeichnen der Koch'schen Kurve

Wie lang ist der neue Streckenzug? Das lässt sich leicht berechnen:

$$27 \text{ cm} : 3 = 9 \text{ cm}$$

$$9 \text{ cm} \cdot 4 = 36 \text{ cm}$$

Das Verfahren wird wiederholt: Jedes 9 cm lange Streckenstück wird wieder gedrittelt (man erhält Teilstücke von 3 cm Länge), das mittlere wird entfernt, verdoppelt und wie im ersten Schritt an jeder der Teilstrecken wieder angestellt.

Wie lang ist der Streckenzug nun?

$$36 \text{ cm} : 3 = 12 \text{ cm}$$

$$12 \text{ cm} \cdot 4 = 48 \text{ cm}$$



Abbildung 94: Schritt 3 beim Zeichnen der Koch'schen Kurve

Und wieder wird das Vorgehen wiederholt.

Beim Zeichnen und Rechnen haben wir uns folgende Fragen gestellt: Wie lang wird diese „Kurve“, wenn man das Verfahren immer weiter wiederholt? Und: Passt die Zeichnung auch nach vielen Schritten noch auf das Blatt Papier, auf dem man seine Zeichnung begonnen hat?

Das Ergebnis unserer Überlegungen dazu hat alle verblüfft: Die Strecke wird immer länger, da in jedem Schritt mit $\frac{4}{3}$ multipliziert wird. Und trotzdem müssen wir kein neues Blatt Papier hinzunehmen, weil die Fläche unter der Kurve endlich ist (Stichwort: geometrische Reihe).

Diese Erkenntnis hat einige Teilnehmerinnen und Teilnehmer motiviert, die Zeichnung nicht mit einer Strecke zu beginnen, sondern mit einem gleichseitigen Dreieck. Dabei sind schöne „Schneeflocken“ entstanden, ungefähr so wie in Abbildung 95.

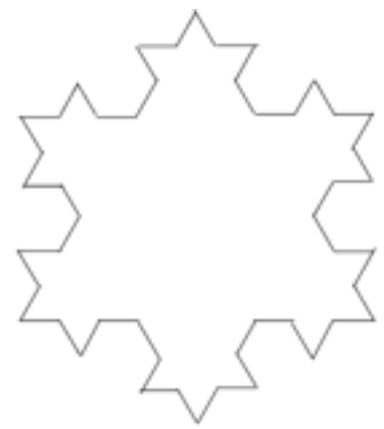


Abbildung 95: Schneeflockenkurve, ausgehend von einem gleichseitigen Dreieck

SPIELEN UND TAKTIEREN

Fast jede Doppelstunde des Mathe-Junior-Clubs beendeten wir mit einer Spielerunde. Bei verschiedenen Spielen für je 2 Spieler konnte sich jede und jeder durch die Entwicklung und Erprobung einer eigenen Taktik ausprobieren.

Wie auch im letzten Jahr war dabei das Würfelspiel „1000“ der eindeutige Favorit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Das Spiel verbindet Würfelglück und Taktik miteinander:

Aus 9 gewürfelten Zahlen müssen 3 Hunderterzahlen gebildet werden, deren Summe möglichst groß werden soll, ohne dabei die 1000 zu überschreiten. Manchmal wurde Risikobereitschaft belohnt, manchmal waren die Vorsichtigen im Vorteil, so dass wir alle mal die Nase vorn hatten.

Sitzung für Sitzung lösten wir Rätsel, dachten wir über Schwieriges und Leichtes nach, erarbeiteten wir uns Neues und erfreuten wir uns an Spielen. Immer fanden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer Lösungen für die unterschiedlichen Problemstellungen und waren mit hoher Konzentration, großer Ausdauer und Freude bei der Sache.

Autorin: Annegret Löwe

² Bilder und Erklärungen zur Kochkurve findet man auf zahlreichen Seiten, so z.B.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Koch-Kurve> (zuletzt abgerufen am 25.7.2025).

Vorträge

In diesem Jahr wurden wieder sechs Vorträge durchgeführt. Schülerinnen und Schüler ab Klassenstufe 9 waren aufgerufen mindestens drei der sechs Vorträge zu besuchen, um im Rahmen der Abschlussveranstaltung ein Zertifikat zu erhalten. Wir freuen uns, dass sich jeweils bis zu 100 Seminaristinnen und Seminaristen zu den Vorträgen anmeldeten und die Referenten nicht nur ihre Zeit opfer-ten, sondern i.d.R. auch einen Vortrags-saal in ihrem Institut zur Verfügung stell-ten.

Übersicht über die Vor-träge

1. „Plasmabrenner als Beitrag zum Kli-maschutz“ - Hannah Basche - TRUMPF Hüttinger GmbH + Co. KG
2. „Blaue Energie“ - Dr. Andreas Härtel - Physikalisches Institut, Universität Freiburg
3. „Lernen von der Natur: bioinspi-rierte Materialien für eine nachhal-tigere Gesellschaft“ - Prof. Dr. Jürgen Rühle – IMTEK, Universität Freiburg
4. „Cannabinoide – legal und ungefähr-lich?“ - Dr. Michael Müller - Pharma-zie, Universität Freiburg
5. „Der Wald im Stress – ECOSENSE klärt auf“ - Prof. Ulrike Wallrabe - Technische Fakultät, Universität Freiburg
6. „Die Bedeutung der Geowissen-schaften für die Energiewende“ - Alexandra Mauerberger – Geologie, Universität Freiburg

Vortragsberichte

17.10.2024 - „Plasmabrenner als Beitrag zum Klimaschutz - Wie können wir die Zukunft vorhersagen?“

Hannah Basche, TRUMPF Hüttinger GmbH + Co. KG

Die ehemalige Seminaristin Hanna Basche, die mittlerweile als Innovations-managerin beim Maschinenbauer Trumpf Hüttinger arbeitet, hielt einen Vortrag über Plasmabrenner.

Übersicht über das Produktspektrum von Trumpf Hüttinger, spezialisiert auf Leis-tungselektronik, also Stromversorgung für spezialisierte Anwendungen im Ma-schinenbau.

Industrial Heat Demand & Electrically-powered Heating Techn.
TRUMPF Hüttinger's power supplies can address from inductive to Plasma-based industrial Heating

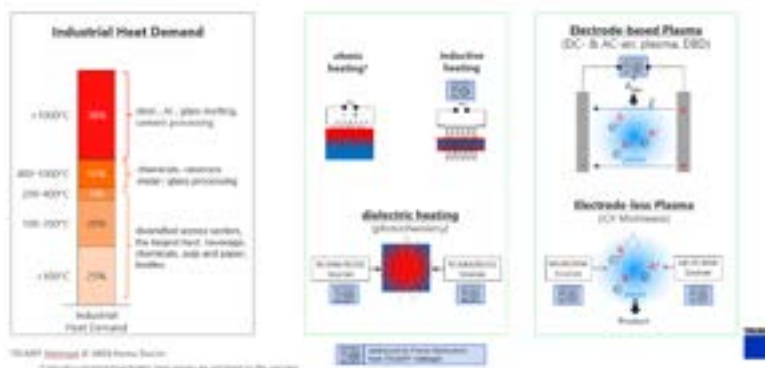


Abbildung 99: Industrial Heat Demand

Der vielschichtige Vortrag widmete sich dabei parallel einerseits der technischen Anwendung des Aggregatzustandes Plasma für Heizanwendungen. Als Plasma bezeichnet man einen eigenen Aggregatzustand von Materie. Die Erzeugung von Plasma kann durch unterschiedliche Techniken erfolgen. Dabei entsteht durch hohe Energiezufuhr in Form von elektrodengenerierten Lichtbögen, Mikrowellen oder elektrischer Induktion in ein Trägergas ein Gemisch aus Ionen und freien Elektronen, das Plasma. Dieses kann genauso wie eine durch chemische Reaktionen erzeugte Gasflamme zum Beheizen von industriellen Prozessen verwendet werden. Das Anwendungsspektrum von Plasma ist deutlich größer. Plasma kann alternativ als energiesparende Anregung für chemische Lyse von Verbindungen verwendet

werden oder auch für die Desinfektion von Lebensmitteln.

Andererseits stellte Frau Basche die Frage, wie man den Bedarf an technischen Entwicklungen für die Entwicklung neuer Produkte prognostizieren kann. Eine systematische Betrachtung und Extrapolation des europaweiten Stromverbrauchs in Industrieprozessen ergab, dass eine große Menge von Prozessen zur Wärmeerzeugung in Zukunft aus Gründen der Energieeinsparung elektrifiziert werden kann. Exemplarisch am Beispiel der Zementindustrie und der Metallindustrie zeigte sie, wie in der Wirtschaft mittels best-case / worst-case-Szenarien Vorhersagen getroffen werden, ob sich die Weiterentwicklung einer Technologie überhaupt lohnt. Für diese Vorhersagen werden Prognosen über die

Preisentwicklung, aber auch die Energiekosten für den Betrieb der Geräte und die Entwicklung der Märkte benötigt. In der Summe zeigt sich also, dass die Verwendung von Plasmabrennern den Klimaschutz durch

Einsparen von Energie unterstützen kann. Dabei wies Frau Basche am Ende dieses interessanten Vortrages eindringlich darauf hin, dass die ökonomische Lebensfähigkeit technischer Innovationen begrenzt ist und neun von zehn Neuentwicklungen sich wirtschaftlich nicht durchsetzen.



Abbildung 96: Vortragssaal

13.11.2024 - „Blaue Energie“

Dr. Andreas Härtel, Statistische Physik weicher Materie und komplexer Systeme, Physikalisches Institut, Universität Freiburg

Als Gesellschaft sind wir insbesondere angewiesen auf Energie und Trinkwasser, wobei der Klimawandel uns vor vielfältige Herausforderungen stellt. Am 13.11.2024 hatten Schülerinnen und Schüler des Freiburg-Seminars die Gelegenheit zu erfahren, inwiefern „blaue Energie“ in diesem Kontext einen Beitrag leisten kann. Dabei gingen sie der Frage nach, wie man aus Gradienten in der Salzkonzentration oder der Temperatur mittels kapazitiver Prozesse elektrische Energie gewinnen kann.

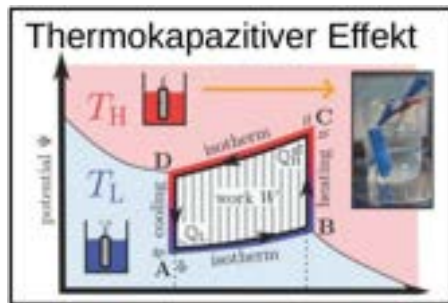


Abbildung 97: Thermokapazitiver Effekt

Zu Beginn der Veranstaltung veranschaulichte Dr. Härtel das Prinzip der Energieumwandlung anhand des Stirling-Motors, welcher die thermische Energie einer Tasse heißen Wassers in kinetische Energie, in Form der Bewegung zweier Arbeitskolben, die ein Rad antreiben, umwandelt. Der Stirling-Kreisprozess besteht aus vier Schritten:

1. isotherme Expansion
2. isochore Wärmeabfuhr
3. isotherme Kompression
4. isochore Wärmezufuhr



Abbildung 98: Stirling-Motor

Anschließend erhielten die Schüler und Schülerinnen zur Erklärung des osmotischen Drucks einen spannenden Einblick in das Gebiet der Thermodynamik. Mit Hilfe des Gradienten der Salzkonzentration zwischen Süß- und Salzwasser an Flussmündungen lässt sich so in Osmosekraftwerken Energie gewinnen, sogenannte „blaue Energie“. Aufgrund des osmotischen Drucks dringt das Süßwasser durch eine semipermeable Membran und steigt in einem Turm auf (bei einer Grundfläche von 10m^2 und einem Konzentrationsgradient von 1 mol/l um ca. 237m !). Die Lageenergie wird daraufhin mit einem Wasserrad in kinetische und über einen elektrischen Generator in Strom umgewandelt.

Eine weitere Form von „blauer Energiegewinnung“ nutzt Kondensatoren, um mit einem Prozess ähnlich des Stirling-Kreisprozesses Energie zu gewinnen. Dabei werden die Kondensatorplatten zunächst geladen, wodurch sich die Ionen im Salzwasser an den Platten anlagern. Dies erhöht die Kapazität des Kondensators. Anschließend wird der Kondensator aufgeladen. Danach wird mit Süßwasser gespült, was die Kapazität C des Kondensators senkt und nach $U=Q/C$ die Spannung erhöht. Die anschließende Entladung erfolgt somit bei höherer Spannung, was nach $P=U \cdot I$ die Leistung und damit die insgesamt abgegebene elektrische Energie erhöht. Mit einem thermokapazitiven Kreisprozess ähnlich des Stirling-Kreisprozess kann man zudem (Ab-)Wärme nutzen, um ebenfalls durch Absenkung der Kapazität die Leistung zu erhöhen.

Während es bereits ein aktives Osmosekraftwerk in Norwegen und zahlreiche Entsalzungskraftwerke gibt, ist die

Technologie der Nutzung von „blauer Energie“ für kapazitive Kreisprozesse bisher noch auf der Stufe der Grundlagenforschung. Die bisher noch wenig bekannte Technologie der „blauen Energie“ könnte großes Potenzial bei der Bewältigung der Klimakrise haben, auch wenn keiner im Publikum korrekt auf die Einstiegsfrage antworten konnte, was man unter diesem Begriff versteht.

Somit konnten die Schülerinnen und Schüler während des Vortrags viel Neues und Spannendes dazulernen. Die Wärmekraftmaschine arbeitete unter Beobachtung des Publikums bis zum Ende der Veranstaltung.



Abbildung 99: Dr. Andreas Härtel im Vortragssaal

10.12.2024 - „Lernen von der Natur: bioinspirierte Materialien für eine nachhaltigere Gesellschaft“

Prof. Dr. Jürgen Rühle, Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK), Universität Freiburg

Unterstützt wurde das Freiburg-Seminar bei der Zusammenarbeit mit der Technischen Fakultät durch Kerstin Steigermeyer, Referentin PR/Marketing, Technische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Am 10.12.2024 lud die Technische Fakultät der Universität Freiburg die Schülerinnen und Schüler des Freiburg-Seminars für Mathematik und Naturwissenschaften zu einem faszinierenden Vortrag von Prof. Dr. Jürgen Rühle ein. Unter dem Titel „Lernen von der Natur: bioinspirierte Materialien für eine nachhaltigere Gesellschaft“ gewährte der Vortrag mehr als 50 Schülerinnen und Schülern sowie einigen Eltern spannende Einblicke in die Welt der bioinspirierten Materialforschung – ein Thema, das aktueller und relevanter kaum sein könnte.

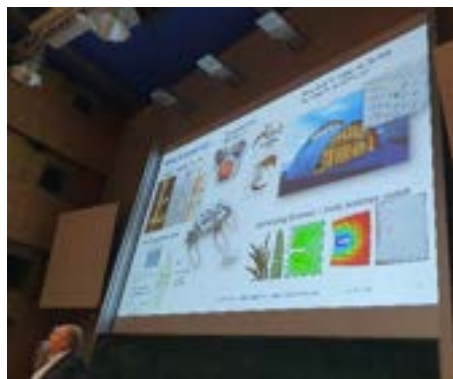


Abbildung 100: Prof. Dr. Jürgen Rühle im Vortragssaal

DIE NATUR ALS LEHRMEISTERIN FÜR NACHHALTIGE INNOVATION

Im Mittelpunkt des Vortrags stand die Frage, wie die Natur als Vorbild für technische Innovationen genutzt werden kann. Prof. Rühle erklärte anschaulich, wie die Mechanismen und Strukturen natürlicher Systeme – etwa die wasserabweisenden Eigenschaften von Lotusblättern – Wissenschaftler*innen dabei inspirieren, neuartige Materialien

zu entwickeln, die nicht nur leistungsfähig, sondern auch umweltfreundlich sind. Der Schwerpunkt lag darauf, wie diese Ansätze zu einer nachhaltigeren Gesellschaft beitragen können, etwa durch ressourcenschonende Herstellungsverfahren, biologisch abbaubare Materialien oder die Reduktion von Abfällen.

EXZELLENZCLUSTER LIVMATs

Der Vortrag bot zudem Einblick in die Arbeit des Exzellenzclusters livMatS (Living, Adaptive and Energy-autonomous Materials Systems), in dem Prof. Rühle maßgeblich tätig ist. Dieses interdisziplinäre Forschungszentrum der Universität Freiburg verfolgt das Ziel, neuartige Materialsysteme zu entwickeln, die wie natürliche Organismen auf ihre Umwelt reagieren und sich an veränderte Bedingungen anpassen können. So erklärte Prof. Rühle, wie livMatS Materialien entwickelt, die etwa Energie autonom aus ihrer Umgebung gewinnen und speichern können. Die Schüler*innen erfuhren, wie bahnbrechende Umwelt- und Energietechnologien unter anderem auch in der livMatS Biomimetic Shell Anwendung finden. Dieser Forschungsbau steht auf dem Campus der Technischen Fakultät. Seine Hülle basiert auf morphologischen Prinzipien des Plattenskeletts von Seeigeln, in die Holzschale eingelassen ist eine biomimetische, betriebsenergiefreie, 4D-gedruckte Verschattungsstruktur und vieles mehr. Die gesamte Struktur ist vollständig rückbau- und wiederverwendbar.

NACHWUCHSFÖRDERUNG AN DER TECHNISCHEN FAKULTÄT

Die Technische Fakultät begrüßte mit dem Freiburg-Seminar talentierten Nachwuchs und stärkte damit ihre langjährige Kooperation zur Nachwuchsförderung. Prof. Rühles inspirierender Vortrag verband Wissenschaft, Innovation und gesellschaftliche Relevanz und zeigte im Kontext des Exzellenzclusters livMatS, wie Spitzenforschung globale Herausforderungen angeht. Die Zusammenarbeit mit dem Freiburg-Seminar ist ein Beispiel für erfolgreiche Förderung junger Wissenschaftler*innen und motivierte die Teilnehmenden, aktiv zu einer nachhaltigen Zukunft beizutragen.

03.02.2025 - „Der Wald im Stress - ECOSENSE klärt auf“

Prof. Ulrike Wallrabe, Technische Fakultät, Universität Freiburg

ECOSENSE KLÄRT SCHÜLER*INNEN DES FREIBURG-SEMINARS AUF

Unsere Wälder stehen zunehmend unter extremen Umweltbedingungen – Hitze, Dürre und der Befall durch Borkenkäfer setzen ihnen erheblich zu. Um die zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen und Lösungsansätze zu entwickeln, ermöglichte Prof. Ulrike Wallrabe über 55 Schülerinnen und Schülern des Freiburg-Seminars faszinierende Einblicke in die aktuelle Forschung des Sonderforschungsbereichs ECOSENSE. Anschaulich erklärte sie, wie moderne Sensortechnologien dabei helfen können, die Widerstandsfähigkeit von Bäumen zu analysieren, um zukünftig gezielte Schutzmaßnahmen abzuleiten. Die enge Verbindung zwischen Forst- und Umweltwissenschaften – führend in der Prozessforschung und Ökosystemanalyse – und der Mikrosystemtechnik sowie Nachhaltigen Technischen Systemen – spezialisiert auf Sensoren, Aktoren, Energieautonomie und Sensornetzwerke – unterstreicht die besondere Stärke der Universität Freiburg. Diese interdisziplinäre Expertise ermöglicht die Entwicklung des „ECOSENSE Werkzeugkastens“: eines kostengünstigen, mobilen Systems zur schnellen und präzisen Bewertung von Ökosystemen.

Der Vortrag zeigte, welche Stressfaktoren den Wald besonders belasten und wie innovative Sensortechnologien helfen, sie frühzeitig zu erkennen. Im Fokus steht die Entwicklung minimal invasiver Messverfahren, die Veränderungen in der Baumphysiologie erfassen. Sensoren messen dabei kontinuierlich Wassergehalt, CO₂, Photosyntheseaktivität und flüchtige organische Verbindungen.

Ein großflächiges Sensornetzwerk in einem Waldgebiet bei Ettenheim liefert bereits über tausend kontinuierliche Sensordatenströme, die per Funk automatisch auf den Servern der Universität

gespeichert werden. Dort können sie von den Forscherinnen und Forschern direkt ausgewertet werden, und sie erhalten wertvolle Erkenntnisse zur Widerstandsfähigkeit verschiedener Bäume in Zeiten dramatischer Klimaveränderungen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist der Einsatz digitaler Technologien und KI-gestützter Modelle, die diese Sensordaten nutzen, zur Prognose der Waldgesundheit. Diese ermöglichen es, komplexe Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und Baumreaktionen zu erkennen und frühzeitig Maßnahmen abzuleiten.

Zum Abschluss präsentierte Yasmina Frey, wie sie spezielle Blattküvetten zur Messung von CO₂ und flüchtigen organischen Verbindungen entwickelte. Die Herausforderung lag unter anderem in Größe, Gewicht, gasdichter Befestigung und Outdoor-Tauglichkeit. Ihre Lösung: Küvetten mit einer Silikondichtung und magnetischer Klemmung, um Blätter schonend zu fixieren. Die Schüler*innen konnten diese direkt an einem mitgebrachten Fikusbaum begutachten.

Wir würden uns sehr freuen, einige der Schülerinnen und Schüler nach ihrer Schulzeit an der Technischen Fakultät der Universität Freiburg wiederzusehen! Hier erwarten die Studierenden spannende Möglichkeiten, um weiter an innovativen Lösungen für die drängenden Umweltprobleme unserer Zeit zu arbeiten.

Veranstaltungen & Wettbewerbe

Veranstaltungen

Hier werden die i.d.R. jährlich stattfindenden Veranstaltungen jeweils kurz vorgestellt.

Eröffnungsveranstaltung des Seminarjahres

Jeweils am zweiten Donnerstag eines jeden Schuljahres findet die feierliche Eröffnungsveranstaltung des Seminarjahres statt. Hier erfolgt zunächst die Begrüßung der diesjährigen Schüler und Schülerinnen, die in eine AG des Freiburg-Seminars aufgenommen wurden. Nach einer Vorstellung in die Rechte und Pflichten von Seminarist*innen erfolgt eine Einführung in die Nutzung der Homepage (www.freiburg-seminar.de). Im Anschluss werden alle AG-Leiterinnen und AG-Leiter vorgestellt. Diese nehmen die Schüler*innen dann in Gruppenräume zur ersten AG-Sitzung mit, in der die organisatorischen Rahmenbedingungen und das weitere Vorgehen besprochen werden. Im September 2024 fand die Eröffnung in der Technischen Fakultät der Universität Freiburg statt.



Abbildung 101: Eröffnungsveranstaltung in der Technischen Fakultät

BERICHT DER TECHNISCHEN FAKULTÄT

Am 17. September 2024 fand an der Technischen Fakultät die Auftaktveranstaltung des diesjährigen Freiburg-Seminars für Mathematik und Naturwissenschaften statt. Die Veranstaltung begann mit einer herzlichen Begrüßung durch die beiden Leiter des Freiburg-Seminars, Ingo Kilian und Dr. Markus Eppinger, die ihre Freude darüber zum

Ausdruck brachten, so viele engagierte Schülerinnen und Schüler, deren Eltern sowie die Lehrkräfte der 20 Arbeitsgemeinschaften begrüßen zu dürfen. In ihren einleitenden Worten betonten sie die Bedeutung des Freiburg-Seminars als Plattform für den wissenschaftlichen Nachwuchs und als Brücke zwischen Schule und Universität.



Abbildung 102: Kerstin Steiger-Merx von der Technischen Fakultät begrüßt die Seminarist*innen

Anschließend hieß Kerstin Steiger-Merx von der Technischen Fakultät die über 200 anwesenden Schülerinnen und Schüler sowie deren Eltern willkommen. Sie hob die Bedeutung der Veranstaltung hervor, die der Fakultät die einzigartige Gelegenheit bietet, sich besonders interessierten und motivierten jungen Menschen zu präsentieren. Sie betonte, dass das Freiburg-Seminar eine ideale Möglichkeit sei, Einblicke in die spannenden Forschungsfelder der Technischen Fakultät zu gewinnen und lud zu zwei Vorträgen aus dem Institut für Mikrosystemtechnik ein, mit denen die Fakultät das Seminarjahr begleiten wird.

Nach den Begrüßungsworten folgte ein unterhaltsamer und zugleich lehrreicher Programmpunkt: Ein Science Slam, bei dem Stefan Reinelt, Promovierender der Technischen Fakultät, auf humorvolle Weise seine Forschung präsentierte und die Mikrosystemtechnik dem jungen Publikum vorstellte. Dieser kreative und mitreißende Vortrag sorgte für große Begeisterung im Publikum und zeigte eindrucksvoll, dass Wissenschaft auch unterhaltsam vermittelt werden kann.

Im Anschluss daran wurden organisatorische Hinweise zum weiteren Verlauf des Seminars gegeben, bevor die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in die verschiedenen Arbeitsgemeinschaften aufgeteilt

wurden. Die Schülerinnen und Schüler hatten Gelegenheit, ihre jeweiligen AG-Leiter*innen kennenzulernen und erste Kontakte zu knüpfen. Diese interaktive Phase diente nicht nur dem Kennenlernen, sondern auch dem Austausch über die jeweiligen Erwartungen und Ziele für das kommende Seminarjahr.

Die Auftaktveranstaltung des Freiburg-Seminars war ein großer Erfolg und markierte den Beginn eines spannenden und lehrreichen Jahres. Für die Technische Fakultät bot die Veranstaltung eine wertvolle Möglichkeit, junge Talente zu fördern und frühzeitig für die Studiengänge und Forschungsschwerpunkte der Fakultät zu begeistern. Die Veranstaltung verdeutlichte, wie wichtig es ist, frühzeitig Brücken zwischen Schule und Universität zu schlagen und den Wissenschaftsnachwuchs für eine akademische Laufbahn zu motivieren.

Autorin: Kerstin Steiger-Merx

Quelle:

<http://news.vm.uni-freiburg.de/de/newsarchiv/auftakt-des-freiburg-seminars-2024>

Kuratoriumssitzung des Freiburg-Seminars

Die Arbeit des Freiburg-Seminars wird durch ein Kuratorium begleitet (s. S. 10). Diesem wird jeweils im März – 2024 am 21.03. – berichtet. In diesem Jahr fand die Sitzung im Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik – kurz EMI – statt. Nach einem ausführlichen Überblick durch die Seminarleitung und der Genehmigung der Kassenprüfung erfolgten drei Vorträge aus den Arbeitsgemeinschaften und zwei Vorträge von Schülerinnen und Schülern, die das Schülerstudium absolvierten.



Abbildung 103: Seminarist*innen präsentieren dem Kuratorium ihre Ergebnisse

Abschlussveranstaltung

In der vorletzten Woche eines jeden Schuljahres endet das Seminarjahr mit der feierlichen Abschlussveranstaltung des Freiburg-Seminars. Diese findet jeweils in einem der Großen Hörsäle der Universität Freiburg statt.



Abbildung 105: Prof. Fischer beim Experimentalvortrag

Am Dienstag, den 15.07.2025, fand die diesjährige Abschlussveranstaltung im großen Hörsaal der Physik statt. Schülergruppen aus den Arbeitsgemeinschaften „Physikalischen Phänomenen auf der Spur“ und „Mikrocontroller und Automatisierung“ berichteten aus ihren AGs. Herr Prof. Horst Fischer vom Physikalischen Institut begeisterte im Anschluss mit seiner spektakulären Art und Weise die Schülerinnen und Schüler für physikalische Phänomene.



Abbildung 106: Seminaristen berichten aus ihrer AG

Im Anschluss erfolgte der Dank an die AG-Leiter*innen durch die Referatsleiterin Allgemeinbildende Gymnasien Regierungspräsidium Freiburg, Frau Christiane Sturm bevor die AG-Leiter*innen ihren Seminarist*innen die Zertifikate einer erfolgreichen Teilnahme am Freiburg-Seminar, mit den Unterschriften des Regierungspräsident Herrn Carsten Gabbert und des Kuratoriumsvorsitzenden Herrn Prof. Frank Schäfer, aushändigten.

Mit dieser Veranstaltung endet jeweils das Seminarjahr.

FreiburgSeminar
für Mathematik und Naturwissenschaften

Abschlussveranstaltung Schuljahr 2024/2025

Programm	
17:15 Uhr	Begrüßung Prof. Dr. Jens Timmer Studiendekan Physikalisches Institut der Universität Freiburg
17:30 Uhr	Präsentationen aus den Arbeitsgemeinschaften AG Physikalischen Phänomenen auf der Spur Johannes Pohl Schülerinnen und Schüler der AG AG Mikrocontroller und Automatisierung Wolfgang Wolff David Brücher, Kay Rubehn, Elias Hoque, Daniil Bogatyrev
17:50 Uhr	„Hurra Physik“ - ein Experimental-Vortrag Prof. Dr. Horst Fischer, Fakultät für Mathematik und Physik Physikalisches Institut - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
18:20 Uhr	Abschluss der Arbeitsgemeinschaften Würdigung der AG LeiterInnen LtSt. RSD in Christiane Sturm Allgemein bildende Gymnasien - Regierungspräsidium Freiburg Ausgabe der Zertifikate an die SeminaristInnen
18:30 Uhr	Ende der Veranstaltung

Dr. Markus Eppinger · Inga Klöhn
Seminarleitung

Regierungspräsidium Freiburg | Abteilung 7 - Schule und Bildung

Datum Dienstag, 15. Juli 2025

Ort Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Großer Hörsaal — Physik

Hermann-Herder-Straße 3a • 79104 Freiburg

0761 595249700 • www.freiburg-seminar.de • info@freiburg-seminar.de

Abbildung 104: Programm der feierlichen Abschlussveranstaltung des Freiburg-Seminars im Schuljahr 2024/2025

Wettbewerbe

World Robot Olympiad

Ziel der AG „Angewandte Robotik“ ist es stets, mit mehreren Teams an der World Robot Olympiad (WRO) teilzunehmen. An der WRO nehmen mittlerweile etwa 30.000 Teams aus rund 100 Ländern teil. Diesen Bericht inklusive vieler Fotos und Darstellungen finden Sie auch im Bereich Arbeitsgemeinschaften bei der AG „Angewandte Robotik“.

Am 24.5.2025 traten dann drei ausgewählte Teams beim WRO-Regionalwettbewerb in Waldkirch an. In diesem Jahr gab es in der Kategorie RoboMission mehrere bedeutende Neuerungen, die sowohl die technischen Anforderungen als auch den Wettbewerb selbst betrafen. So waren erstmals alle Robotersysteme erlaubt – neben LEGO-Robotern eben auch Plattformen wie Arduino, Raspberry Pi oder andere. Auch der Wettbewerbsmodus wurde grundlegend überarbeitet, um Fairness und Vergleichbarkeit zu gewährleisten. So durften die Teilnehmer*innen ihren Roboter bereits aufgebaut zum Wettbewerb mitnehmen und damit in den zwei Wertungsrunden am Vormittag die bereits bekannte und vorbereitete Aufgabe lösen. Am Nachmittag erwartete die Teams dann eine komplett neue Tagesaufgabe mit weiteren zwei Wertungsrunden. Für diese Tagesaufgabe musste der Roboter grundlegend umgebaut und neu programmiert werden. Bei der Endwertung wurde schließlich der jeweils bessere Wertungslauf vom Vormittag und vom Nachmittag gezählt.

In diesem Jahr trug die Wettbewerbsaufgabe den Titel „Mars Exploration“. Die Teams bauten einen Roboter, der bei der Erkundung und Besiedlung des Mars half. Der Roboter sollte verschiedene Proben auf dem Spielfeld einsammeln und diese in die farblich passenden Labore bringen. Außerdem sollte der Roboter ein Solarpanel an einem liegen gebliebenem Mars-Rover vollständig ausklappen und eine Drohne in den Startbereich transportieren. Dabei durften die aufgebauten Felsen und Hindernisse nicht berührt oder verschoben werden. Die Teilaufgabe, bei der Wasser aus dem Spender in das Tanklager gebracht werden musste,

hatten unsere Teams aus strategischen Gründen erst einmal nicht in den Programmablauf eingebaut.

Nach der Mittagspause erhielten die Teams dann die neue Tagesaufgabe, bei der die Spielfeldelemente verändert wurden und sie völlig neue Teilaufgaben bewältigen mussten. Die Teilnehmer*innen erhielten insgesamt drei Stunden Zeit, um den Roboter umzubauen und für die neuen Teilaufgaben zu programmieren. Dabei war es grundlegend wichtig, sich zunächst zu überlegen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Teilaufgaben absolviert werden sollten.

Beim bis zum letzten Wertungslauf spannenden und überraschenden Wettbewerb in Waldkirch erreichten die Teams des Freiburg-Seminars einen zweiten, neunten und zehnten Platz.

Autoren: Jens Deipenwisch & Dr. Markus Eppinger

Internationale Junior-Science Olympiade

IJSO 2024/2025

Ausgewählte Teilnehmer*innen des Freiburg-Seminars nahmen an der diesjährigen Junior-Science Olympiade teil. In der ersten Runde mussten die Seminaristen selbständig Experimente durchführen und anschaulich dokumentieren bzw. interpretieren. Alle Teilnehmer erreichten die zweite Runde, bei der ein Multiple Choice Test durchgeführt wurde. Hier erreichten alle ein für 7.- bzw. 8.-Klässler gutes Ergebnis, da die Fragen Wissen aus höheren Klassen voraussetzten.

Jugendwettbewerb Informatik

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der AG „Algorithmik - fit für den Jugendwettbewerb Informatik und mehr“ von Frau Leonore Dietrich am Kreisgymnasium Bad Krozingen nahmen an diesem Informatikwettbewerb teil und erreichten folgende Ergebnisse (vgl. auch AG-Bericht).

Februar: Proberunde zur 1. Runde

März: Teilnahme am JW Inf 1. Runde - Ergebnisse: 7 erste Plätze, 1 zweiter Platz

Mai: Teilnahme am JW Inf 2. Runde - Ergebnisse: 2 erste Plätze, 4 zweite Plätze

Acht Teilnehmer der AG sind für die Endrunde des Jugendwettbewerbs qualifiziert.

Exkursionen

Hier werden einige Exkursionen vorgestellt. Einige weitere fanden statt, aber werden hier nicht näher erläutert.

zum Universitätstag - NaT-Working Projekt Molekularbiologie • 25.09.2024

Bei dieser eintägigen Veranstaltung des NaT-Working Projekts Molekularbiologie, die am 25.09. 2024 am Institut für Biochemie und Molekularbiologie der Universität Freiburg stattfand, konnten die Schüler*innen einen Western Blot, eine PCR und eine Proteinreinigung unter der Anleitung von Mitarbeitern der Universität Freiburg durchführen. Das Freiburg-Seminar war durch vier Schülerinnen und Schüler vertreten.

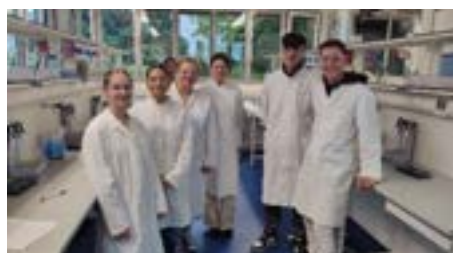


Abbildung 1071: Teilnehmer*innen des Universitätstags im Labor

BERICHT DER TEILNEHMER*INNEN

Wir erhielten jeweils Template-DNA eines Prion-Gens. Diese kann entweder vom unveränderten Wildtyp stammen oder eine Deletion (verkürzte DNA) bzw. eine Insertion (erweiterte DNA) aufweisen. Unser Ziel war es die DNA-Probe per PCR-Ansatz zu vervielfältigen und diese dann mittels Agarose-Gelelektrophorese anhand der Länge der DNA-Filamente entweder als Mutation oder als Wildtyp zu identifizieren.

Wir gaben zu unserer Template DNA jeweils 5 µg der folgenden Komponenten hinzu, die für die DNA-Replikation notwendig sind: PCR-Puffer, Primergemisch, dNTP's (freien Nukleotide für die Elongation) und Taq-Polymerase.

Um die DNA zu vervielfältigen, muss das Gemisch in der Denaturierungsphase zunächst auf etwa 95 °C erhitzt werden, um die doppelsträngige DNA in zwei

Einzelstränge aufzuteilen. Danach wurde die Probe in der Annealing Phase auf ca. 50 °C heruntergekühlt, damit die Primer an einen komplementären Bereich eines DNA-Einzelstrangs binden können. Schließlich werden in der Elongation die Einzelstränge vom Primer ausgehend durch die DNA-Polymerase zu einem Doppelstrang ergänzt. N-malige Wiederholungen dieser Zyklen führten zu einer 2n-fachen Vervielfältigung der ursprünglichen DNA. Diese Aufgabe übernimmt der Thermocycler, in den wir unsere Proben für etwa 90 min stellten.

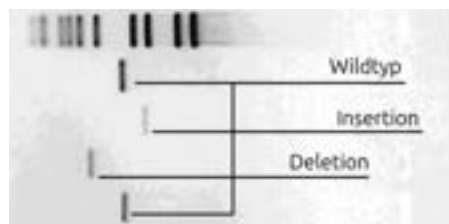


Abbildung 1082: Prion-Gen mit seinen unterschiedlichen Ausprägungen

Um nun die Größe der Produkte der PCR-Reaktion analysieren zu können, ließen wir die verschiedenen Proben mit einer Marker-Probe durch ein Agarosegel mittels Gelelektrophorese wandern. Nach anschließender Fotoanalyse des Gels (Abbildung 108) beobachteten wir eine Aufspaltung der verschiedenen DNA-Proben nach ihrer Größe bzw. Länge: kürzere DNA-Fragmente sind weiter gewandert, da weniger Gelwiderstand auf sie einwirkte als bei längeren. Nach der im Gel zurückgelegten Strecke lässt sich somit auf die Mutation der Probe schließen.

EXPERIMENT 2: NACHWEIS MITOCHONDRIALER PROTEINE MIT ANTIKÖRPERN

Wir erhielten ein Polyacrylamidgel mit mitochondrialen Proteinen der Art Cox13, Rip1, Mdh1 oder Ssc1, die nach erfolgreicher Elektrophorese aufgetrennt wurden. Diese werden durch einen Western Blot aus dem Gel auf eine Nitrozellulosemembran transferiert (Blotting), die danach in eine Lösung des Farbstoffs Ponceau S geschwenkt wurde, um die Proteinbanden sichtbar zu machen und sich somit zu vergewissern, dass die Proteine erfolgreich vom Gel auf die Nitrozellulosemembran übertragen wurden.

Die Proteinbanden wurden mit einem Kugelschreiber markiert, um später das Protein nachweisen zu können. Die Nitrozellulosemembran wurde nun, um unspezifische Bindung anderer Moleküle zu vermeiden, mit 20 mL Milchpulverlösung (5%) an noch proteinfreien Bereichen abgesättigt. Zur Milchpulverlösung wurden nun 20 µL Antiserum zugegeben, eine Lösung, die verschiedene Antikörper (aus Kaninchen) enthält, die spezifisch gegen eines der mitochondrialen Proteine gerichtet sind und an diese binden. Schließlich wurde die Nitrozellulosemembran noch mit einer gepufferten Salzlösung (TBS-Puffer) gewaschen, um unspezifisch gebundene Antikörper zu entfernen.

Im nächsten Schritt wurden 20 mL einer Lösung aus an das Enzym Peroxidase gekoppelter Antikörper, die gegen die Kaninchen-Antikörper gerichtet sind, auf die Nitrozellulosemembran gegeben. Schließlich wurde die Nitrozellulosemembran wieder mit dem TBS-Puffer gewaschen und in eine Entwicklerlösung aus Diaminobenzidin und Wasserstoffperoxid geschwenkt. Dabei wird von der Peroxidase die Oxidation des farblosen Diaminobenzidins zu einem farbigen Produkt katalysiert, das sich auf der Nitrozellulosemembran dort als rote Bande sichtbar macht, wo sich die nachzuweisenden Proteine befinden. Da diese an der obersten Kugelschreibermarkierung platziert ist und die potentiellen Positionen der vier Proteine bekannt sind, lässt sich daraus schließen, dass in unserem Fall nur Rip1 im Polyacrylamidgel enthalten sein konnte.



Abbildung 109: Dr. Jan Brix erklärt die Versuche

Autoren: Teilnehmer*innen

zu den Science Days 2024 in Rust • 25.10.2024

Die Exkursion zu den Science Days vor den Toren des Europa-Parks wurde sowohl von der AG „Physikalischen Phänomenen auf der Spur“ von Herrn Pohl als auch für das gesamte Freiburg-Seminar durch die Seminarleitung ausgeschrieben. Insgesamt 15 Schülerinnen und Schüler nahmen an der Exkursion teil und besuchten die über 50 Stände von Firmen, Instituten und Schulen.



Abbildung 110: Teilnehmer*innen der Exkursion Science Days vor Projektstand

Unsere AG ist als Exkursion mit Herrn Pohl zu den Science Days im Europapark gefahren. Bis auf die Tatsache, dass unser Zug Verspätung hatte, ist alles gut gegangen in Sachen An- und Abfahrt.

Auf den Science Days gab es so viele Stände zu allen Bereichen der Wissenschaft, dass man gar nicht alle Stände besichtigen konnte. Es gab auf den Science Days unter anderem eine Show im Themenbereich Chemie, die ziemlich interessant war.



Abbildung 111: Teilnehmer der AG von Herrn Pohl bei den Science Days

Marius

zum BioValley College Day in Basel • 29.11.2024

An dieser jährlich stattfindenden halbtägigen Veranstaltung werden jeweils über 300 Schülerinnen und Schüler aus Frankreich, der Schweiz und Deutschland in die Aula der Universität Basel eingeladen.

Die Veranstaltung startet mit zwei Expertenvorträgen. 2024 waren dies Prof. Dr. Alex Schier vom Biozentrum Basel, der in seinem auf englisch gehaltenen Vortrag „From Egg to Embryo“ über neueste Erkenntnisse der Embryonalentwicklung berichtete. Im Anschluss vermittelte Frau Prof. Dr. Anissa Kempf ebenfalls vom Biozentrum Basel in ihrem Vortrag „Sleep control in the Fly“ über neueste Erkenntnisse über die Kontrolle des Schlafs bei Fliegen. Danach gaben Studierende der Universität Basel einen Einblick in die Studienmöglichkeiten an ihrer Universität, bevor vier Schülerinnen und Schüler im Rahmen des mit 3.000 CHF dotierten BioValley College Awards über ihre Forschungsprojekte berichteten.



Abbildung 112: Teilnehmer des Freiburg-Seminars

Das Freiburg-Seminar war mit über 16 Schülerinnen und Schülern vertreten.



Abbildung 113: Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der Aula der Universität Basel

zum Schullabor Novartis in Basel • 09.01.2025

Mit dem Zug ging es am Donnerstagmorgen zunächst von Freiburg nach Basel. Von hier erfolgte ein 20-minütiger Spaziergang zum Schullabor Novartis, wo die Experimente stattfanden. Insgesamt 24 Schülerinnen und Schüler des Freiburg-Seminars nahmen, begleitet durch Herrn Kilian, an der Exkursion teil.

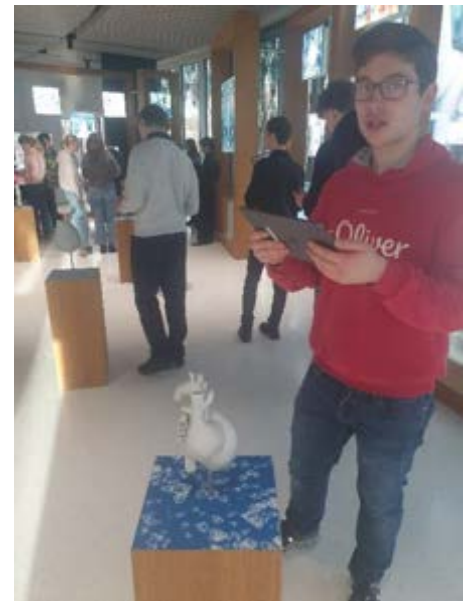


Abbildung 114: Schüler im Novartis-Pavillon

Die Kursleiterinnen führten zunächst in die Tätigkeitsfelder der Novartis ein. Krankheitsfelder mit der sich die Firma u.a. beschäftigt sind Onkologie, Herz-Kreislauf- und Stoffwechsel-Erkrankungen, Neurologie usw. Sandoz, eine Tochterfirma der Novartis, stellt Generika her, d.h. die Herstellung von Medikamenten, deren Patentschutz abgelaufen ist. 2020 wurden 799 Mio. Patienten mit Novartis Medikamenten behandelt.



Abbildung 115: Vortrag im Schullabor

Im Schullabor erhielten die Schüler zunächst eine theoretische Einführung bevor der Kurs SNP-Genotyping startete.

In diesem Kurs arbeiteten die Schüler und Schülerinnen mit ihrer eigenen DNA. Die DNA wird aus Mundschleimhautzellen extrahiert und ein Teil davon vervielfältigt. Dieses Stück DNA beinhaltet einen Rezeptor für die Geschmackswahrnehmung «Bitter». Ein Unterschied in nur einem Basenpaar (SNP) ist verantwortlich dafür, ob jemand einen bestimmten Bitterstoff wahrnehmen kann oder nicht. Am Ende des Kurses kennen die Schüler und Schülerinnen ihren Genotypen für den betrachteten SNP und kennen die Korrelation zwischen Genotyp und Phänotyp für die Bittergeschmackswahrnehmung. Ein SNP in einem Rezeptor kann bewirken, dass ein Medikament nicht effizient bindet und somit nicht effizient wirkt. Die Bestimmung von SNPs wird deshalb in der pharmazeutischen Forschung angewendet. Das Wissen über SNPs und das Genom generell ist wichtig für die personalisierte Medizin der Zukunft. Schlüsselbegriffe des Kurses waren DNA-Aufbau, SNP, Genotyp, Phänotyp, Schlüssel-Schloss-Prinzip. Methoden des Kurses waren DNA-Extraktion, PCR, Restriktionsenzymverdau und Gel-Elektrophorese.

Insgesamt erhielten die Schülerinnen und Schüler einen guten Einblick in ein weltweit agierendes Unternehmen und komplexe Experimente.



Abbildung 120: Teilnehmer der Exkursion

Autor: Ingo Kilian nach Ausschreibung Novartis Schullabor

Zum CERN in Genf – Seminarjahr 2024/2025

Traditionell fährt die AG „Teilchenphysik“ zusammen mit der AG „Das Rätsel des Universums“ im Verlauf des Kurses mit einer Exkursion zum CERN in Genf. Lange Zeit galt die Regel, dass dort nur zugelassen wurde, wer mindestens 16 Jahre alt war. Das war in letzter Zeit zunehmend ein Problem, weil der größere Teil der AG-Teilnehmenden dieses Alter noch nicht erreicht hatte. In letzter Zeit bietet CERN aber auch für jüngere Führungen an, die sich aus Strahlenschutzgründen auf nicht strahlenexponierte „visiting points“ beschränken. Durch Benutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln (Bahn, Straßenbahn) war die Gruppengröße nicht wie bei einem Bus kostenentscheidend. Es wurde in diesem Jahr erprobt, zwei Exkursionen anzubieten, eine für 10 ältere Teilnehmende am 19. Februar und die Gruppe der jüngeren mit 20 Teilnehmenden am 28. Mai. Letztere wurde dann zusätzlich für die AG „Physikalischen Phänomenen auf der Spur“ und dann für das gesamte Freiburg-Seminar ausgeschrieben.

zum CERN in Genf • 19.02.2025 (ältere Schüler*innen)

Übersicht des Ablaufs

Um 4.59 standen (fast) alle pünktlich am Freiburger Hauptbahnhof und schon ging es los. 4 Züge und eine Straßenbahnfahrt später sind wir auch schon am späten Morgen in Genf angekommen.

Nachdem wir unsere Namensschilder erhalten haben, konnten wir dann in die Ausstellung von CERN. Hier konnten wir spannende Einsichten in die Arbeit des weltweit größten Teilchenforschungszentrums gewinnen.

SCIENCE GATEWAY

Nach einer Weile haben wir vom ganzen Lernen und Bestaunen einen ziemlichen Appetit bekommen. Also verbrachten wir eine schöne – wenn auch etwas kalte – Mittagspause auf einer Terrasse vor der Ausstellung, im Restaurant war leider kein Picknick möglich. Vom Mittagessen gestärkt ging es dann direkt weiter mit einer Führung. Mit einem Shuttle

wurden wir zu unserer ersten Station kutschiert: die Anti Matter Factory.

ANTI MATTER FACTORY AD

Unsere zweite Station war nur einen 5-minütigen Laufweg von der Factory entfernt. Hier haben wir das LINAC2 und das LEIR etwas besser kennengelernt.

LINAC2 & LEIR

Nach einem spannenden und langen Tag beim CERN war es leider schon wieder Zeit, sich auf den Nachhauseweg zu machen. Unseren kleinen Puffer, bevor unser Zug in Genf abfuhr, nutzten wir noch, indem wir einen kurzen Abstecher zum Genfer See machten, was in der Dämmerung wunderschön aussah. Um 22.40 waren wir zurück in Freiburg angekommen.

Die Anstrengung der langen Anreise lohnte sich sehr!

Emma



Abbildung 116: Exkursionsgruppe

STATION SCIENCE GATEWAY

Die öffentliche Ausstellung des CERN ist unterteilt in verschiedene Räume. Jeder dieser Räume behandelt ein anderes Teilgebiet der Physik. Allgemein sind die verschiedenen Abteile im Stil von Gates, wie am Flughafen, gehalten.

Der erste Raum behandelte die allgemeine Funktionsweise vom Linearbeschleuniger. In diesem wurde unter Anderem der Bau bzw. Aufbau eines Beschleunigers, sowie die Verwendung von PET (Positron-Emission-Tomography) in der Medizin anschaulich visuell dargestellt. Außerdem war der Computer ausgestellt, von welchem die erste Website jemals online gegangen ist.



Abbildung 117: Computer der ersten Webseite

Direkt nebenan, im zweiten Raum der Ausstellung, wurden die restlichen Bestandteile des Teilchenbeschleunigers behandelt, wie beispielsweise die Messgeräte,

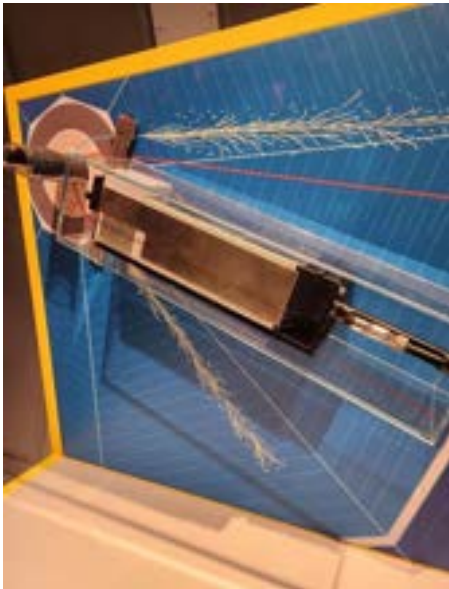


Abbildung 118: Detektordetail in ALICE



Abbildung 119: Beschleunigungs-Kavität

welche die Teilchen auf ihrer Kreisbahn beschleunigen. Doch auch die Entdeckung des Higgs-Bosons im Jahr 2012 wurde durch unter anderem ein kleines Spiel veranschaulicht, in dem man die Protonen der Kollision mit einem Partner auf die richtige Geschwindigkeit beschleunigen musste.

Im dritten Raum drehte sich alles rund um die Entstehung des Universums, der Sterne, aber auch um das Rätsel der dunklen Materie. In einem Zeitstrahl wurden die verschiedenen Zustände des Universums seit seiner Entstehung bis heute dargestellt. Hier wurde auch nochmal auf das Standardmodell verwiesen und einige Aspekte davon erklärt.

Abschließend drehte sich der nächste Raum um die Welt der Quanten. In einer kurzen Führung konnte man selbst in die Rolle eines Elektrons eintauchen und die verschiedenen Phänomene der Quantenwelt erforschen. Auch sonst konnte man hier auf verschiedenste Wege die Besonderheiten von Teilchen der Quantenebene experimentell entdecken.

Insgesamt war die Ausstellung eine schöne Darstellung vieler physikalischer Teilgebiete, der Forschung am CERN, sowie Erfolge des CERN seit seiner Gründung. Man wurde als Besucher oftmals selbst in die Versuche mit einbezogen.

Emil und Pia

STATION ANTIMATTER FACTORY - ANTI-PROTON DECELERATOR (AD)

Ein weiterer Höhepunkt unseres Besuchs am CERN war der Antimaterie Entschleuniger, der sog. Antiproton Decelerator (AD).

Am CERN werden Antiteilchen in mehreren hochkomplexen Schritten erzeugt, entschleunigt und eingefangen. Der Prozess beginnt mit der Erzeugung von Antiprotonen, die aus hochenergetischen Protonen gewonnen werden. Diese Protonen stammen aus Wasserstoff und werden im Proton Synchrotron (PS) auf etwa 26 GeV beschleunigt. Anschließend treffen sie auf ein Metall-Target, wobei neben normalen Protonen auch Antiprotonen entstehen. Da die erzeugten Antiprotonen mit hoher Geschwindigkeit und Energie unterwegs sind, müssen sie zunächst abgebremst werden. Der AD verlangsamt sie etwa durch elektromagnetische Felder oder Kühltechniken wie Elektronen-Kühlung.



Abbildung 120: Elektronen-Kühlung der Anti-Protonen

Seit 2016 kommt zusätzlich der Extra Low Energy Antiproton Ring (ELENA) zum Einsatz, der die Energie der Antiprotonen weiter reduziert, von etwa 5,3 MeV auf nur noch 0,1 MeV. Dadurch wird ihr Einfangen für Experimente erheblich erleichtert.

Ein zentrales Ziel dieser Forschung am CERN ist die Erzeugung und Untersuchung von Antiwasserstoff. Dazu werden die gespeicherten Antiprotonen mit Positronen kombiniert, um Antiwasserstoff-Atome zu bilden. In Experimenten mit Antiwasserstoff untersuchen Wissenschaftler nun die Eigenschaften der Antimaterie und hoffen Fragen zu klären wie z.B. Wo ist die ursprüngliche Antimaterie

geblieben? Verhält sich Antimaterie genauso wie Materie? Und reagiert Antimaterie auf die gleiche Weise auf die Schwerkraft?

Johanna und Linus

STATION LINAC₂ & LEIR

Nach unserem Besuch bei ELENA haben wir den ehemaligen Linearbeschleuniger Linac₂ besichtigt, der inzwischen als Ausstellungstück dient. Zu diesem Zeitpunkt waren wir bereits seit ca. 12 Stunden wach und es begann anstrengend zu werden.

Dies hielt uns aber nicht davon ab, konzentriert und aufmerksam zuzuhören. Vorbei an einem ehemaligen Illuminati-Drehort ging es von der doch überraschend kleinen Protonenquelle



Abbildung 121: Protonenquelle

zum ehemaligen Kontrollraum. Die Computer waren bis auf eine Ausnahme abgeschaltet, die Originalstühle und Röhrenbildschirme sorgten für einen Flair vergangener Zeiten. Erstaunlicherweise lief aber noch der Server.



Abbildung 122: Linearbeschleuniger

Linac₂ war von 1978 bis 2018 in Betrieb und beschleunigte Protonen auf 50 MeV bevor sie im Proton Synchrotron Booster weiterbeschleunigt wurden.

Anschließend konnten wir in einem Demo-Kontrollraum verfolgen, wie es in einem echten Kontrollraum am CERN während dem Betrieb aussehen kann. Aus erhöhter Position hatten wir danach eine gute Sicht auf LEIR (Low Energy Ion Ring), welcher die von Linac₃ beschleunigten Blei-Ionen pulst bevor sie in den LHC eingespeist werden.



Abbildung 123: LEIR

Von 1982-96 stand an dieser Stelle LEAR, der Low Energy Antiproton Ring, mit dem es erstmals gelang Antiwasserstoff herzustellen. Seit dem Jahr 2000 übernimmt der Antiproton Decelerator das Abbremsen der Antiprotonen (siehe oben). LEAR wurde zu einem Ionenbeschleuniger umgebaut und das „A“ durch ein „I“ für Ion ersetzt. 2010 speiste LEIR erstmals Blei-Ionen für die ersten Ionenkollisionen am LHC ein.

Nach unserem Besuch bei Linac₂ und LEIR ging es zurück zum Science Gateway.

Maja und Julius

zum CERN in Genf • 28.06.25 (jüngere Schüler*innen)

Für jüngere Schüler bietet CERN eingeschränkt Führungen an, bei denen nur Orte ohne Strahlenexposition besichtigt werden können. Wir wollten erproben, ob dieses Programm soviel bietet, dass es für die Besucher, die noch nicht so viel Schulphysik gehabt haben, die aufwändige Reise lohnt. Erster Programmpunkt am CERN um 10 Uhr bedeutete Abfahrt am Bahnhof Freiburg um 4:58 Uhr. Das Programm umfasste eine Einführung in die Einrichtung CERN, Besichtigung des Synchrozyklotrons, Besichtigung der Magnetstation und der ATLAS-Demonstrations-Station. Ein Besuch der Ausstellung Science Gateway und ein kurzer Abstecher zum Genfer See schlossen das Programm ab. Rückkehr 22:40.

STATION EINFÜHRUNG CERN

An der ersten Station der Führung am Vormittag wurden wir als Allererstes mit dem CERN und seiner Geschichte vertraut gemacht. Das CERN in Genf ist das größte Forschungszentrum für Teilchenphysik weltweit. Es wurde 1954 von zwölf europäischen Ländern (heute: zwanzig) gegründet – mit dem Ziel, staatenübergreifende Zusammenarbeit und Spitzenforschung wenige Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg zurück nach Europa zu bringen. Diese Idee bildet bis heute das Grundprinzip, wie schon unsere Reise durch drei Länder zeigt. Heute arbeiten über zehntausend Forschende aus mehr als hundert Ländern für das CERN und erforschen die grundlegenden Bausteine des Universums: Materie, Energie, Raum und Zeit.

Unser Guide erklärte uns anhand eines meterlangen Zeitstrahls entlang des Flurs, dass das CERN über die Jahrzehnte zahlreiche Teilchenbeschleuniger entwickelt hat, jeder leistungsstärker als der vorherige. In einem Teilchenbeschleuniger werden meist Protonen mit elektromagnetischen Feldern auf fast Lichtgeschwindigkeit gebracht. Das geschieht in sogenannten Radiofrequenz-Kavitäten, in denen sich elektrische Felder ständig umpolen und die Protonen dadurch immer weiter beschleunigen. Entscheidend ist dabei aber nicht mehr die Geschwindigkeit, welche bereits

annähernd Lichtgeschwindigkeit ist, sondern die Energie. Denn laut Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ kann diese Energie bei Kollisionen in Masse umgewandelt werden. So entstehen neue Teilchen, deren Entdeckung wichtige Hinweise auf den Aufbau des Universums geben kann. Mehr dazu steht im Text über den ATLAS-Detektor.

Um solche Energien zu erreichen, braucht es aber nicht nur einen Beschleuniger, sondern gleich mehrere hintereinandergeschaltete. Die Protonen, bzw. Protonenpakete durchlaufen diese nacheinander und bekommen immer mehr Energie. Unser Guide verglich das mit der Gangschaltung eines Autos: Zum Anfahren muss man ebenfalls im niedrigsten starten. Jeder neue, größere Teilchenbeschleuniger ist also kein Ersatz, sondern eine Ergänzung – ein neuer, zusätzlicher, höchster Gang.

Der aktuell größte Beschleuniger ist der LHC (Large Hadron Collider), der sich in etwa 100 m Tiefe befindet und einen Umfang von 27 km hat. Teilchenbeschleuniger sind fast immer ringförmig gebaut, um Platz zu sparen. Ein größerer Umfang bringt den Vorteil mit sich, dass bei gleicher Energie die Fliehkräfte auf die Teilchen geringer wirken (wegen der schwächeren Krümmung), sodass die Magneten entlang der Bahn sie weniger stark gegenlenken müssen. Dadurch sind noch höhere Beschleunigungen möglich.

Die CERN-Anlage erstreckt sich dementsprechend über die malerische Grenzregion zwischen der Schweiz und Frankreich und besteht aus mehreren Campussen mit unterschiedlichen Funktionen entlang des LHC. In Zukunft soll mit dem FCC (Future Circular Collider) ein noch größerer Beschleuniger entstehen – mit knapp 100 km Umfang und Kollisionen bei deutlich höherer Energie. In den 2040er-Jahren könnte er fertiggestellt werden und vielleicht Teilchen entdecken, die unser heutiges Weltbild verändern.

Filippo und Nikita

STATION SYNCHROZYKLOTRON

Das Synchrozyklotron ist ein Teilchenbeschleuniger, der als erster CERN-Beschleuniger im Jahr 1957 in Betrieb genommen wurde und bis ins Jahr 1990 im CERN zum Einsatz kam. Nun steht dieser als Museumsobjekt in einem Raum des CERN in Genf.



Abbildung 124: Strahlauslass



Abbildung 125: Synchrozyklotron

Das Synchrozyklotron ist ein Zyklotron Teilchenbeschleuniger, welcher mithilfe von zwei sogenannten Dees, Teilchen beschleunigt. Diese Dees sind wie hohle Ds geformte Elektroden, die mit hochfrequenter Wechselspannung gegenseitig geladen werden. Dadurch wird das Teilchen, immer wenn es die Lücke zwischen den beiden Dees durchquert, beschleunigt. Die Teilchen starten in einer sehr kleinen spiralförmigen Umlaufbahn. Diese Umlaufbahn wird immer länger, während die Spiralbahn immer größer wird. Durch die höhere Geschwindigkeit erreichen die Teilchen zur richtigen Zeit den Beschleunigungsspalt. Ein normales Zyklotron, passt sich so selbst an die Bahngeschwindigkeit der Teilchen an. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten passt diese Gesetzmäßigkeit nicht mehr, weshalb man nur eine bestimmte Energie erreichen kann. Das Synchrozyklotron regelt dies, indem die Frequenz des Wechselfeldes automatisch an die Umlaufdauer der beschleunigten Teilchen angepasst wird. Durch diese Methode hat das Synchrozyklotron die Möglichkeit, auch noch Teilchen zu beschleunigen, die sich in relativistischen Geschwindigkeiten bewegen. Durch

diese Methode lässt sich mit dem Synchrozyklotron eine maximale Energie von 600 MeV erreichen. Damit die Teilchen kreisförmig fliegen können, werden Magnetfelder benötigt, um mittels der LORENTZkraft die Teilchen so abzulenken, dass sie auf der Spiral-Bahn zu bleiben. Nach dem Erreichen der gewünschten Energie, können die beschleunigten Teilchen durch den Auslass hinaus zu einem Experiment oder einem weiteren Teilchenbeschleuniger geleitet werden. Sehr interessant zu wissen ist, dass ein anschließendes Synchrotron dann als Speicherring genutzt werden kann.

Joyce und Tim

STATION MAGNETE IM TEILCHENBESCHLEUNIGER DES CERN

Als zweiter Teil unserer Besichtigung des CERN bei Genf schauten wir uns die Magnete des LHC etwas genauer an. Als erstes wurden uns erklärt, wie hauptsächlich Protonen auf eine Geschwindigkeit von 99.9999% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Im nächsten Raum wurde uns die Beschleunigung der Teilchen erklärt. Um diese auf eine so hohe Geschwindigkeit zu beschleunigen, werden sie durch Rohre mit einem Durchmesser von ungefähr 5 cm geleitet und mit elektrischen Feldern beschleunigt. Die Protonen gehen auf ein Metall mit einem Loch zu, welche negativ geladen wird und sie somit anzieht und sobald das Proton das Loch in der Mitte der Platte schneidet, wird die Platte umgepolt und stößt damit das Proton ab. Im letzten Bereich war ein Ausschnitt der 27 Kilometer langen Röhre zu sehen, in der die Teilchen zu fast der maximal möglichen Geschwindigkeit beschleunigt werden.

Damit die Teilchen nicht aus der Bahn fliegen, werden sie von supraleitenden Dipol-Magneten in der Bahn gehalten. Diese dürfen eine Temperatur von 9 Kelvin nicht überschreiten. Ihre ideale Temperatur liegt bei 1,9 Kelvin, hier haben sie fast keinen Widerstand. Infolgedessen werden keine großen Mengen an schweren Kupferspulen benötigt, um die bis zu 13.000 Ampere zu leiten, sondern

es reichen vergleichsweise leichte Supraleiter aus.



Abbildung 126: Supraleiter gegen Kupferkabel

Um diese Supraleiter zu kühlen wird Helium in seinem flüssigen Aggregatzustand verwendet. Um den LHC zu kühlen, werden 1.000.000 Liter benötigt. Nicht nur zur Beschleunigung werden starke Magneten benötigt, auch zum Bündeln der Protonen sind Magneten aus Supraleitern von essenzieller Bedeutung. Wäre es nicht möglich die Protonen zu konzentrieren, läge die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen nahe null, da die Protonen sich einfach verpassen würden. Diese Quadrupol-Magnete werden stetig weiterentwickelt. So wurde beispielsweise eine neue Konstellation erstellt, die die Protonen ungefähr zehnfach besser konzentriert. Folglich erreicht man eine höhere Effizienz. Insgesamt sichern Magnete also die meisten Funktionen des LHC. Sie ändern die Richtung der Protonen und bündeln sie. Ohne sie wäre es unmöglich auch nur ein einziges Experiment durchzuführen. In einem maßstäblichen Nachbau konnten wir die Ausmaße des Beschleuniger-Tunnels besichtigen.

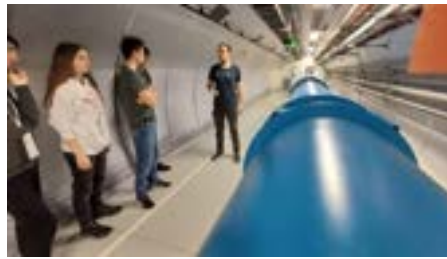


Abbildung 127: Modell LHC-Tunnel

In unseren Augen war dies ein durchaus gelungener Ausflug, in dem wir sehr wahrscheinlich mehr praktische Umsetzung des Unterrichtsstoffes erlebt haben als in den letzten 3 Jahren Physik Unterricht.

Martha, Sönke, Tom B., Sebastian und Tom-Luca

STATION ATLAS-EXPERIMENT

Besonders beeindruckt hat uns dabei das ATLAS-Experiment, eines der vier großen Detektoren des Large Hadron Colliders (LHC). Auch wenn wir den unterirdischen Detektor selbst nicht betreten konnten, war der Besuch der öffentlich zugänglichen Bereiche äußerst spannend und informativ.



Abbildung 128: Weg zur ATLAS-Halle

Im Besucherzentrum des ATLAS-Experiments wurde uns in einer multimedialen Präsentation erklärt, was genau dort geschieht. ATLAS untersucht Kollisionen von Protonen, die im LHC auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Bei diesen Zusammenstößen entstehen extrem hohe Energien – unter den Bedingungen kurz nach dem Urknall. Genau das macht das Experiment so spannend: Es bietet die Möglichkeit, neue Teilchen zu entdecken oder grundlegende Theorien der Physik zu überprüfen.

Wir waren besonders von der schieren Größe des ATLAS-Detektors beeindruckt: Er ist rund 25 Meter hoch, 44 Meter lang und wiegt etwa 7.000 Tonnen – fast so groß wie ein fünfstöckiges Gebäude! Auf Abbildung 133 sieht man ein

Gebäude, auf das der ATLAS-Detektor gemalt wurde – zur Veranschaulichung. Auch wenn wir ihn nur auf Fotos und in Animationen gesehen haben, war allein die Vorstellung faszinierend, wie präzise so ein riesiges Gerät Teilchenspuren aufzeichnen kann.

Auf den Abbildungen 134 und 135 ist der Aufbau der Rohre, des LHCs zu sehen.



Abbildung 129: Strahlrohre im Dipol-Magnet



Abbildung 130: Verbindung Fokussier- zu Dipol-Magnet

Was uns besonders fasziniert hat, ist die Kombination aus extrem komplexer Technik und tiefem physikalischem Wissen. Die vielen Detektorschichten von ATLAS sind so aufgebaut, dass sie die verschiedenen Teilchenarten möglichst genau erkennen und deren Flugbahn rekonstruieren können. Und das bei mehreren Millionen Kollisionen pro Sekunde! Außerdem fanden wir es beeindruckend, wie international das CERN aufgestellt ist. Menschen aus über 100 Ländern arbeiten dort zusammen, um das Wissen über unser Universum voranzubringen. Das ist nicht nur wissenschaftlich, sondern auch menschlich ziemlich inspirierend.

Fazit: Der Besuch beim CERN war für uns ein echtes Highlight. Auch wenn wir den ATLAS-Detektor selbst nicht gesehen haben, haben wir durch die Ausstellung und die Erklärungen einen sehr guten Eindruck davon bekommen, wie dieses riesige Experiment funktioniert. Es war spannend zu sehen, wie moderne Technik, internationale Zusammenarbeit und

wissenschaftliche Neugier an einem Ort zusammenkommen.

Für alle, die sich für Physik interessieren – und sei es nur ein bisschen – können wir einen Besuch beim CERN wirklich empfehlen. Es ist nicht nur beeindruckend, sondern macht auch Lust darauf, sich weiter mit Wissenschaft zu beschäftigen.

Friedrich und Tom H.

STATION SCIENCE GATEWAY

Nach unserer Mittagspause durften wir zwei Stunden lang individuell die Ausstellung „Science Gateway“ besuchen.

Das „Science Gateway“ besteht aus mehreren Teilen. In einem Teil war ein riesiger Kinosaal, in dem verschiedene Filme über die unterschiedlichen Forschungsbereiche des CERN gezeigt werden. Die Vorstellung, während wir dort waren, handelte von dem neusten Teilchenbeschleuniger des CERN und erklärte seine Geschichte sowie seinen Aufbau. Außerdem wurden die größten Erkenntnisse des CERN hervorgehoben. Dazu zählte zum Beispiel die Entdeckung des Higgs-Teilchens und die darauffolgende Verleihung des Nobelpreises.

Ein anderer Teil der Ausstellung behandelte die Entstehung des Universums, wobei man durch viele verschiedene interaktive Möglichkeiten unser Universum besser kennenlernen konnte. Dabei wurden alle Sinne gefordert; große, bunte Gläser erklärten den Aufbau der Sonne, auf vielen verschiedenen Bildschirmen konnte man beispielsweise selbst einen Stern erstellen und es lagen Kopfhörer für einen Erklärfilm über das Universum bereit.

Im hinteren Teil der Ausstellung wurde das Thema Teilchenphysik spielerisch erklärt. Spiele wie Protonen-Tennis, oder ein digitales Fußballspiel, dass eine Teilchenkollision thematisiert, erklärten hautnah.

In der kompletten Ausstellung konnte man überall auf Infomaterial zu der jeweiligen Station zurückgreifen, welche die Themen nochmals genauer erklärte, die durch die verschiedenen Interaktionen verdeutlicht wurden. Auch Modelle der verschiedenen Teilchenbeschleuniger und des gesamten Geländes wurden

immer wieder ausgestellt und halfen der eigenen Vorstellungskraft auf die Sprünge.

Zu jeder Erklärung gehörte ein kleiner Film, etwas zum Anhören oder ein Spiel, was auch jüngeren Besuchern das Lernen und Verstehen erleichterte.

Besonders gut gefallen haben uns die VR-Brillen, die die Teilchenbeschleuniger und ihren Aufbau nochmal besser in 3-D verdeutlichten, was ein ganz besonderes Erlebnis war.

Magdalena, Jana und Mara Linser



Abbildung 1316: Gruppe vor Linac 1

zu Novartis in Basel - Chemie Mittelstufen AG • 14.03.25

9 Schülerinnen und Schüler der Chemie-AG „Chemie eine bunte Sache“ trafen sich am frühen Freitagmorgen um kurz nach 7 Uhr am Freiburger Hauptbahnhof und machten sich in Begleitung der AG-Leiterin Frau Seller auf den Weg nach Basel zu Novartis.

In Basel angekommen ging es zu Fuß weiter zum Wissenschafts-Pavillon von Novartis. Dort wurde die Gruppe von Frau Stangier begrüßt und erkundete mit iPads durch interaktive Simulationen verschiedene Forschungsgebiete, Berufsfelder und Informationen zum Konzern Novartis.



Abbildung 132: TeilnehmerInnen im Novartis Pavillon

Im Anschluss daran ging es zu Fuß zum neuen Schullabor auf dem Campus.

Dort gab es zuerst eine kurze allgemeine Einführung zur Entwicklung der Medikamente und dem notwendigen Patentschutz. Anschließend führte Frau Stangier die Schülerinnen und Schüler in die Grundlagen des Themas „Sonnencreme und Sonnenschutz“ ein. Der Aufbau der Haut und die Wirkung der verschiedenen UV-Strahlen auf die einzelnen Schichten der Haut wurde in einem Einführungsvortrag erklärt. Nach einer kurzen Sicherheitseinweisung und ausgestattet mit Kittel und Schutzbrillen ging es dann ins Labor. Dort stellte die eine Hälfte der Gruppe aus Sheabutter, Bienenwachs und Kokosfett eine normale Hautcreme her, die andere Hälfte der Schüler und Schülerinnen durch Zusatz von Zinkoxid eine Sonnencreme. Die Mischungen wurden zum Aushärten in den Kühlschrank gestellt. In der Wartepause erläuterte Frau Stangier den Schülerinnen und Schülern die Wirkung der verschiedenen Sonnencremes und ging

vor allem auf den Unterschied zwischen chemischen und mineralischen Filtern ein. Es wurde diskutiert, welche der beiden Cremesorten die bessere sei. Da sich chemische Filter durch UV-Einstrahlung zersetzen, ist für Allergiker ein mineralisches Produkt besser geeignet. Der Nachteil dieser Produkte ist aber, dass sie die Haut sehr weiß erscheinen lassen. Generell sollte man aus Umweltschutzgründen die Sonnencreme immer nach dem Baden auftragen, um eine Gewässerverschmutzung zu vermeiden. Nach dem Erkalten der Cremes wurde auf einer UV-Lichtplatte unter Verwendung von UV-sensiblen Kunststoffperlen die Absorption des UV-Lichtes und somit der UV-Schutz getestet. Dazu wurden Hautcreme, Sonnencreme, ein T-Shirt, ein UV-Shirt und eine Wassersäule auf den UV-Lichtschirm gestellt und die Perlen durch die verschiedenen Objekte bestrahlt. Es zeigte sich eine sehr deutliche Schutzwirkung durch die selbst hergestellte Sonnencreme und das UV-Schutzshirt. Aber auch ein normales T-Shirt schützt zum Teil vor Sonnenbrand.

In diesen anschaulichen Experimenten haben die Schülerinnen und Schüler einen guten Einblick in die Funktion und Schutzwirkung der Sonnencreme erhalten.

Im Anschluss an dieses interessante Praktikum machte sich die Schülergruppe wieder auf den Heimweg nach Freiburg.



*Abbildung 133: Teilnehmer*innen auf der Rheinbrücke zum Novartis Campus*

Autorin: Tanja Seller

zur Hochschule Offenburg • 31.08.2025

Um 10:30 Uhr trafen sich 14 Schülerinnen und Schüler der AG „Handy Apps programmieren“ am Bahnhof in Freiburg, zu einer Exkursion zur Hochschule Offenburg. Dort bekamen wir einen Einblick in den neuen Studiengang **Virtuelle Welten und Game Technologies**. In diesem Studiengang werden viele für unseren Programmierkurs spannende Themen behandelt.

„Das Konzeptionieren und Entwickeln virtueller Anwendungen und Designs stehen im Mittelpunkt des Studiengangs Virtuelle Welten und Game Technologies.

Videospiele werden immer mehr zum Leitmedium: Unternehmen erkennen zunehmend die Vorteile spielerischer, gamifizierter Ansätze – vom Recruiting bis zur interaktiven 3D-Unternehmenskarte. Der Studiengang vermittelt alles, was man für den Aufbau virtueller Welten braucht. Studierende lernen, wie man virtuelle Räume in 2D- und 3D-Welten erschafft oder wie Computerspiele entwickelt und gestaltet werden. Sie entwickeln Ideen für Text und Sound und setzen sie gestalterisch um.“

(Quelle: <https://www.hs-offenburg.de/studium/studiengaenge/bachelor/virtuelle-welten-und-game-technologies/studieninteressierte>)

Die sehr interessierte Gruppe wurde von Herrn Prof. Dr.-Ing. Daniel Görlich und seinem Labormitarbeiter Lukas Meyer freundlich an der Hochschule in Offenburg empfangen.

Nach einer kurzen Begrüßung wurden der Gruppe Informationen zum Studiengang und zum Vorgehen bei der Spielentwicklung gegeben. Professor Görlich berichtet von den Voraussetzungen für die Bewerbung für diesen Studiengang und gab einen Überblick über die Inhalte des Studiums.

Im Anschluss an diesen ersten Einblick gab es eine praktische Phase, in der die Teilnehmerinnen und Teilnehmer VR-Brillen aus Karton basteln konnten, um anschließend verschiedene Anwendungen mit den Smartphones zu testen.

Es gab 360° Panoramen, virtuelle Achterbahnfahrten, dreidimensional veranschaulichte Lerninhalte und an einem Computer der Hochschule die Möglichkeit mit einer hochwertigen VR-Brille interaktive Szenarien im virtuellen Raum zu erleben.

In einer abschließenden Gesprächsrunde gab Professor Görlichs Labormitarbeiter Lukas Meyer einen Einblick in seine Arbeit als Spieleentwickler und beantwortete darüber hinaus viele, im Laufe des Besuchs aufgekommene Fragen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Spieleentwicklung.



*Abbildung 134: Teilnehmer*innen des Freiburg-Seminars an der Hochschule Offenburg*

Die Begeisterung über die erlebten Einblicke in die verschiedenen virtuellen Welten schwang auch auf dem Heimweg nach. Für manch einen schien, zumindest für einen Mittag, die Wahl des zukünftigen Studienfachs geklärt.

Vielen Dank an Herrn Professor Dr. Görlich und Lukas Meyer für die inspirierenden Stunden in Offenburg.

Autor: Peter Spitznagel

zum Tag der Raumfahrt am Fraunhofer-Institut EMI in Freiburg • 28.03.2025

Im Rahmen des Tags der Raumfahrt 2025 öffnete das Fraunhofer-Institut EMI in Freiburg am Freitag, den 28. März 2025, die Türen seiner Satellitenlabore für über 40 interessierte Schülerinnen und Schüler des Freiburg-Seminars.

Zunächst erfolgte ein Kurzvortrag zum Thema „Immer mehr Schrott im Welt- raum – was können wir dagegen tun?“ durch den Stellvertretenden Institutsleiter Prof. Dr. Frank Schäfer. Anschließend berichtete Dr. Noah Ledford über den vom EMI konstruierten Kleinsatellit ERNST, der am 16. August 2024 mit einer Falcon-9-Rakete ins Weltall geschickt wurde. ERNST ist nun in der Lage Raketenstarts auf der Erde zu beobachten und ist damit ein Prototyp für ein entsprechendes Frühwarnsystem der Nato.



Abbildung 135: Prof. Schäfer erläutert die Funktion des Space Debris Forschungslabors

In den folgenden Laborbesuchen wurde den Teilnehmer*innen anschließend zwei Forschungslabore gezeigt. Im Space Debris Forschungslabor werden Plastikkügelchen mit dem Tempo von Weltraumschrott beschleunigt und auf potentielle Schutzeinrichtungen für Satelliten geschossen, um deren Wirksamkeit zu testen. Danach ging es noch ins Satellitenlabor, wo Dr. Ledford einen ERNST-Demo-Satelliten zeigte (Abbildung 141). In diesem Labor, in dem ERNST gebaut wurde, kann darüber hinaus auch der gesamte Satellit unter den Bedingungen im Weltall getestet werden.



Abbildung 136: Dr. Noah Ledford am Modell des Kleinsatelliten ERNST

zum physikalischen Institut der Universität Freiburg, Arbeitsgruppe Schumacher/Fischer Dunkle Materie • 03.07.2025

Am Donnerstag, den 03.07.2025, besuchten vier Mitglieder der AG „Teilchenphysik“ und deren Leiter das physikalische Institut der Universität Freiburg, um von dem aktuell stattfindenden Experiment hinsichtlich des Nachweises dunkler Materie zu erfahren.

Dunkle Materie stellt eine der größten offenen Fragen der modernen Physik dar. Sie macht etwa 27 % der gesamten Energie-Masse-Dichte im Universum aus, kann jedoch weder Licht emittieren noch absorbieren und ist daher mit herkömmlichen optischen Teleskopen unsichtbar. Ihre Existenz wird ausschließlich indirekt nachgewiesen – etwa durch Gravitationswirkungen auf sichtbare Materie, galaktische Rotationskurven oder Gravitationslinseneffekte. Die Teilchen, aus denen Dunkle Materie bestehen könnte – sogenannte WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) – interagieren extrem schwach mit gewöhnlicher Materie.

Der direkte Nachweis solcher Teilchen ist daher experimentell äußerst herausfordernd. Ein vielversprechendes Instrument zur Detektion möglicher Wechselwirkungen von Dunkler Materie mit gewöhnlicher Materie sind sogenannte Spurendriftkammern (Time Projection Chambers, TPCs). Diese Detektoren zeichnen sich durch ihre hohe räumliche Auflösung und präzise Rekonstruktion des Inaktionsortes aus. Eine typische TPC besteht aus einem mit Edelgas (z. B. Xenon oder Argon) gefüllten Volumen, das von einem elektrischen Feld durchzogen ist. Wenn ein WIMP mit einem Atomkern im Detektor kollidiert, kann es zu einem elastischen Rückstoß des Kerns kommen. Dabei wird ionisierende Strahlung freigesetzt, welche Elektronen vom Gas löst. Diese Elektronen bewegen sich entlang des elektrischen Feldes zur Detektor-Anode, wobei ihre Driftzeit und Position exakt gemessen werden können. Zusätzlich erzeugt die Wechselwirkung auch Licht (Szintillation), das mit Photodetektoren

registriert wird. Durch Kombination der Lichtsignale und der Driftzeit der Elektronen kann der Ort und die Energie der Wechselwirkung dreidimensional rekonstruiert werden. Der große Vorteil von TPCs liegt darin, dass sie zwischen verschiedenen Arten von Wechselwirkungen unterscheiden können – etwa zwischen elektronischen Rückstößen (z. B. durch natürliche Radioaktivität) und nuklearen Rückstößen (wie sie von WIMPs erwartet werden). Diese Diskriminierung ist essenziell, um das äußerst schwache Signal möglicher Dunkle-Materie-Teilchen vom allgegenwärtigen Hintergrund zu trennen.

Neben der physikalischen bzw. technischen Funktionsweise setzten wir uns auch mit anderen relevanten Faktoren auseinander, z. B. inwiefern die Füllung der TPC die Wahrscheinlichkeit einer potenziellen Wechselwirkung bedingt, oder auch den rein wirtschaftlichen und finanziellen Aspekt. Am physikalischen Institut (Vorexperiment „Pancake“) hingegen ist man primär daran interessiert, die technischen Aspekte dieser TPCs zu optimieren (Xenon-Reinigung, Optimierung Elektroden für das elektrische Feld), so dass mit den damit neu gewonnenen Erkenntnissen, die bereits bestehenden bzw. noch zu entwickelnden TPCs technisch verbessert werden können.



Abbildung 137: Xenon-Reinigung

Moderne Dunkle-Materie-Experimente wie „XENONnT“ nutzen großvolumige TPCs mit flüssigem, hochreinem Xenon, das hervorragende Szintillations- und Ionisationseigenschaften aufweist. Die Detektoren werden tief unter der Erde betrieben, um kosmische Strahlung zu minimieren, und verfügen über unterschiedliche Systeme zur Unterdrückung radioaktiver Hintergrundereignisse. Trotz jahrzehntelanger Suche wurde bislang kein zweifelsfreier direkter Nachweis von Dunkler Materie erzielt. Dennoch bleiben TPCs die führende Technologie in diesem Forschungsfeld, da sie kontinuierlich an Empfindlichkeit gewinnen und neue Grenzen für die Eigenschaften hypothetischer Dunkle-Materie-Teilchen setzen.

Wir danken herzlich Herrn Prof. Fischer für die Vermittlung und Herrn Glade-Beucke für die Führung!

Benedikt

Schüleruniversität

Die Fördermöglichkeit durch das Schülerstudium im Rahmen des Freiburg-Seminars hat mit dem abgelaufenen Studienjahr eine besondere Marke erreicht: bereits seit 20 Jahren gibt es durch die Kooperation der Universität mit dem Freiburg-Seminar diese Option für Schülerinnen und Schüler.

Ein Schülerstudium ist eine spezielle Form der Förderung, die es besonders leistungsfähigen Schülerinnen und Schülern ermöglicht, während ihrer Schulzeit an Vorlesungen und Seminaren an der Universität teilzunehmen. Ziel dieser Maßnahme ist es, das Potenzial begabter Jugendlicher frühzeitig zu erkennen und zu fördern, indem ihnen eine akademische Lernumgebung geboten wird, die über das schulische Angebot und die Angebote der Arbeitsgemeinschaften des Freiburg-Seminars hinausgeht.

Die Teilnahme an einem Schülerstudium erfordert nicht nur fachliche Kompetenz, sondern auch ein hohes Maß an Selbstorganisation und Motivation seitens der Schülerinnen und Schüler. Im Schülerstudium haben sie die Möglichkeit, Studienleistungen zu erbringen, die später im regulären Studium anerkannt werden können. Dies gewährt ihnen nicht nur einen Einblick in die universitäre Praxis, sondern auch einen Vorsprung bei einem späteren Fachstudium. Erbrachte Studienleistungen im Schülerstudium werden seitens der Universität bescheinigt und können als reguläre Leistungen in einem späteren Fachstudium anerkannt werden.

Untersuchungen zur Wirksamkeit solcher Fördermöglichkeiten zeigen, dass diese Maßnahme positive Effekte auf die akademische und persönliche Entwicklung der Jugendlichen haben kann. Neben der Vertiefung fachlicher Kenntnisse fördern sie auch die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen wie kritischem Denken und selbstständigem Lernen. Kritisch zu betrachten ist jedoch die Gefahr einer Überforderung und die Notwendigkeit, individuelle Unterstützung und Beratung sicherzustellen, um den

spezifischen Bedürfnissen der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler gerecht zu werden. Dies geschieht im Schülerstudium durch eine enge Zusammenarbeit an den Schnittstellen zwischen Schule und Universität durch die persönliche Betreuung im Freiburg-Seminar.

Für beide Institutionen, Schule und Universität, bietet das Schülerstudium eine ganze Reihe an Vorteilen: Schülerstudierende können ihr erworbenes Wissen und Erfahrungen in den Unterricht an der Schule einbringen und mit Mitschülern teilen. Damit werden auch Lehrkräfte so beim Thema Begabtenförderung entlastet. Das Schülerstudium kann früh an eine Universität herantreten und zu einem späteren Fachstudium motivieren. Aus Teilnehmenden im Schülerstudium in Freiburg hat so mancher Fachbereich frühzeitig besondere Talente entdeckt und im Fachstudium an weitere akademische Qualifikationen (Promotion etc.) herangeführt.

Was im Jahr 2004 als Experiment in Freiburg begann, etablierte sich nach kurzer Zeit als festes Element einer differenzierten Förderung und inspirierte auch andere Standorte in Baden-Württemberg ein Schülerstudium anzubieten. Auch der Fächerkanon hat sich (über die MINT-Fächer hinaus) stetig erweitert. Immer mehr Fachbereiche an der Universität öffnen ihre Lehrveranstaltungen für Schülerstudierende.

Die in 20 Jahren kontinuierliche Anzahl der Schülerstudierenden und deren Leistungen zeigen, dass Schülerinnen und Schüler mit außergewöhnlichen Begabungen diese individuelle Förderung rechtfertigen und verdienen. Die stetig ansteigende Zahl der beteiligten Fachrichtungen und die gute Zusammenarbeit mit den Fachstudienberatungen der Universität garantieren ein stimmiges Förderkonstrukt der Schüleruniversität Freiburg. Insbesondere Herrn Friedrich Arndt, dem Leiter des Service Center Studium der Universität Freiburg, der sich bei den Teilnahmebedingungen der Schülerstudierenden für diese engagiert hat, sei an dieser Stelle ausdrücklich gedankt. Einen Einblick in die Erfahrungen aus dem Studienjahr 2024-2025 sollen

folgende Ausschnitte aus Semesterberichten der Schülerstudierenden geben.

Autor: Dr. Ralf Erens

Auszüge aus Semesterberichten

INFORMATIK - Emily Zhang

Ich habe nur die Vorlesung "Einführung in die Programmierung besucht", welche am Dienstag und Mittwoch stattgefunden hat. Ich wurde in der Übungsgruppe zugewiesen, deren Tutor sehr hilfsbereit war und bei allen Fragen helfen konnte. Kontakt zu voll immatrikulierten Studenten hatte ich bei Gruppenaufgaben in den Übungsblättern und es war immer eine positive Erfahrung gewesen.

Zurückblickend lässt sich sagen, dass ich im Schülerstudium mehr lernen konnte, als ich angenommen habe. Ich bin das übliche Schul-Tempo gewohnt und war anfangs wirklich überrascht, wie schnell die verschiedenen Themen behandelt wurden. Man muss zwar viel selbstständiger sein und seine Zeit gut einteilen können, aber dafür kann jeder in seinem Tempo lernen. Ich konnte durch das Schülerstudium in eine komplett andere Welt blicken und war vor allem etwas eingeschüchtert von den Studierenden, die sehr viel reifer und schlauer als ich zu sein schienen. Das komplett andere Umfeld hat mich zwar überrascht, mir aber auch eine neue Perspektive gezeigt und noch sehr viel lernen kann. Ich bin sehr dankbar für die Möglichkeit, die mir gegeben wird und werde hoffentlich im nächsten Semester weitermachen können.

MATHEMATIK - Leon Kling

Ich habe mich dieses Semester für Lineare Algebra II entschieden, da das nach der Linearen Algebra I im vergangenen Wintersemester ein logischer Nachfolger ist. Die andere Option, Elementargeometrie, lag außerdem nicht gut in meinem schulischen Stundenplan. Die Vorlesungszeiten lagen ganz günstig, so dass ich nur vier Fehlzeiten verzeichnen musste. Die Vorlesung war am Anfang etwas langweilig, aber das hat sich schnell geändert. Besonders die Multilineare Algebra (mit der wir erst vor ein paar Vorlesungen begonnen haben) mit z.B. dem Tensorprodukt ist sehr interessant. Prof. Kebekus gestaltet die Vorlesung sehr interessant und gibt einem viel mit was man nicht im Skript finden kann.

Wie die letzten drei Semester hat mir auch dieses sehr viel Spaß gemacht (bzw. macht es immer noch). Ana II gefällt mir aber (knapp) immer noch am besten, was sich in den letzten Wochen ja aber vielleicht noch ändert. Ich freue mich darauf, dass mein Studium dann im Wintersemester richtig los geht und bin sehr dankbar für die Erfahrung, die ich die letzten zwei Jahre bereits an der Uni machen durfte! Ich bin jetzt mit meinem Abitur fertig und möchte nach dem Sommersemester mit meinem Mathestudium beginnen bzw. es fortsetzen.

BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE - Leonita Sahitaj

Im ersten Semester des Studiengangs BWL stehen zahlreiche Vorlesungen zur Auswahl, von denen mich mehrere interessierten. Daher war ich zunächst unsicher, welche Veranstaltung sich am besten mit meinen Interessen und meinem Stundenplan vereinbaren ließe. Aus diesem Grund vereinbarte ich einen Termin bei der Studiengangskoordination. Das Beratungsgespräch erwies sich als äußerst aufschlussreich, da ich nicht nur wertvolle Informationen über die Vorlesungen selbst, sondern auch über organisatorische Aspekte, wie beispielsweise die Prüfungsanmeldung, erhielt. Diese Beratung kann ich anderen Schülerstudierenden nur wärmstens empfehlen.

Der Schwierigkeitsgrad der Vorlesung variierte je nach Thema: Während der Großteil der Inhalte leicht verständlich waren und das Nacharbeiten wenig Zeit in Anspruch nahm, erwiesen sich andere Konzepte als komplex und entsprechend zeitintensiv. Dennoch ließen sich auch anspruchsvollere Themen mit der richtigen Fachliteratur, dem Besuch des Tutoriums und dem Austausch mit Kommilitonen gut bewältigen.

Abschließend kann ich mit Überzeugung sagen, dass diese Erfahrung für mich von unschätzbarem Wert war und ist. Ich konnte nicht nur viele neue Kontakte knüpfen, sondern auch meinen Horizont erheblich erweitern. Daher kann ich jedem, der Interesse, Zielstrebigkeit und die erforderlichen Voraussetzungen mitbringt, ein Schülerstudium sehr empfehlen. Dementsprechend werde ich mein Schülerstudium auch weiterhin fortsetzen. Zum Schluss bedanke ich mich nur für diese wunderbare Chance beim Freiburg-Seminar und insbesondere Herrn Erens.

PHYSIK - Scarlett Brunner

Ich habe in diesem Semester an der Vorlesung Experimentalphysik 2 Elektrodynamik und Optik teilgenommen. Die Vorlesung war zeitlich so ausgelegt, dass ich eine Doppelstunde und einen Teil meiner Mittagspause verpasste, es aber meistens rechtzeitig wieder zum Nachmittagsunterricht zurückschaffte. Die Organisation des verpassten Unterrichts stellte kein Problem dar und funktionierte gut.

Die Vorlesung, die ich in diesem Semester besucht habe, war umfangreicher als die Vorlesung, die ich davor (im Wintersemester) besucht hatte und war thematisch schwieriger für mich, da ich mir vieles praktisch nicht vorstellen konnte. Und auch einfach, weil sie thematisch schwieriger war.

Dennoch bin ich sehr froh, dass ich an dieser Vorlesung teilgenommen habe, da ich doch viele interessante Sachen mitnehmen konnte, wie zum Beispiel wie ein MRT funktioniert. Auch hat es mir einen erweiterten Blick darauf gegeben, wie mein Studium in der Zukunft aussehen wird, bei dem ich mich definitiv auch mit diesen Themen auseinandersetzen werde. Ich muss sagen, ich freue mich mehr über die besprochenen Phänomene zu lernen und sie tatsächlich auch zu verstehen. Für mich ist das Schülerstudium die Möglichkeit herauszufinden, was mich interessiert und in welche Richtung ich mich in Zukunft bewegen möchte.

Zum Abschluss der Erfahrungen zum Schülerstudium soll ein Fazit dienen, welches in vielen Semesterberichten von Schülerstudierenden erwähnt wird – insbesondere, wenn ein Schülerstudium über mehrere Semester fortgeführt wird:

MATHEMATIK - Felix Burgmann

Das Semester als Schülerstudent an der Uni-Freiburg war für mich eine äußerst bereichernde und angenehme Erfahrung. Die Auswahl der Vorlesung, Analysis 1 erwies sich als die vermutlich bessere der beiden Optionen, aufgrund des gut organisierten und ordentlichen Skriptes und Aufbaus der Vorlesung. Nichtsdestotrotz forderte der Kurs einen beträchtlichen Nacharbeitsumfang von etwa 15 bis 20 Stunden pro Woche.

Eine große Hilfe beim Bewältigen der Nacharbeit und Übungsblätter war die Zusammenarbeit mit den vollmatrikulierten Studenten, welche mich schnell in ihren Kreis aufnahmen. Zwar arbeitete ich zu Beginn nach Vorschlag durch den Dozenten mit einem Übungspartner zusammen, dieser hörte jedoch bald auf Mathe zu studieren. Auch die Übungsgruppen waren eine willkommene Möglichkeit, um Fragen zu klären und sowohl Ansatz als auch Form zu verbessern.

Dennoch brachte mich das Semester, auch aufgrund der Belastung durch die Schule, welche insbesondere in diesem Halbjahr maximale Leistung erforderte oft an meine Grenzen. Im Gegensatz dazu war jedoch die Organisation von Unterrichtsausfällen äußerst gut zu bewältigen, dank freundlicher Mitschüler und Lehrer, die bereit waren mir etwa verpasste Materialien zu schicken. Auch bekam ich keinerlei negative Reaktionen, weder von Lehrern noch Mitschülern oder Studierenden.

Die Kriterien zur Prüfungszulassung konnte ich dann in den ersten Januarwochen ebenfalls erfüllen und nahm somit auch Mitte Februar an der entsprechenden Prüfung teil. Welche ich mit der Note 1.3 abschloss. Insgesamt war dieses Semester eine großartige Erfahrung und ich freue mich darauf mein Schülerstudium im nächsten Semester fortzusetzen.

MATHEMATIK - Ian Löschmann

Ich habe mich für Lineare Algebra I entschieden, weil es zeitlich besser als Analysis I lag und ich mich für beides interessiere, aber ich nur 2 Tage und nicht 4 in der Schule fehlen wollte. Die Vorlesungen bei prof. Kebekus waren anspruchsvoll, aber ich konnte alles gut verstehen. Mein Tutorat lag montags nach der Vorlesung, damit ich so wenig Unterricht in der Schule wie möglich verpasse. Wir haben die wöchentlichen Arbeitsblätter in zweier Teams abgegeben und dadurch hatte ich Kontakt zu anderen Studierenden. Die Arbeitsblätter waren schwierig und haben jede Woche viel Zeit gebraucht, deshalb würde ich im nächsten Semester weniger Zeit dafür aufwenden, auch wenn ich dadurch eventuell die Bedingungen für die Studienleistung nicht erfülle.

Die Organisation mit der Schule hat relativ gut funktioniert, ich habe allen verpassten Stoff gut nachholen können, die Mathelehrer an meiner Schule haben mir auch geholfen, wenn ich etwas in den Vorlesungen nicht verstanden habe. Es gab keine besonderen Reaktionen von Schülern oder Studierenden darauf, dass ich als Schüler die Vorlesung besuchte.

Ich habe dann im Sommersemester die Vorlesung Lineare Algebra 2 besucht, und hatte sehr viel Spaß. Die Arbeitsblätter waren auch alleine gut lösbar, und die Schule hat mir genehmigt, Zeit im Mathematischen Institut zu verbringen, um die Aufgaben auch in Gruppen lösen zu können. Der Stoff war einfacher zu verstehen als im ersten Semester. Ich habe mich für die Mündliche Prüfung für Lineare Algebra 1 und 2 angemeldet, und bereite mich im Moment darauf vor. Das Zeitmanagement mit Schule und Studium hat gut funktioniert und mein Mathelehrer könnte mir aufkommende Fragen zum Studium gut beantworten. Generell hat das Semester sehr gut funktioniert und hat sehr viel Spaß gemacht, beweisen macht mir viel mehr Spaß als das Rechnen in der Schule. Nächstes Semester möchte ich das Schülerstudium mit Analysis 1 fortsetzen.

ARCHÄOLOGIE/ALTEGE-SCHICHTEN - Paul Wiederkehr

Eigentlich hatte ich mir eine Vorlesung aus dem Bereich der Alten Geschichte ausgesucht, allerdings kollidierte diese zu sehr mit meinem Stundenplan, da ich ein Nebenfach dadurch für ein ganzes Halbjahr verpasst hätte. Da ich mich jedoch sowieso für Archäologie interessierte, ich dazu deutlich weniger Vorwissen hatte, als bei der geplanten Vorlesung und auch das grobe Themengebiet („Imperium Romanum“) übereinstimmte, entschied ich mich für die Vorlesung „Hadrian und seine Zeit“. Die Vorlesung lag außerhalb der Schulzeiten, weshalb es zu keinen Komplikationen kam.

Die Anmeldung für die Klausur war hierbei aufwendig und auch gewissermaßen etwas nervenzehrend. Anfangs war dabei noch alles relativ erwartbar: Ich schrieb die Studienkordinatorin für die Klassische Archäologie an, da mich meine Dozentin an diese verwies, und musste dieser zunächst kurz das Schülerstudium und meinen besonderen Status erläutern. Das gelang vor allem dank der Schülerstudiumsbescheinigung.

Der Kontakt zu meiner Dozentin Frau Dr. Bergmann war von Anfang an gut. Während des Schülerstudiums nahm ich zudem am Geschichtswettbewerb des Bundespräsidenten teil und als ich nach dem richtigen Experten für ein Experteninterview suchte, lud mich meine Dozentin zur Semestereröffnung des Instituts für Archäologische Wissenschaften (IAW) ein und machte mich dort mit dem gesuchten Experten bekannt. Bei dem letzten Kolloquiumsvortrag des IAW im Wintersemester lud mich meine Dozentin auf einen Umtrunk bezüglich des Endes des Wintersemesters ein, damit ich die Studenten und vor allem ihre Kollegen (weiter) kennenlernen konnte. Auf dieser Abschlussveranstaltung redete ich tatsächlich noch viel mit anderen Wissenschaftlern, weshalb ich nach wie vor für diese einmalige Gelegenheit sehr dankbar bin.

Das Schülerstudium war für mich eine durchweg positive Erfahrung. Nicht nur habe ich Einblicke in den Uni-Alltag gewonnen, welcher einem Schüler

meistens eher andersartig und fremd erscheint, sondern ich habe, auch durch die Gespräche mit den Wissenschaftlern und durch die Kolloquiumsvorträge, sehr tiefe Einblicke in die wissenschaftliche, archäologische Arbeit gewinnen können.

Ich hatte mich zwar bereits zuvor für diesen Fachbereich interessiert, doch nach dem Schülerstudium ist mir klar, dass dieser Bereich für mich später auch wirklich ein möglicher Studiengang sein könnte, was ich zuvor nicht unbedingt erwartet hätte. Außerdem habe ich nun auch keine teils falschen Vorstellungen mehr von dem Studiengang oder dem wissenschaftlichen Arbeiten in diesem Bereich.

Nach diesem Semester bleibt aber letztlich für mich noch ziemlich offen, ob ich Archäologie und/ oder Geschichte oder doch etwas Naturwissenschaftliches studieren möchte. Und obwohl diese Frage noch völlig unbeantwortet bleibt, möchte ich nochmals meine gänzlich positiven Erfahrungen betonen, die ich dank des Schülerstudiums gewonnen habe, auch wenn sie mir schlussendlich eine weitere sehr interessante Option beschert haben, zwischen derer ich mich irgendwann entscheiden muss...

Zuletzt möchte ich mich für diese einzigartige Möglichkeit bedanken, die mir dank Ihnen eröffnet wurde und hervorheben, dass das Schülerstudium auf jeden Fall sehr empfehlenswert ist, da es völlig neue Einblicke ermöglicht und auch vor allem für die Schüler ansprechend ist, welche den schulischen Stoff als zu leicht oder zu langweilig empfinden. Ich habe sehr viel gelernt und dabei nicht nur „Fachliches“, obwohl ich insgesamt nur an zwei Vorlesungen bisher teilgenommen habe.

RECHTSWISSENSCHAFTEN - Aurelia Eltgen

Ich habe mich für die Vorlesung "Europarecht" entschieden, da mich besonders internationales Recht und die EU sehr interessieren und die Vorlesung zeitlich gut mit der Schule zu vereinbaren war. Obwohl die Vorlesung an Studenten ab dem zweiten Fachsemester gerichtet war, bin ich gut mitgekommen. Die Professorin hat die Inhalte so anschaulich und gründlich dargestellt, dass ich mit meinem Allgemeinwissen und dem Wissen aus dem Fach Gemeinschaftskunde bis auf ein paar Abkürzungen und Fachbegriffe, die ich nachschlagen musste, das meiste verstand. Der Zeitaufwand, den ich ins Nacharbeiten investieren musste, war überschaubar und hat wöchentlich ungefähr noch einmal die Länge einer Vorlesung in Anspruch genommen. In der Vorlesung wurde sehr regelmäßig mit Artikeln bzw. Paragraphen des Grundgesetzes, der EU-Verordnung, der Charta der Grundrechte der Europäischen Union und des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union gearbeitet, weshalb ich mir die "Basistexte öffentliches Recht" besorgt habe. Das hat mir ermöglicht, noch besser in der Vorlesung mitzukommen.

Die Doppelbelastung von Schule und Studium war für mich sehr gut zu meistern, da im Religionsunterricht gerade das Thema "Grundlagen der Ethik", zu welchem ich im letzten Wintersemester eine Vorlesung besucht habe, behandelt wurde und ich mir deshalb lediglich den Stoff des Physikunterrichts eigenständig erarbeiten musste. [...] Meine Mitschüler zeigten sich interessiert an meinem Schülerstudium und haben die Gelegenheit genutzt, von mir etwas über die Abläufe in der Uni zu erfahren. Die Reaktionen der Studenten auf mich als Schülerstudentin waren ausnahmslos positiv. Viele zeigten sich sehr interessiert und haben meinen Mut gelobt.

Insgesamt empfand ich die Zeit, die ich an der Uni verbracht habe, sowohl als intellektuelle Bereicherung als auch als angenehmen Ausgleich zu dem oft trüben und langwierigen Schulalltag. Deshalb bin ich sehr froh über diese besondere Möglichkeit und möchte mich insbesondere bei Herrn Erens dafür bedanken.

Zusammenstellung: Dr. Ralf Erens

